МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ:
ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ

Відповідальний редактор – професор д.ф-м.н., Пастернак Я.М.

№43 2021

м. Луцьк
Видавництво Луцького національного технічного університету

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
професор д.ф-м.н., Пастернак Я.М.	(м. Луцьк)
Заступники головного редактора:	
проф., д.т.н. Андрущак І.Є.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Пех П.А.	(м. Луцьк)
Відповідальний секретар:	
мол.наук.співробітник Свиридюк К.А.	(м. Луцьк)
Члени редакційної колегії:	
проф, PhD. Milosz Marek	(Польща, м. Люблін)
проф, PhD. Alison McMillan	(Великобританія)
проф, PhD. Дехтяр Ю.Д.	(Литва, м. Рига)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Мороз Б.І.	(м. Дніпро)
проф., д.т.н. Степанов М.М.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Тарасенко В.П.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Віноградов М.А.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Мельник А.О.	(м. Львів)
проф., д.п.н., Чернящук Н.Л.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н Мельник К.В.	(м. Луцьк)
доц., к.ф.-м.н Мельник В.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Багнюк Н.В.	(м. Луцьк)
доц.,к.т.н. Здолбіцька Н.В.	(м. Луцьк)
доц.,к.т.н. Костючко С.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Драган О.В.	(м. Брест, Білорусія)
доц., к.т.н. Лотиш В.В.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Гуменюк Л.О.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Заблоцький В.Ю.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Решетило О.М.	(м.Луцьк)

Адреса редколегії:
Луцький національний технічний університет,
кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки
вул. Львівська 75, ауд.141
м.Луцьк, 43018
тел. (0332) 74-61-15
E-mail: cit@lntu.edu.ua,
сайт журналу: **cit-journal.com.ua**

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

№43 2021р.

Журнал засновано у грудні 2010 р.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 16705–5277 Р.
Засновник: Луцький національний технічний університет
Рекомендовано до друку Вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол №11 засідання від 27.05.2021)
Журнал рішенням МОН України
наказом №515 від 16.05.2016р,
включено в перелік наукових фахових видань.
Видання індексується у
наукометричних та реферативних базах:
Open Academic Journals Index
Academic Resource Index ResearchBib
Rootindexing
Information Matrix for the Analysis of Journals

ISSN 2524-0560 (Online)
ISSN 2524-0552 (Print)

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О. Підвищення якості великогабаритних деталей, виготовлених методом FDM 3D друку.	**5**
Грінченко Л.Г. Найкращі рівномірні наближення неперервних функцій узагальненими багаточленами**.**	**12**
Дроздюк В.А. Методи оптимізації структури фотоелектричних перетворювачів на основі моно- і полікристалічного кремнію з фотолюмінісцентним покриттям.	**17**
Каганюк О. К. Формування вимог щодо створення автоматизованої комп'ютерної підсистеми управління супутниковою антеною.	**23**
Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В. Розробка Web-орієнтованої інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти**.**	**28**
Козак Є. Б. Особливості побудови алгоритмів планування задач у рамках концепції граничних обчислень.	**36**
Кокіза С. В. Моделювання системи забезпечення множинного неортогонального доступу у мережі 5G.	**42**
Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В. Інформаційно-комп'ютерний аспект розвитку математичних та професійних компетентностей студентів в умовах дистанційного навчання.	**47**
Кулаковська І., Сатура А. Проектування підсистеми для планування та оптимізації поведінки автономних пристроїв для розумних будинків на основі аналізу даних. *[**Kulakovska I., Satura A.** Design of a subsystem for planning and optimizing the behavior of stand-alone devices for smart homes based on data analysis.]*	**53**
Мамчич Т. І., Ханін О. Г., Мамчич І. Я. Розв'язок задач оптимізації засобами програми R з прикладом оцінки ймовірнісного розподілу.	**60**
Маркіна Л. М., Троянчук Б. В. Аналіз існуючих систем автоматизації в бждільництві.	**64**
Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.Л., Чухрій С.С., Мельник К.В. Автоматизована система розкладу руху громадського транспорту.	**70**
Микитенко С.С., Орлова М.М. Виконання граничних обчислень на пристроях Інтернету Речей.	**78**
Миронюк Л. П., Ройко Л. Л. Використання засобів інформаційно-комунікаційних технологій у підготовці студентів факультету фізичної культури, спорту та здоров'я.	**85**
Міскевич О.І., Каган І.В., Рожко О.А. Як обрати оптимальний ноутбук для навчання.	**92**
Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М. Використання системи диференціальних рівнянь для математичного моделювання електричних машин постійного струму	**97**
Пех П. А., Войтко В. М. Програмно-демонстраційний комплекс для наближеного розв'язування систем нелінійних рівнянь засобами Matlab.	**103**
Пех П. А., Дяченко Р. О. Розроблення засобами Matlab програмно-демонстраційного комплексу для наближеного розв'язування нелінійних рівнянь.	**109**
Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М. Застосування теорії масового обслуговування для оптимізації управління технічним обслуговуванням і ремонтом обладнання.	**114**
Роман В.І., Іжик А.Б. Аналітичні залежності розрахунку координат розташування та вагових коефіцієнтів акустичних каналів ультразвукових витратомірів.	**122**
Рощенко О. М. Перспективні напрямки розширення функціональності портативних електронних пристроїв: зарубіжний досвід.	**129**

Савченко Л. Г., Савченко В. М, Міненко С. В. Використання сучасних електротехнічних засобів та способів УФ знезараження стічних вод.	**133**
Семченко Г. П. Розробка моделі захищеного інтерфейсу передачі даних при роботі з хмарними сервісами.	**139**
Чайковський С. Ю. Про деякі питання кваліметрії у виробничо-технологічних системах.	**145**
Чумак Н. Р. Децентралізована фінансова модель для кредитування на основі технології Ethereum.	**152**
Шорнікова С.В. Валідація та верифікація методик вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва.	**157**
Юшков А. Г. Деякі аспекти проектування деталей та розробки управляючої програми в CAD/CAM-системі, що впливають на сумарну похибку виготовлення виробу на фрезерному верстаті з ЧПУ.	**164**
ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Арпентій С. П. Особливості застосування розподілених обчислень при обробці потокових даних.	**171**
Григоренко В. А. Особливості організації алгоритмів пошуку за зразками кодових послідовностей.	**177**
Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б. AR-applications by means of Unity and C#. *[**Kostiuchko S., Kyryliuk L., Abramovych V., Bobylev M., Petruk B.** AR-applications by means of Unity and C#.]*	**183**
Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдік О., Романюк Д. Моніторинг програм на кластері Raspberry Pi.	**189**
Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А. Особливості кібербезпеки сучасних інформаційних технологій в час цифрової трансформації. *[**Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rykovska L.O., Koshelyuk V.A.** Features of cybersecurity of modern information technologies during the digital transformation.]*	**194**
Мельник К. В., Мельник В. М., Нестерук В. О. Методи машинного навчання у тренуванні ігрового штучного інтелекту на прикладі агента у грі Snake.	**201**
Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П. Методи побудови адресного простору безпровідних сенсорних мереж.	**206**
Озерчук І. М. Формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет.	**212**
Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А. Використання програмного забезпечення на основі штучного інтелекту для обробки зображень.	**218**
Франков О. С. Механізми захисту персональної інформації у чаті.	**223**
Яремко С., **Кузьміна О., Новицький Р.** Використання технологій штучного інтелекту для прогнозування бізнес-процесів.	**230**

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-01
УДК 004.451.64:004.94
[1] **Вислоух Сергій Петрович,** кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-2204-2602
[1]**Яригін Віталій Андрійович,** Студент кафедри виробництва приладів
[1] **Глоба Олександр Васильович,** кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-4984-7195
[2] **Іваненко Руслан Олександрович,** старший науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0002-1447-6275
[1]Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
[2]Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КРУПНОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ FDM 3D ДРУКУ

Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О. Підвищення якості крупногабаритних деталей, виготовлених методом FDM 3D друку. Сучасне устаткування дозволяє регулювати лише безпосередньо температуру сопла (температуру друку пластику), не враховуючи при цьому температуру зовнішнього середовища. Відомо, що більшість моделей принтерів мають відкриті корпуси і виріб може охолоджуватись нерівномірно. Ймовірність отримання браку як за якісними характеристиками поверхонь, так і за формою зростає. Описана нами пропозиція модернізації конструкції принтера дозволить оптимізувати весь процес друку. Зменшення або усунення необхідності пост-обробки деталі, дозволить зменшити час повного циклу її виготовлення і знизить її кінцеву вартість. Уникнення ж помилок на етапі виготовлення прототипу, виключать можливість прихованих помилок після запуску виробу в серію.У статті, з метою пошуку оптимальних параметрів покращення якості деталі, визначається, яким чином підтримання мікрокліматичних умов в зоні друку впливає на параметри якості деталі. Встановлено, що на якість крупногабаритних виробів, виготовлених методом FDM друку, суттєво впливають процеси підтримання температурних режимів. Результатом дослідження окреслено шляхи усунення недоліків друку, зокрема шляхом модернізації принтера.
Ключові слова: адитивні технології, адитивне виробництво, 3D друк, FDM друк, етапи процесу друкування, якість деталі, параметри якості, моделювання параметрів, оптимізація параметрів друку, оцінка мікорклiматичних параметрів, слайсер, налаштування слайсера, температурний режим, засоби підтримання мікрокліматичних умов, вдосконалення конструкції принтера.

Вислоух С. П., Ярыгин В. А., Глоба О. В., Иваненко Р. А. Повышение качества крупногабаритных деталей, изготовленных методом FDM 3D печати. Современное оборудование позволяет регулировать только температуру сопла (температуру печати пластика), не учитывая при этом температуру внешней среды. Известно, что большинство моделей принтеров имеют открытые корпуса и изделие может охлаждаться неравномерно. Вероятность получения брака как по качественным характеристикам поверхностей, так и по форме растет. Описанное нами предложение модернизации конструкции принтера позволит оптимизировать весь процесс печати. Уменьшение или устранение необходимости пост-обработки детали, позволит уменьшить время полного цикла ее изготовления и снизит ее конечную стоимость. Избегание же ошибок на этапе изготовления прототипа, исключат возможность скрытых ошибок после запуска изделия в серию.В статье, с целью поиска оптимальных параметров улучшения качества детали, определяется, каким образом поддержания микроклиматических условий в зоне печати влияет на параметры качества детали. Установлено, что на качество крупногабаритных изделий, изготовленных методом FDM печати, существенно влияют процессы поддержания температурных режимов. Результатом исследования обозначены пути устранения недостатков печати, в частности путем модернизации принтера.
Ключевые слова: аддитивные технологии, аддитивное производство, 3D печать, FDM печать, этапы процесса печати, качество детали, параметры качества, моделирования параметров, оптимизация параметров печати, оценка мікорклiматичних параметров, слайсер, настройки слайсера, температурный режим, средства поддержания микроклиматических условий, совершенствование конструкции принтера**.**

Vysloukh S.P., Yaryhin V., Globa O.V., Ivanenko R.O. Improving the quality of large-size parts produced by FDM 3D printing. Modern equipment allows to regulate only the temperature of the nozzle directly (plastic printing temperature), without taking into account the temperature of the external environment. It is known that most models of printers have open casings and the product can cool down unevenly. The probability of getting defects in both the quality characteristics of the surfaces and the shape increases. The proposal we described to modernize the printer design will optimize the entire printing process. Reducing or eliminating the need for post-processing of the part, will reduce the time of the complete cycle of its production and reduce its final cost. In order to avoid mistakes at the stage of prototype production, the possibility of latent errors after the launch of the product in series will be excluded. The article determines how the maintenance of microclimatic conditions in the printing area affects the quality parameters of the part. It is established that the quality of large-size products manufactured by FDM printing method is significantly affected by the process of maintaining temperature conditions. As a result of the study the ways to eliminate the shortcomings of printing, in particular, the modernization of the printer have been outlined.
Key words: additive technologies, additive manufacturing, 3D printing, FDM printing, printing process stages, part quality, quality parameters, parameter modeling, printing parameter optimization, evaluation of microclimatic parameters, slicer, slicer settings, temperature conditions, means of maintaining microclimatic conditions, improvement of printer's design.

© Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О.

Постановка наукової проблеми. Адитивне виробництво (АВ), іншими словами — 3D друк, зайняв сьогодні передове місце серед технологічних досягнень промислового виробництва. Цей вид технологій досить стрімко увійшов у наше повсякдення, зберігаючи лідируючі позиції. Так, повідомляється, що світовий обсяг ринку 3D-друку у 2019 році сягнув 11,58 млрд доларів, і, очікується, що у період з 2020 до 2027 рр. він перевищить 14% загального обсягу. Загалом, у 2018 році було продано 1,42 мільйона одиниць 3D-принтерів, і до 2027 року, очевидно, ця цифра сягне 8,04 мільйона одиниць [8]. Згідно з іншими аналітичними даними, у 2020 р. 65% промислового виробництва вже використовувало 3D друк [15]. Фактом є те, що використання адитивних технологій нині є досить розповсюдженим методом виготовлення складних прототипів або серій невеликих виробів, як от частин надточних механізмів чи лінійки побутових товарів. Лише впродовж минулого року, у розгул пандемії, адитивні технології застосували для виготовлення клапана для апарата штучної вентиляції легенів [7] і партії тримачів для захисних масок, пристосованих для щоденного використання лікарями [25]. У даний час цей виробничий процес усе ще розглядається як перспективна технологія і широко вивчається з метою оцінки його застосування в комерційних цілях, зокрема в таких галузях: електроніка (резистори та датчики), оптична (антени), медична (штучні тазостегнові суглоби, кісткові структури та тканини), автомобільна, комунікаційна та аерокосмічна галузі (двигуни, турбіни та теплоізоляційні покриття) [14]. Передбачається подальший ріст цієї технології, і як стверджує Г.О. Андрощук: «здатний здійснити революцію в багатьох сферах життя» [18]. Тож увесь спектр досліджень, стосовно перспектив і шляхів розвитку 3D друку, огляду різних технологій 3D друку, практичному навчанню технологіям 3D друку — є актуальним, особливо — вивчення питання створення якісних прототипів за допомогою 3D друку.

Формулювання мети дослідження. Швидкому впровадженню окремих видів адитивних технологій, таких як FDM друк (Fused Deposition Modeling), посприяли наступні фактори: простота використання, швидкість виготовлення і дешевизна обладнання. Маючи ряд вагомих переваг, цей метод отримав широке застосування, і не лише на підприємствах, а й у малому бізнесі, у колі винахідників-ентузіастів. Здебільшого сьогодні він використовується у сферах приладобудування, швидкого прототипування, художнього друку. Оскільки технологія FDM друку є досить точною, доступною і стає все більш затребуваною, виникає необхідність боротися з певними недоліками, що виникають в процесі такого виробництва. Серед них — висока шорсткість бокових поверхонь, незадовільні міцнісні характеристики виробу, відхилення від форми тощо, що особливо присутнє в деталях великих габаритів. Саме задля можливостей подальшого розуміння причин виникнення цих та інших недоліків і їх усунення полягає зміст даного дослідження. Отже, основною проблемою нашої статті є підвищення якості деталей, особливо крупно габаритних, виготовлених методом FDM друку. Свою роботу ми плануємо звузити до пошуку оптимальних параметрів покращення якості деталі. Зокрема, ми хочемо визначити, яким чином на якість деталі впливає підтримання мікрокліматичних умов в зоні друку.

Постановка наукової проблеми зумовлює виконання низки дослідницьких завдань: виявити недоліки процесу FDM друку загалом; акцентувати увагу на основних недоліках, що впливають на якість деталі, проаналізувати причини їх виникнення; назвати оптимальні параметри якості; оцінити мікрокліматичні параметри; окреслити шляхи оптимізації параметрів друку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Треба зазначити, що існує цілий ряд розвідок як зарубіжних, так і українських авторів, які вивчали теоретичні й практичні питання використання FDM друку: стрімкі перспективи і шляхи його розвитку, огляд різних технологій 3D друкування, питання навчанню практичним технологіям 3D друку, управлінню цими технологіями для виробництва, зокрема в різних галузях промисловості, дизайні, майстерності створення прототипів за допомогою 3D друку тощо. Серед найбільш цікавих і наближених до теми нашого дослідження, на які варто звернути увагу, є: стаття колективу російських авторів, яка повідомляє про практичні шляхи вивчення механічних властивостей дослідних прототипів, виготовлених методом FDM 3D друку [20]; розвідка Струтинської О. В., кандидата педагогічних наук, доцента Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова, яка резюмуючи про перспективи розвитку технологій тривимірного друку, наголошує: «аналіз створеного за допомогою 3D друкування макету допомагає знайти недоліки в конструкції ще на етапі розробки» [21]; дослідження іншої української дослідниці, Петришин А. А, яка говорить: «варто приділити увагу аналізу й усуненню дефектів друку 3D принтерами професійного класу, що орієнтовані на великі компанії, адже саме вони потребують створення моделей і прототипів високої якості й точності» [19]. Серед зарубіжних авторів, які вивчають теоретичні й практичні питання факторів виникнення недоліків FDM 3D друку, заслуговують на увагу наступні публікації: дослідження факторів впливу точності FDM 3D друку [5];

© Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О.

моделювання помилок на основі навчання у процесі 3D друку [6]; оцінка механічних властивостей зразків, виготовлених за допомогою FDM 3D друку [10]; механічна характеристика моделювання плавленого осадження (FDM) 3D друкованих деталей [12] та низка інших. Серед найбільш цікавих і наближених до проблематики нашого дослідження є низка розвідок зарубіжних авторів. «Оптимізація параметрів друку при моделюванні плавленого осадження для поліпшення якості деталі та стійкості процесу» [3] — це експериментальне дослідження, що визначає взаємозв'язок між параметрами технологічного процесу, продуктивністю, стійкістю й якістю кінцевої деталі та її структурними характеристиками. «Огляд моделювання плавленого осадження 3D друку (FDM): обробка, матеріали та параметри друку» [13] — стаття, що аналізує такі параметри, як: процес виробництва ниток, типів матеріалів нитки та параметрів друку техніки FDM. Дослідження «Посилення якості поверхні плавленого зразка осадження (FDM) друкованих зразків на основі вибору критичних параметрів друку» [4] — виявляє критичні фактори у процесах FDM для зменшення шорсткості поверхні. Що цікаво, результати їх роботи показали, що товщина шару та товщини стінки є найважливішими факторами для контролю шорсткості поверхні, а інші — не виявили чіткого впливу. Розвідка «Якість поверхні 3D друкованих моделей як функція різних параметрів друку» [2] визначила, як тип пластику, роздільна здатність друку, позиціонування, вирівнювання, цільова структура, тип і кількість конструкцій підтримки можуть впливати на шорсткість поверхні друкованих об'єктів. Натомість, «Дослідження щодо впливу параметрів процесу моделювання плавленого осадження (FDM) на якість друкованої частини» [9] — визначило, що для отримання друкованої частини гарної якості треба розглядати такі фактори впливу, як: специфікація машин, умови друку та параметри процесу. Стаття «Оптимізація параметрів процесу 3D-принтера для поліпшення якості друкованої полілактичної кислоти» [16] виявила, що орієнтація на друковану частину дає більший ефект до шорсткості поверхні та механічної характеристики, ніж растр кута. Знову ж таки, дослідження «Критичні параметри, що впливають на якість прототипів у моделюванні плавленого осадження» [1] експериментує, як різні параметри процесу FDM (з використанням техніки TAGUCHI) впливають на якість прототипу. І нарешті, розвідка «Вплив параметрів оптимізації на якісну обробку поверхні тривимірного друку (3D друк) моделювання плавленого нанесення (FDM) з використанням RSM» [11] — визначає, що на шорсткість поверхні в основному впливає товщина шару порівняно з щільністю заповнення та швидкістю друку. Цікавою є стаття колективу російських авторів, яка подає класифікацію дефектів, отриманих технологією 3D друку FDM — «Поліпшення якості FDM 3D друку БПЛА та деталей літальних апаратів та вузлів шляхом параметричних програмних змін» [17]. Дослідження говорить про те, що користувачі адитивного обладнання (FDM 3D друк), особливо початківці, стикаються з різними дефектами, викликаними незадовільними обраними параметрами процесу 3D друку, недоліками у роботі 3D-принтера та підготовки 3D-моделі для друку.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Треба зазначити, що в українському дослідному полі сьогодні немає достатньої кількості матеріалів, які акцентують саме на пошуку й аналізі причин появи недоліків деталей, виготовлених методом FDM друку, зокрема засобами підтримання мікрокліматичних умов у зоні друку. Однак зазначимо, що варті уваги статті Чонки Е. Я., яка досліджує питання якості поверхонь моделей, виготовлених на 3D-принтерах. Так, в одній зі статей автор доходить висновку, що позиціонування екструдера створює додаткову рифленість (хвилястість) поверхні, яку можна зменшити програмно [23]. Її наступна стаття — також узагальнює, що параметри шорсткості поверхні деталей, виготовлених в умовах адитивного виробництва, є наслідком вибору програмного забезпечення, в якому спроектована цифрова модель заготовки [22]. Цікавою є одна з останніх її робіт, яка наголошує, що підвищити характеристики якості деталі здатні шляхи вибору ефективної системи переміщення друкуючої головки в процесі непланарного методу 3D друку [24]. Розгляду заслуговують також низка досліджень Яригіна В. А. [26; 29]. Особливо дві останні публікації, в яких автор доходить до висновку, що вивчення впливу параметрів процесу 3D друку на характеристики якості отриманих деталей мають перспективу, акцентуючи, що одним з ключових факторів, що впливають на процес — є температурні режими [28; 27]. Отже, наше дослідження щодо підвищення якості крупногабаритних деталей, виготовлених методом FDM друку, зокрема шляхом підтримання певних мікрокліматичних режимів в зоні друку має наукову новизну і передбачає більш ґрунтовне дослідження в майбутньому.

Виклад основного матеріалу дослідження й обґрунтування отриманих результатів. Незаперечним фактом є твердження про те, що на вартість виконання робіт, пов'язаних з адитивними технологіями, насамперед, впливає вартість обладнання й вартість витратних матеріалів. Виходячи з цього, найбільш простою і доступною сьогодні технологією 3D друку є FDM (метод плавленого осадження). Узагальнюючи глобальний досвід і наші спостереження, резюмуємо, що для

© Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О.

виготовлення прототипів та для виготовлення серії продукції, варто використовувати FDM технологію як найбільш дешеву і доступну: «Для дрібносерійного виробництва деталей та моделей на 3D-принтері доцільно використовувати метод FDM, оскільки він є дешевим, доступним, не вимагає спеціального програмного забезпечення та забезпечений великим вибором матеріалу для друку» [22]. Крім того, ця «технологія дозволяє отримати якісні тонкостінні профільні вироби, що вирізняються особливо малою вагою та високими споживчими властивостями» [20, с. 26].

Дійсно, технології адитивного виробництва набувають величезної популярності у виробничому секторі через їх беззаперечну здатність конструювати геометрично складні прототипи та функціональні деталі, зокрема виникає потреба і в крупногабаритних. Ми впевнені, що підвищення їх якості з метою оптимізації параметрів якості та впровадження у виробництво має неабиякі перспективи.

І хоч адитивні технології мають ряд недоліків, більшість з них не є стільки суттєвими, щоб від них відмовлятися, а дефекти можна упередити або виправити. Цього можна досягти завдяки більш ретельному підходу до підготовчих робіт і друку, або пост-обробкою отриманих деталей. Логічно, що для виготовлення серії або партій деталей промислової продукції, важливим є отримання більш якісної за параметрами деталі на етапі виходу й уникнення необхідності їх пост-обробки. Про це говорить і Петришина А. А.: «великі компанії, в яких є постійна потреба в створенні моделей і прототипів високої якості і точності, повинні приділяти увагу питанню усунення дефектів та браку» [19], і Струтинська О. В.: «аналіз створеного за допомогою 3D друкування макету допомагає знайти недоліки в конструкції ще на етапі розробки» [21].

Більшість дослідників одностайні у висновку, що на якість FDM друкованої моделі впливають: підготовчі роботи [5; 19], вибір робочого матеріалу [6; 12] і технологічні етапи процесу друкування [2; 3; 4; 5; 10; 12; 13; 14; 15; 19]. Також, майже всі одностайно висловлюються, що для зменшення кількості недоліків і відсоток браку деталей, що виникають при FDM друці, необхідно ретельно дослідити чинники, що впливають на якість готових деталей.

Ми погоджуємося з таким підходом, і для реалізації нашої мети — визначимо чинники, які найбільше впливають на якість 3D-моделі. На нашу думку, пошук варто робити, розглядаючи всі етапи процесу друкування: від підготовки моделі до її безпосереднього виготовлення та пост-обробки (за необхідності), як зазначає Яригін В. А. [26].

Спочатку окреслимо етапи процесу друкування. На точку зору російських дослідників, це: 1) калібрування обладнання; 2) підготовка 3D-моделі для 3D друку; 3) завантаження файлу (G-коду) до 3D-принтера; 4) 3D друк частини; 5) видалення частини від робочої камери 3D-принтера; 6) пост-обробка друкованої частини [17]. Українська науковиця Чонка Е. Я. називає процес друкування «життєвим циклом однієї деталі». У її розумінні, це послідовність дій, яка показує формоутворення моделі: «базова концепція — етап проектування — створення цифрової параметричної 3D-моделі — компіляція в формат STL — розбиття на шари — друк на принтері — обробка надрукованої деталі — використання — утилізація» [22]. У ході нашого дослідження, ми окреслили наступні етапи друкування:

1. Виготовлення 3D-моделі
2. Підготовка моделі до друку
3. Вибір оптимального режиму роботи 3D принтера
4. Підготовка принтера до друку
5. Друк
6. Пост-обробка

У процесі моделювання параметрів друку, ми визначили, що етап вибору оптимального режиму роботи 3D принтера найбільш суттєво впливає на якість отриманих деталей. А саме — вибір робочого матеріалу, температура сопла, температура стола, швидкість друку та ін.

Крім того, не менш важливими для забезпечення якості деталі можуть стати робочі елементи процесу, а також їх функції — тобто інші фактори, що також впливають на процес друкування. Такими робочими елементами є: 1) оператор; 2) 3D-принтер; 3) 3D-інструменти (зонд, шпатель, шліфувальний інструмент для пост-обробки); 4) програмне забезпечення 3D-принтера; 5) програма SliCer для обробки 3D-моделі та перетворення його в G-код тощо [17]. Не заперечуємо, але й не можемо стверджувати, що робочі елементи процесу окремо суттєво впливають на якість друкованої деталі, особливо, без контролю оператора. Хоча, зазначимо, що від вибору обладнання, вибору програмного забезпечення, вибору робочого матеріалу неабияк залежить якість виготовленої моделі.

Перейдемо до виконання наступної мети нашого дослідження — виявити недоліки загалом, що виникають у процесі FDM друку. За низкою проведених експериментальних спостережень, ми

© Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О.

виділили низку найбільш поширених проблемних ситуацій, які виникли у ході експериментального виготовлення деталей: перший шар екструдованого матеріалу не прилипає до робочого столу; насадка друкуючої головки не друкує; екструдовано забагато полімерного матеріалу; полімерний матеріал недостатньо екструдований; утворення обривів, розділення між шарами; дрібні частини деталі не друкуються; хвилястість поверхні; висока шорсткість поверхні.

Всі перераховані проблемні ситуації — це недоліки FDM друку, що негативно впливають на якість виготовленої моделі. У процесі друку експериментальних зразків, моделюючи параметри друку, встановлено, що на всіх етапах друку присутні процеси і чинники, які можуть негативно вплинути на якісні характеристики деталі. На якісний результат FDM друку дійсно впливає: склад матеріалу нитки або тип полімеру нитки, робочі параметри екструзії (всі характеристики, пов'язані зі швидкістю екструзії та температурою), основні фактори режиму друку. Проте дотримання температурних режимів зоні друку стало важливим чинником на кожному з етапів.

Для виконання нашого дослідження, ми окреслили, що під параметрами якості виготовленої деталі ми розуміємо відповідність готової деталі розмірам, формі та якісним зовнішнім характеристикам поверхонь 3D-моделі. Для реалізації цього завдання, ми проаналізували взаємозалежність параметрів якості деталі від різноманітних чинників, моделюючи деякі відмінні параметри. До параметрів якості поверхонь деталей ми віднесли наступні, найбільш оптимальні: шорсткість і структура поверхонь, відповідність розміру та форми 3D-моделі. Всі параметри, за якими визначалися показники шорсткості: середня арифметична шорсткість; корінь квадратний середньої шорсткості; середня висота від піку до впадини; середня висота елементів профілю; максимальна глибина шорсткості; середня висота піка профілю; заповнений матеріалом пік профілю, інтервал впадин. Всі параметри розмірів і відхилення від форми: відхилення від геометричних розмірів довжини, ширини і висоти; усадка полімерного матеріалу.

Розраховуючи усереднені показники параметрів якості експериментальних зразків, встановлено: залежність шорсткості поверхні та параметрів відхилення форми і розмірів від впливу основних факторів режиму друку (швидкості друку, температури друку, діаметру екструзії). При аналізі досліджуваних параметрів відмічено, що усереднені дані експериментальних зразків, виготовлених при дотриманні додаткових заходів з підтримання оптимального температурного середовища в зоні друку, були кращими. На рис. 1. показано залежність середніх параметрів шорсткості від параметрів температури та відносної вологості в зоні друку.

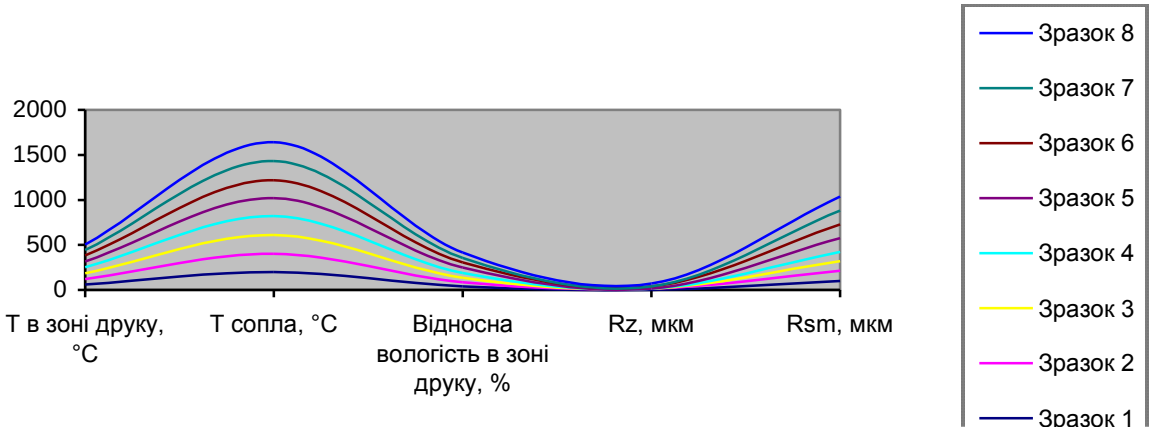


Рис. 1. Залежність параметрів шорсткості (середнього показника інтервалу впадин Rsm та середнього значення висоти від піку до впадини Rz) від параметрів температури в зоні друку, температури розігріву сопла та відносної вологості в зоні друку

Також встановлено, що на якість друкованих крупногабаритних виробів суттєво вплинули наступні мікрокліматичні параметри: температура нагрівальної платформи, швидке охолодження друкованої моделі, підтримання температури сопла екструдера, протяг і відносна вологість в приміщенні.

Резюмуємо результати нашого дослідження. 1. Недостатня температура нагрівальної платформи призводить до відставання першого шару екструдованого полімерного матеріалу від столика, внаслідок чого відбувається подальше відхилення параметрів форми та розміру. 2. При друкуванні крупногабаритних деталей, зі зростанням висоти виробу і віддаляючись від нагрівача, температурне середовище суттєво знижується і деталь швидко охолоджується, що впливає на висоту

© Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О.

усадки шарів. 3. При підтриманні режимів нагрівання й охолодження сопла, якщо температуру сопла занизити — адгезія шарів буде недостатньою, що впливає на параметри міцності деталі, розшарування; якщо температуру сопла підвищити — це призводить до занадто швидкої екструзії, попередні шари пластику розтікаються. 4. Під час процесу FDM друку протяги в приміщенні прискорюють застигання екструдованого полімерного матеріалу з одного боку деталі, що призводить до виникнення внутрішнього напруження і відшарування шарів. Отже, результатом нашого дослідження, для усунення недоліків друку та підтримки мікрокліматичних умов друку, пропонується модернізувати принтер шляхом використання додаткового нагрівача та кожуха (застосований у процесі експериментальних досліджень). Результати досліджень показали, що така модернізація є не дорогою і дозволяє утримуватиме весь процес друку деталі в певному температурному режимі. В результаті вищезазначених модернізацій можна отримати кращий температурний градієнт на об'ємі деталі, що дозволить виготовити більш якісну деталь за параметрами шорсткості поверхонь, а також збільшить кінцеву міцність деталей на розрив за рахунок кращої дифузії між шарами екструдованого полімерного матеріалу.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У ході наших експериментальних досліджень визначено, що на процес друку, а отже і на якість отриманих деталей впливають багато факторів. Одним з ключових факторів є температурні режими друку, особливо засоби підтримки температурних умов в зоні друку. Сучасне устаткування дозволяє регулювати лише безпосередньо температуру сопла (температуру друку пластику), не враховуючи при цьому температуру зовнішнього середовища. Відомо, що більшість моделей принтерів мають відкриті корпуси і виріб може охолоджуватись нерівномірно. Ймовірність отримання браку як за якісними характеристиками поверхонь, так і за формою зростає. Описана нами пропозиція модернізації конструкції принтера дозволить оптимізувати весь процес друку. Зменшення або усунення необхідності пост-обробки деталі, дозволить зменшити час повного циклу її виготовлення і знизить її кінцеву вартість. Уникнення ж помилок на етапі виготовлення прототипу, виключать можливість прихованих помилок після запуску виробу в серію. Ми вважаємо, що наші дослідження мають перспективу подальших досліджень, особливо з метою випробування модернізованого устаткування й запуску його у виробництво.

References.

1. Anitha R., Arunachalam S., Radhakrishnan P. (2001). Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modeling // J. Mater. Process. Technol. – Vol. 118. – №. 1–3. – P. 385–388.
2. Arnold Christin, Monsees Delf, Hey Jeremias, Schweyen Ramona (2019). Surface Quality of 3D-Printed Models as a Function of Various Printing Parameters [Електронний ресурс] // Materials 12(12):1970. — Режим доступу: DOI:10.3390/ma12121970. – Назва з екрану.
3. Camposeco-Negrete Carmita (2020). Optimization of printing parameters in fused deposition modeling for improving part quality and process sustainability [Електронний ресурс] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – №108 (7-8). – Режим доступу: DOI:10.1007/s00170-020-05555-9. – Назва з екрану.
4. Carou Diego, Pérez Mercedes, Medina-Sánchez G., García-Collado Alberto, Gupta Munish (2018). Surface Quality Enhancement of Fused Deposition Modeling (FDM) Printed Samples Based on the Selection of Critical Printing Parameters. Projects: Additive manufacturing processes [Електронний ресурс] // Performance Assessment of 3D- Printed Parts Materials. – №11(8). – Режим доступу: DOI:10.3390/ma11081382. – Назва з екрану.
5. Changxiu Zhou, Tiantian Han (2021). Research on the Influencing Factors of FDM 3D Printing Accuracy [Електронний ресурс] // Journal of Physics Conference Series 1838(1):012027. – Режим доступу: DOI:10.1088/1742-6596/1838/1/012027. – Назва з екрану.
6. Charalampous Paschalis, Kostavelis Ioannis, Kontodina Theodora, Tzovaras Dimitrios (2021). FDM Learning-based error modeling in FDM 3D printing process [Електронний ресурс] // Rapid Prototyping Journal ahead-of-print (ahead-of-print). – Режим доступу: DOI:10.1108/RPJ-03-2020-0046. – Назва з екрану.
7. Coronavirus, a Brescia manca una valvola per i rianimatori: ingegneri e fisici la stampano in 3D in sei ore / Andrea Sparaciari [Електронний ресурс] // Business Insider Italia. – 14.03.2020. – Режим доступу: https://it.businessinsider.com/coronavirus-manca-la-valvola-per-uno-strumento-di-rianimazione-e-noi-la-stampiamo-in-3D-accade-nellospedale-di-chiari-brescia/. – Назва з екрану.
8. GVR: Global 3D Printing Market Size was $11.58 Billion in 2019 [Електронний ресурс] // Printed Electronics now. – 02.10.20. – Режим доступу: https://www.printedelectronicsnow.com/contents/view_breaking-news/2020-02-10/gvr-global-3D-printing-market-size-was-1158-billion-in-2019/.– Назва з екрану.
9. Ngoc-Hien Tran, Van-Nam Nguyen, Anh-Vu Ngo, Cuong Nguyen (2017). Study on the Effect of Fused Deposition Modeling (FDM) Process Parameters on the Printed Part Quality [Електронний ресурс]. – Режим доступу: DOI:10.9790/9622-0712027177. – Назва з екрану.
10. Popa Alexandru, Faur Nicolae, Hluscu Mihai, Belin Cosmin (2019). Evaluation of the Mechanical Properties of the Samples Made by FDM 3D Printing [Електронний ресурс] // Materiale plastice. – №56(3). – P. 500-504. – Режим доступу: DOI:10.37358/MP.19.3.5217. – Назва з екрану.
11. Radhwan Hussin, Shayfull Zamree Bin Abd. Rahim, Muhamad Farizuan Rosli, M. S. M. Effendi (2019). Optimization parameter effects on the quality surface finish of the three-dimensional printing (3D-printing) fused deposition modeling

© Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О.

(FDM) using RSM [Електронний ресурс] // AIP Conference Proceedings 2129(1):020155. – Режим доступу: DOI:10.1063/1.5118163. – Назва з екрану.
12. Rahmatabadi Davood, Aminzadeh Ahmad, Aberoumand Mohammad, Moradi Mahmoud (2021). Mechanical Characterization of Fused Deposition Modeling (FDM) 3D Printed Parts [Електронний ресурс]// Fused Deposition Modeling Based 3D Printing. – P. 131-150. – Режим доступу: DOI:10.1007/978-3-030-68024-4_7. – Назва з екрану.
13. Ruben Bayu Kristiawan, Fitrian Imaduddin, Dody Ariawan, Ubaidillah Sabino (2021). A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters [Електронний ресурс] // Open Engineering 11(1). – P. 639-649. – Режим доступу: DOI:10.1515/eng-2021-0063. – Назва з екрану.
14. Sugavaneswaran M., Arumaikkannu G. Modelling for randomly oriented multi material additive manufacturing component and its fabrication // Materials & Design. – February 2014. – Volume 54. – P. 779-785.
15. To prawdziwy boom. Do końca tego roku sprzedaż drukarek 3D wzrośnie o 100 procent [Електронний ресурс] // tvn24. – 17 października 2016. – Режим доступу: https://tvn24.pl/biznes/tech/sprzedaz-drukarek-3D-wzrosnie-o-ponad-100-proc-do-konca-2016-roku-ra684502-4472347. – Назва з екрану.
16. Tontowi Alva, L Ramdani, Rosa vella Erdizon, Dawi Karomati Baroroh (2017). Optimization of 3D-Printer Process Parameters for Improving Quality of Polylactic Acid Printed Part [Електронний ресурс] // International Journal of Engineering and Technology. – №9(2). – P. 589-600. – Режим доступу: DOI:10.21817/ijet/2017/v9i2/170902044. – Назва з екрану.
17. Zagidulin R. S., Zezin N. I., Rodionov N. V. (2021). Improving the quality of FDM 3D printing of UAV and aircraft parts and assemblies by parametric software changes [Електронний ресурс] // IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1027:012-031. – Режим доступу: DOI:10.1088/1757-899X/1027/1/012031. – Назва з екрану.

Список бібліографічного опису.

1. Андрощук Г. О. 3D-друк в епоху інноваційних технологій: проблеми регулювання / Г. О. Андрощук, Я. В. Копил // Інтелектуальна власність в Україні. – 2016. – № 5. – С. 17-26.
2. Петришина А. А. Тенденції розвитку тривимірного друку, обладнання та матеріалів для нього / А. А. Петришина // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада 2015 р., м. Тернопіль. – Тернопіль, 2015. – С. 26-27.
3. Смирнов В. В. Перспективы развития аддитивного производства в российской промышленности. Опыт ФГБОУ УГАТУ / В. В. Смирнов, В. В. Барзали, П. В. Ладнов // Новости материаловедения. Наука и техника. – № 2 (14). – 2015. – С. 23-27.
4. Струтинська О. В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування [Електронний ресурс] / О. В. Струтинська // Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 2 : Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. – 2018. – № 20. – С. 88–94. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nchnpu_2_2012_12_27. – Назва з екрану.
5. Чонка Е. Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, В. С. Антонюк // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні : збірник наукових праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 10-11 грудня. – Київ : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури, 2019. – С. 197- 200.
6. Чонка Е. Я. Дослідження якості поверхні при виготовленні моделей на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковський, В. В. Сєров // Процеси механічної обробки, верстати та інструмент : збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції, 6–9 листопада. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 201-202.
7. Чонка Е. Я. Особливості непланарного методу 3D друку поверхонь / Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковский // Збірник наукових праць XIII Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р. м. Київ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 134–138.
8. Школяр вирішив полегшити медикам роботу і покращив дизайн захисних масок. Справа лише у тримачі, але лікарі винахід оцінили [Електронний ресурс] // Ukr.Media. – 9 Квітня 2020. – Режим доступу: https://ukr.media/world/413621/. – Назва з екрану.
9. Яригін В. А. Аналіз параметрів, що впливають на якість 3D друку / В. А. Яригін., С. П. Вислоух // Materialsof the 20th International Scientificand Technical Seminar «Modern questions of production an drepairin industry and in transport», March 23-29, 2020, Kosice, Tbilisi, Georgia. – С. 180-183.
10. Яригін В. А. Дослідження параметрів якості деталей, отриманих шляхом 3D друку / В. А Яригін., С. П. Вислоух // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11-15 травня 2020 року м. Житомир. – Київ: Державний університет «Житомирська політехніка» – С. 125-126.
11. Яригін В. А. Особливості отримання прототипів за допомогою 3D друку / В. А Яригін., С. П. Вислоух // Збірник наукових праць XIII Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р. м. Київ. – Київ: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. – 2020. – С. 139-142.
12. Яригін В. А. Про сучасні методи та засоби моделювання / В. А. Яригін, С. П. Вислоух // Збірник праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 10-11 грудня 2019 року. – Київ: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. – 2019. – С. 211-213.

© Вислоух С.П., Яригін В.А., Глоба О.В., Іваненко Р.О.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-02
УДК 517.51
Грінченко Л.Г.
Луцький національний технічний університет

НАЙКРАЩІ РІВНОМІРНІ НАБЛИЖЕННЯ НЕПЕРЕРВНИХ ФУНКЦІЙ УЗАГАЛЬНЕНИМИ БАГАТОЧЛЕНАМИ

Грінченко Л.Г. Найкращі рівномірні наближення неперервних функцій узагальненими багаточленами. В роботі запропоновано два способи наближеної побудови багаточленів найкращого наближення. Розроблено підхід, який дозволяє за допомогою скінченної кількості кроків побудувати багаточлен найкращого наближення до функції $f(x)$ на множині, яка складається з скінченної кількості точок.
Ключові слова: багаточлени найкращого наближення, узагальнені багаточлени, багаточлени Чебишева.

Гринченко Л.Г. Наилучшие равномерные приближения непрерывных функций обобщенными многочленами. В работе предложено два способа приближенного построения многочленов наилучшего приближения. Представлен подход, который позволяет с помощью конечного количества шагов построить многочлен наилучшего приближения к функции $f(x)$ на множестве, которое состоит из конечного количества точек.
Ключевые слова: многочлены наилучшего приближения, обобщенные многочлены, многочлены Чебышева.

L. Grinchenko. Best universal approximations of continuous functions by generalized multiplications. Two methods of approximate construction of polynomials of best approximation are proposed. An approach is presented which, using a finite number of steps, allows us to construct a polynomial of best approximation to a function $f(x)$ on a set that consists of a finite number of points.
Key words: polynomials of best approximation, generalized polynomials, Chebyshev polynomials.

В практиці обчислювань, особливо при роботі на електронних обчислювальних машинах, часто доводиться зустрічатися з багатократними обчисленнями заданої функції $f(x)$, наприклад з обчисленнями значень елементарних функцій $e^x, \ln x, \sin x, \cos x$ і т.д. Вводити в машину ці функції у вигляді таблиць недоцільно, так як таблиці заповнюють пам'ять машини і на вибірку потрібних значень витрачається набагато більше часу. Доцільніше кожен раз обчислювати потрібне значення функції з заданою точністю ε, використовуючи якийсь алгоритм для її обчислення. Дуже часто для цього замінюють розглядувану функцію $f(x)$ іншою, легко обчислюваною функцією $\varphi(x)$ (наприклад, багаточленом), значення якої на всьому розглядуваному відрізку $[a;b]$ зміни x відрізняються від значень $f(x)$ не більше ніж на ε, і в процесі обчислень працюють з функцією $\varphi(x)$.

Основні результати.

1. Дано клас R функцій, визначених на відрізку $[a;b]$, і деяка підмножина $\bar{R}$ функцій цього класу. Для заданої функції $f(x) \in R$ і заданого числа $\varepsilon > 0$ відшукано функцію $\varphi(x) \in \bar{R}$, для якої має місце нерівність

$$|f(x) - \varphi(x)| < \varepsilon, \quad x \in [a;b].$$

В якості R розглядається множина C неперервних функцій, а в якості $\bar{R}$ – деяка множина алгебраїчних або узагальнених багаточленів.

2. Для даної функції $f(x) \in R$ знайдено функцію $\varphi_0(x) \in \bar{R}$, для якої має місце рівність

$$\max_{x\in[a,b]} |f(x) - \varphi_0(x)| = \inf_{\varphi\in\bar{R}} \max_{x\in[a,b]} |f(x) - \varphi(x)|,$$

тобто знайдено функцію найкращого наближення.

© Грінченко Л.Г.

Нехай $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \ldots, \varphi_n(x)$ – деякі $n+1$ лінійно незалежні функції із C. В якості $\bar{R}$ візьмемо сукупність лінійних комбінацій $\Phi(x) = \sum_{i=0}^{n} C_i \varphi_i(x)$ з дійсними коефіцієнтами. Елемент $\Phi_0(x)$, який належить $\bar{R}$, буде елементом найкращого наближення для $f \in R$, якщо

$$\sup_{x \in F} \left| f(x) - \Phi_0(x) \right|$$

набуває найменшого можливого значення.

Не існує скінченного алгоритму побудови багаточленів найкращого наближення для будь-якої заданої функції $f(x)$. Тому велике значення набувають методи наближеної побудови таких багаточленів. Подамо два способи побудови багаточленів.

Перший спосіб наближеної побудови багаточлена найкращого наближення. Нехай для функції $f(x)$, неперервної на відрізку $[a;b]$, необхідно побудувати багаточлен, близький до багаточлена найкращого наближення $P_n(x)$ в $H_n(P)$. Для побудови такого багаточлена візьмемо на відрізку $[a,b]$ $m+1$ точку ($m > n+1$)

$$x_j = a + j\frac{b-a}{m} \quad (j = 0,1,2,\ldots,m). \tag{1}$$

Позначимо цю множину через F. Будуємо багаточлен найкращого наближення до $f(x)$ на F в $H_n(P)$. Цей багаточлен позначимо через $P_{n,m+1}(x)$. При $m \to \infty$ послідовність багаточленів $\{P_{n,m+1}(x)\}_{m=n+1,\ldots}$ рівномірно на $[a,b]$ збігається до $P_n(x)$.

Позначимо через $2L$ коливання функції $f(x)$ на $[a;b]$. Можна вважати, що

$$\max_{x \in [a,b]} f(x) = -\min_{x \in [a,b]} f(x), \text{ тобто } -L \le f(x) \le L.$$

Бачимо, що

$$\left| P_{n,m+1}(x_j) \right| < L + E_n(f) \quad (j = 0,1,2,\ldots,m). \tag{2}$$

Нехай $\left| P_{n,m+1}(x) \right|$ досягає на $[a;b]$ максимуму M_{m+1} в точці x^*. Серед точок x_j $(j = 0,1,2,\ldots,m)$ знайдеться точка, віддалена від x^* не більше ніж на $\frac{b-a}{2m}$. Нехай це точка x_k. Тоді

$$P_{n,m+1}(x^*) - P_{n,m+1}(x_k) = (x^* - x_k)\left[\frac{d}{dx} P_{n,m+1}(x)\right]_{x=\xi}, \tag{3}$$

де ξ лежить між x^* і x_k.

Скористаємося нерівністю Маркова, яка стверджує, що якщо $P(x)$ – багаточлен степеня n, а $M = \max_{x \in [a,b]} \left| P(x) \right|$, то при $x \in [a;b]$

$$\left| P'(x) \right| < \frac{2n^2 M}{(b-a)}. \tag{4}$$

Використовуючи цю нерівність, отримаємо:

$$\left| \frac{dP_{n,m+1}(x)}{dx} \right| < \frac{2n^2 M_{m+1}}{b-a}. \tag{5}$$

© Грінченко Л.Г.

Із (2), (3), (5) маємо:

$$M_{m+1} - L - E_n(f) \le P_{n,m+1}(x^*) - P_{n,m+1}(x_k) \le \frac{2n^2 M_{m+1}}{b-a}\frac{b-a}{2} = \frac{n^2}{m} M_{m+1}.$$

Таким чином,

$$M_{m+1}\left(1 - \frac{n^2}{m}\right) \le L + E_n(f).$$

Якщо $m > n^2$, то

$$M_{m+1} \le \frac{L + E_n(f)}{1 - \frac{n^2}{m}}. \tag{6}$$

Нехай x – довільна фіксована точка відрізка $[a,b]$, а x_j – найближча до неї точка із розглядуваної системи $x_0, x_1, x_2, \ldots, x_m$.

Знову, застосовуючи нерівність Маркова (4) і оцінку (6) для M_{m+1}, маємо:

$$\left|P_{n,m+1}(x) - P_{n,m+1}(x_j)\right| = (x - x_j)\left[\frac{dP_{n,m+1}(\xi)}{dx}\right] \le \frac{b-a}{2m}\frac{2n^2 M_{m+1}}{b-a} \le \frac{n^2}{m}\frac{(L + E_n(f))}{1 - \frac{n^2}{m}} =$$

$$= [L + E_n(f)]\frac{n^2}{m - n^2}. \tag{7}$$

Далі, на $[a,b]$ знайдеться точка $\bar{x}$, в якій має місце рівність

$$\Delta(f, P_{n,m+1}) = \max_{x\in[a,b]}\left|f(x) - P_{n,m+1}(x)\right| = \left|f(\bar{x}) - P_{n,m+1}(\bar{x})\right|.$$

Нехай x_j – найближча до неї із розглядуваних точок (1). Тоді

$$\nabla(f, P_{n,m+1}) = \left|f(\bar{x}) - P_{n,m+1}(\bar{x})\right| \le \left|f(x_j) - P_{n,m+1}(x_j)\right| + \left|f(\bar{x}) - f(x_j)\right| +$$

$$+ \left|P_{n,m+1}(x_j) - P_{n,m+1}(\bar{x})\right| \le E_n(f) + \omega\left(\frac{b-a}{2m}\right) + [L + E_n(f)]\frac{n^2}{m - n^2}, \tag{8}$$

де через $\omega(\delta)$ позначено модуль неперервності функції $f(x)$ на відрізку $[a,b]$.

Модулем неперервності функції $f(x)$ на відрізку $[a,b]$ називають величину

$$\omega(\delta) = \sup_{|x'-x''|\le\delta}\left|f(x'') - f(x')\right| \quad (x', x'' \in [a,b]).$$

Позначаючи суму останніх двох членів в правій частині нерівності (8) через ε_m:

$$\varepsilon_m = \omega\left(\frac{b-a}{2m}\right) + [L + E_n(f)]\frac{n^2}{m - n^2}, \tag{9}$$

будемо мати:

$$\Delta(f, P_{n,m+1}) \le E_n(f) + \varepsilon_m. \tag{10}$$

Для оцінки близькості $P_{n,m+1}(x)$ до багаточлена найкращого наближення, тобто величини

$$\Delta(f, P_{n,m+1}) - E_n(f),$$

можна скористатися таким прийомом. Знаходимо

$$\tilde{M}_{m+1} = \max_{x\in[a,b]}\left|f(x) - P_{n,m+1}(x)\right|$$

© Грінченко Л.Г.

і $E_n(f,F)$, де F – множина точок $x_0, x_1, \ldots, x_m$. Тоді

$$\Delta\left(f, P_{n,m+1}\right) - E_n(f) \le \tilde{M}_{m+1} - E_n(f,F). \tag{11}$$

Подамо другий спосіб наближеної побудови багаточлена найкращого наближення. Цей спосіб полягає в наступному. За початкове наближення багаточлена найкращого наближення до неперервної функції $f(x)$ на відрізку $[a,b]$ в $H_n(P)$ береться деякий багаточлен $P_{n,0}(x) \in H_n(P)$, такий, що на відрізку $[a,b]$ повинна існувати система із $(n+2)$ точок $x_1 < x_2 < \ldots < x_{n+2}$, в яких різниця $\Delta_0(x_i) = f(x_i) - P_{n,0}(x_i)$ має почергові знаки. Досліджуючи на екстремум функцію $\Delta_0(x)$, знаходимо таку комбінацію точок

$$x_1^{(0)} < x_2^{(0)} < \ldots < x_{n+2}^{(0)}, \tag{12}$$

на якій $\Delta_0\left(x_i^{(0)}\right)$ має почергові знаки при зростанні i від 1 до $n+2$, а найбільше і найменше значення $\left|\Delta_0\left(x_i^{(0)}\right)\right|$ відповідно рівні L_0 і A_0, де $L_0 = \max\limits_{x\in[a,b]}\left|\Delta_0(x)\right|$, а A_0 – найкраща нижня межа для $E_n(f)$, яку можна отримати із дослідження $\Delta_0(x) = f(x) - P_{n,0}(x)$.

Багаточлен $P_{n,0}(x)$ доцільно будувати як багаточлен найкращого наближення до функції $f(x)$ на множині точок $y_1 < y_2 < \ldots < y_{n+2}$, де

$$y_i = \frac{b-a}{2}\cos\frac{(n+i)\pi}{n+1} + \frac{a+b}{2} \quad (i = 1, 2, \ldots, n+2). \tag{13}$$

(Це – точки, відповідні точкам екстремуму багаточлена Чебишева $T_{n+1}(t)$ на відрізку $[-1,+1]$, якщо з допомогою перетворення $y = \frac{b-a}{2}t + \frac{b+a}{2}$ відрізок $[-1,+1]$ перетворити у відрізок $[a,b]$). Далі, шукається поправка $P_0(x)$ до цього багаточлена як багаточлен найкращого наближення в $H_n(P)$ до функції $\Delta_0(x) = f(x) - P_{n,0}(x)$ на множині точок F_0 (12). Значення багаточлена $P_0(x)$ в точках $x_i^{(0)}$ визначаються із системи

$$\begin{aligned}
&\Delta_0\left(x_1^{(0)}\right) - P_0\left(x_1^{(0)}\right) = -\left[\Delta_0\left(x_2^{(0)}\right) - P_0\left(x_2^{(0)}\right)\right] = \left[\Delta_0\left(x_3^{(0)}\right) - P_0\left(x_3^{(0)}\right)\right] = \\
&= \ldots = (-1)^{n+1}\left[\Delta_0\left(x_{n+2}^{(0)}\right) - P_0\left(x_{n+2}^{(0)}\right)\right] = \alpha\rho\left(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \ldots, x_{n+2}^{(0)}\right) = \alpha\rho_0,
\end{aligned} \tag{14}$$

де

$$\begin{cases}
\alpha = sign\Delta_0\left(x_1^{(0)}\right); \\
\rho_0 = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n+2} d_{n,i}^{(0)}\left|\Delta_0\left(x_i^{(0)}\right)\right|}{\sum\limits_{i=1}^{n+2} d_{n,i}^{(0)}}; \\
d_{n,i}^{(0)} = \dfrac{1}{\left(x_i^{(0)} - x_1^{(0)}\right)\left(x_i^{(0)} - x_2^{(0)}\right)\ldots\left(x_i^{(0)} - x_{i-1}^{(0)}\right)\left(x_{i+1}^{(0)} - x_i^{(0)}\right)\ldots\left(x_{n+2}^{(0)} - x_i^{(0)}\right)}.
\end{cases} \tag{15}$$

Знайшовши $P_0(x)$, отримаємо перше наближення багаточлена найкращого наближення:

© Грінченко Л.Г.

$$P_{n,1}(x) = P_{n,0}(x) + P_0(x).$$

Досліджуючи на екстремум функцію

$$\Delta_1(x) = f(x) - P_{n,1}(x) = \Delta_0(x) - P_0(x)$$

знаходимо множину точок F_1:

$$x_1^{(1)} < x_2^{(1)} < x_3^{(1)} < \ldots < x_{n+2}^{(1)},$$

В яких $\Delta_1\left(x_i^{(1)}\right)$ має чергуючи знаки, а найбільше і найменше значення серед $\left|\Delta_1\left(x_i^{(1)}\right)\right|$ рівні відповідно L_1 і A_1 (L_1 і A_1 мають такий самий зміст для $\Delta_1(x)$, що і L_0 і A_0 для $\Delta_0(x)$). Потім будуємо багаточлен найкращого наближення $P_1(x)$ до функції $\Delta_1(x)$ на множині F_1, використовуючи (14) і (15) із заміною $x_i^{(0)}$ на $x_i^{(1)}$. Багаточлен

$$P_{n,2}(x) = P_{n,1}(x) + P_1(x) = P_{n,0}(x) + P_0(x) + P_1(x)$$

Буде наступним наближенням. Оцінку точності наближення можна проводити так само, як і в першому способі, тобто обчислюючи

$$\tilde{M}_m = \max_{x\in[a,b]} \left| f(x) - P_{n,m}(x) \right|.$$

Список бібліографічних посилань.

1. Воеводин В.В. Численные методы алгебры. Теория и алгорифмы Москва: Наука, 1966. — 248 с.
2. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа. Справочное руководство. Пер. с англ. М.. Кайнера; под ред. А. М. Лопшица. – М.:ГИФМЛ, 524 стр 1961.
3. Фадеев, Д.К.; Фадеева, В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры Издательство: Физматгиз 736 страниц; 1963 г.
4. Хаусхолдер А.С. Основы численного анализа Пер. с англ. — М.: Изд-во ин. лит-ры, 1956. — 320 с.
5. Бахвалов Н.С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения) М.: «Наука», 1975. – 632 с.
6. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы М.: Наука, 1989. — 432 с.
7. В. А. Шаповаленко, Л. М. Буката, О. Г. Трофименко. «Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: навчальний посібник. Модуль 1. Чисельне обчислення функцій, характеристик матриць і розв'язування нелінійних рівнянь та систем рівнянь. Частина 1.». - 2010.
8. Задачин В. М. З-15 Чисельні методи : навчальний посібник / В. М. Задачин, І. Г. Конюшенко. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 180 с. (Укр. мов.)
9. Самарский А. А. Введение в численные методы. Учебное пособие для вузов. 3-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2005. — 288 с

References.

1. Voevodin VV Numerical methods of algebra. Theory and Algorithms Moscow: Nauka, 1966. - 248 p.
2. Lancosh K. Practical methods of applied analysis. Reference guide. Per. with English M .. Kainer; under ed. AM Lopshitsa.- M .: ГИФМЛ, 524 стр 1961.
3. Fadeev, DK; Фадеева, B.H. Computational methods of linear algebra Publisher: Fizmatgiz 736 pages; 1963
4. Hausholder A.S. Fundamentals of numerical analysis Per. with English - M .: Izd-vo in. lit-ry, 1956. - 320 p.
5. Bakhvalov NS Numerical methods (analysis, algebra, ordinary differential equations) M .: "Science", 1975. - 632 p.
6. Samarsky AA, Gulin AV Numerical methods M .: Nauka, 1989. - 432 p.

© Грінченко Л.Г.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-03
УДК 681.3.021
Дроздюк Віталій Андрійович, старший науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0002-1062-0532
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА ОСНОВІ МОНО- І ПОЛІКРИСТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ З ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНТНИМ ПОКРИТТЯМ

Дроздюк В.А. Методи оптимізації структури фотоелектричних перетворювачів на основі моно- і полікристалічного кремнію з фотолюмінісцентним покриттям. Проведено аналіз сучасних тенденцій у галузі застосування фотоелектричних перетворювачів при впровадженні концепції «Зеленої енергетики». Показано, що основним чинником низької ефективності фотоелектричних перетворювачів на основі підкладок полікристалічного та монокристалічного кремнію є невідповідність спектру поглинання напівпровідника і спектру сонячного випромінювання. Вказано на переваги технології нанесення на поверхню фотоелектричного перетворювача фотолюмінесцентного шару для переведення сонячного випромінювання у довгохвильову частину сонячного спектру завдяки явищу стоксового зсуву фотолюмінесценції. Запропоновано базовіпідходи по синтезу люмінофорів та нанесенню на поверхню кремнієвої підкладки мікрорельєфних структур. Побудовано математичну модельдля вирішення задачі оптимізації структури фотоелектричного перетворювача з фотолюмінесцентним покриттям.
Ключові слова: фотоелектричне перетворення, сонячний елемент, спектр поглинання, спектр люмінесценції, фотолюмінесцентне покриття, наноструктуровані люмінофори, мікрорельєфна структура.

Дроздюк В. А. Методы оптимизации структуры фотоэлектрических преобразователей на основе моно- и поликристаллического кремния с фотолюминесцентным покрытием
Проведен анализ современных тенденций в области применения фотоэлектрических преобразователей при внедрении концепции «Зеленой энергетики». Показано, что основным фактором низкой эффективности фотоэлектрических преобразователей на основе подложек поликристаллического и монокристаллического кремния является несоответствие спектра поглощения полупроводника и спектра солнечного излучения. Указано на преимущества технологии нанесения на поверхность фотоэлектрического преобразователя фотолюминесцентного слоя для перевода солнечного излучения в длинноволновую часть солнечного спектра благодаря явлению стоксового смещения фотолюминесценции. Предложены базовые подходы по синтезу люминофоров и нанесению на поверхность кремниевой подложки микрорельефной структуры. Построена математическая модель для решения задачи оптимизации структуры фотоэлектрического преобразователя с фотолюминесцентным покрытием.
Ключевые слова: фотоэлектрическое преобразование, солнечный элемент, спектр поглощения, спектр люминесценции, фотолюминесцентное покрытия, наноструктурированные люминофоры, микрорельефная структура.

Drozdiuk Vitalii. Methods for optimizing of the structure of the photovoltaic converters based on mono- and polycrystalline silicon with a photoluminescent coating
There were analyzed of modern trends in the field of application of photoelectric converters in the implementation of the concept of "Green energy". It is shown that the main factor of low efficiency of photovoltaic converters based on polycrystalline and monocrystalline silicon substrates is the discrepancy between the absorption spectrum of the semiconductor and the spectrum of solar radiation. The advantages of the technology of applying a photoluminescent layer to the surface of a photoelectric converter for converting solar radiation into the long-wavelength part of the solar spectrum due to the phenomenon of the Stokes shift of photoluminescence are pointed out. Basic approaches to the synthesis of luminophor and the deposition of the microrelief structure on the surface of a silicon substrate are proposed. A mathematical model has been built to solve the problem of optimizing the structure of a photoelectric converter with a photoluminescent coating.
Key words: photoelectric conversion, solar cell, absorption spectrum, luminescence spectrum, photoluminescent coatings, nanostructured luminophor, microrelief structure.

Вступ. Розробка джерел живлення, що базуються ефекті фотоелектричного перетворення є однією з найбільш актуальних задач, що має бути вирішена у рамках впровадження концепції «Зеленої енергетики» [1-3] та, зокрема, вітчизняної програми «Концепція зеленого енергетичного переходу України до 2050 року». При впровадження екологічних систем живлення, що базуються на сонячних елементах, слід врахувати наступні фактори: ефективність процесу фотоелектричного перетворення, %; собівартість складових сонячного елементу, процесу його виготовлення , експлуатації та утилізації; життєвий цикл сонячного елементу відповідно до умов експлуатації; необхідність застосування при виготовленні сонячного елементу, а такожпри налагодженні інфраструктури для його експлуатації токсичних сполук і потенційно небезпечних технологій.

На сьогоднішній день, сонячні елементи найбільш ефективно використовуються за умов, у яких підведення інших енергетичних джерел є неможливим: як то на космічних станціях, супутниках та безпілотних літальних апаратах дальнього радіусу дії. У наземних умовах, з іншого боку, недостатній і нестабільний (протягом окремої доби та календарного року) рівень сонячного опромінення і,

© Дроздюк В.А.

відповідно, необхідність налагодження акумуляторних станцій значною мірою нівелює переваги зазначених пристроїв з огляду на їх економічність та екологічність.

Однією з ключових проблем низької ефективності сонячних елементів є невідповідність спектру сонячного випромінювання та спектру поглинання фотоелектричного перетворювача. В результаті зазначеного явища значна частина сонячної енергії відбивається поверхнею, а також йде на його нагрів і, відповідно, руйнування, що додатково зменшує ефективність пристрою через скорочення життєвого циклу. На рис. 1 представлено спектри сонячного випромінювання без врахування поглинання атмосферним шаром (космічний простір, стратосфера) та з врахуванням поглинання атмосферним шаром(наземні станції). Відповідно до шкали з довжинами хвиль нанесено діапазони $[\lambda^-; \lambda^+]$ та пікові значення спектрів поглинання λ^0 . Діапазони при цьому обирались відповідно рівня $1/e^2$ від максимуму інтенсивності. Таким чином було отримано чотири набори: $\{\lambda_S^0, [\lambda_S^-; \lambda_S^+]\}$ — пікове значення інтенсивності та діапазон випромінювання сонячного світла без врахування поглинання шаром атмосфери; $\{\lambda_{SA}^0, [\lambda_{SA}^-; \lambda_{SA}^+]\}$ — пікове значення інтенсивності та діапазон випромінювання сонячного світлаз врахуванням поглинання шаром атмосфери; $\{\lambda_{mSi}^0, [\lambda_{mSi}^-; \lambda_{mSi}^+]\}$— пікове значення та діапазон поглинання сонячного елементу на основі підкладки монокристалічного кремнію; $\{\lambda_{pSi}^0, [\lambda_{pSi}^-; \lambda_{pSi}^+]\}$— пікове значення та діапазон поглинання сонячного елементу на основі підкладки монокристалічного кремнію.

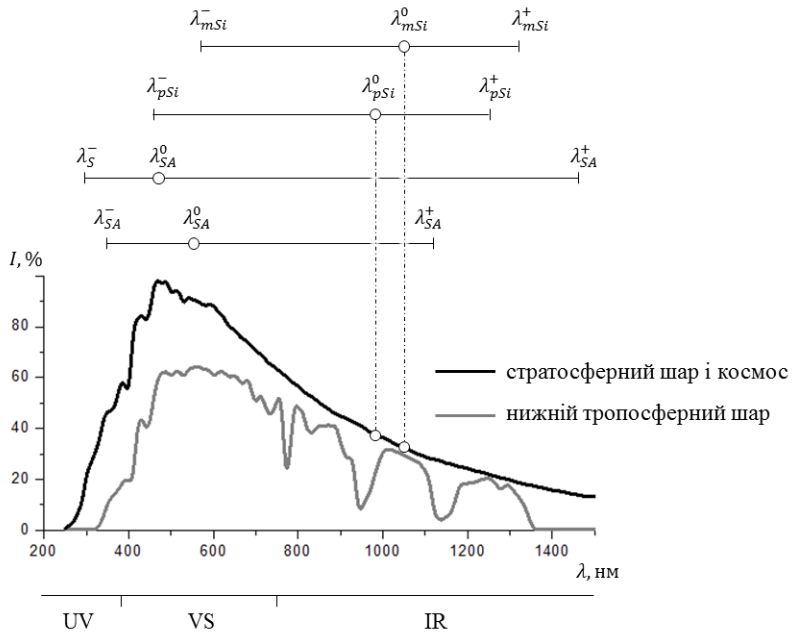


Рис. 1.Діаграма співвіднесення спектру сонячного випромінювання та діапазонів поглинання сонячних елементів на основі кремнію

На діаграмі вказано невідповідність спектрів поглинання сонячних елементів на основі кремнію та спектру сонячного випромінювання, причому особливо це стосується нижнього тропосферного шару, де розташовуються наземні електростанції. Пікові значення інтенсивності сонячного випромінювання відносяться до короткохвильової частини видимого діапазону (visible spectrum, VS),а також сонячний спектр охоплює частину ближнього ультрафіолетового діапазону (ultravioletspectrum, UV), у той час як пікове значення і більша частина спектру поглинання кремнієвих елементів відносяться до інфрачервоного діапазону (infrared spectrum, IR) і частково охоплює довгохвильову частину VS. Найбільш ефективним підходом вирішення зазначеної проблеми є побудова каскадних фотоелектричних перетворювачів, кожен з шарів якого поглинає відповідну ділянку спектру сонячного випромінювання [4, 5]. Це дозволяє значним чином збільшити ефективність процесу фотоелектричного перетворення, але, разом з тим, значно збільшує технологічну складність побудови елементу, і, відповідно, його вартість. Також, на сьогоднішній день, ефективні структури побудовані за схемою каскадного перетворювача характеризуються включенням токсичних сполук, як то GaAs.Тому у рамках зазначеного дослідження пропонується застосувати альтернативний підхід, у рамках якого на поверхню фотоелектричного перетворювача наноситься фотолюмінесцентне покриття, що завдяки ефекту стоксового зсуву надає можливість переведення сонячного випромінювання у

© Дроздюк В.А.

довгохвильову частину сонячного спектру[9]. Зазначена методика є технологічно простою і економічною, а завдяки підбору чи синтезу відповідного класу люмінофорівможливо забезпечити необхідний рівень екологічності виробництва і експлуатації відповідного класу сонячних елементів.

Аналіз наукових публікацій, що було проведено у рамках даного дослідження, включав у себе аналіз сучасних методів впровадження концепції «Зеленої енергетики» [1-3] та, зокрема, сонячної енергетики [4-8]. Також було визначено, класи фотолюмінесцентних барвників та особливості їх синтезу, що можуть бути використані для оптимізації роботи сонячних елементів шляхом стоксового зсуву сонячного випромінювання [9-11].Проведений аналіз вказав на відсутність цілісної методологічної бази, яка може надати можливість визначити оптимальну конструкцію сонячного елементу на сонові кремнієвої підкладки з фотолюмінесцентним покриттям. У відповідності до поставленого завдання це являє собою **невирішену частину загальної проблеми**,а отже **метою дослідження** є побудовауніверсальногоалгоритму оптимізації процесу фотоелектричного перетворення шляхом застосування переведення діапазону сонячного випромінювання у довгохвильову область спектру завдяки синтезу відповідного класу люмінофорів, нанесенню фотолюмінесцентного покриття на поверхню фотоелектричного перетворювача тазастосування явища стоксового зсуву фотолюмінесценції.

1. Моделювання процесу фотоелектричного перетворення на базі сонячного елементу з фотолюмінесцентним покриттям

Розглянемо базову модель оптимізації процесу фотоелектричного перетворення на базі сонячного елементу з фотолюмінесцентним покриттям. Вище було наведено діапазони випромінювання сонячного світла в залежності від висоти над рівнем моря та діапазони поглинання сонячного елементу в залежності від типу кремнієвої підкладки фотоелектричного перетворювача. На етапі розробки математичної моделі, що може бути використана при побудові алгоритму роботи сонячного елементу у відповідних уточненнях немає необхідності, але зазначимо, що у схемі, наведеній на рис. 2 для наочності вказано діапазон сонячного випромінюваннядля нижнього шару тропосферу і діапазон поглинання фотоелектричного перетворювача на основі монокристалічного кремнію. При цьому діапазони обирались на рівні 60%...100% від пікових значень інтенсивності випромінюванняI_S^0 і поглинанняk_A^0, відповідно — таким чином, коефіцієнти для виділення актуального діапазону інтенсивності випромінювання $I_S(\lambda)$ і поглинання $k_A(\lambda)$ складають $\kappa_I = \kappa_A = 0{,}6$. У результаті, з метою формування математичного апарату у рамках моделі можна виділити наступні спектральні діапазони: актуальний діапазон сонячного випромінювання $\lambda \in [\lambda_S^-; \lambda_S^+]$ де для $\forall\lambda$ — $\kappa_I \cdot I_S^0 \le I_S(\lambda) \le I_S^0$; актуальний діапазон поглинання фотоелектричного перетворювача$\lambda \in [\lambda_{Si}^-; \lambda_{Si}^+]$де для $\forall\lambda$ — $\kappa_A \cdot k_A^0 \le k_A(\lambda) \le k_A^0$; діапазон у якому відбувається перетворення енергії сонячного світла у електричну $\lambda \in [\lambda_{Si}^-; \lambda_S^+]$; діапазон у якому сонячна енергія втрачається та йде на теплове руйнування сонячного елементу $\lambda \in [\lambda_S^-; \lambda_{Si}^-]$.

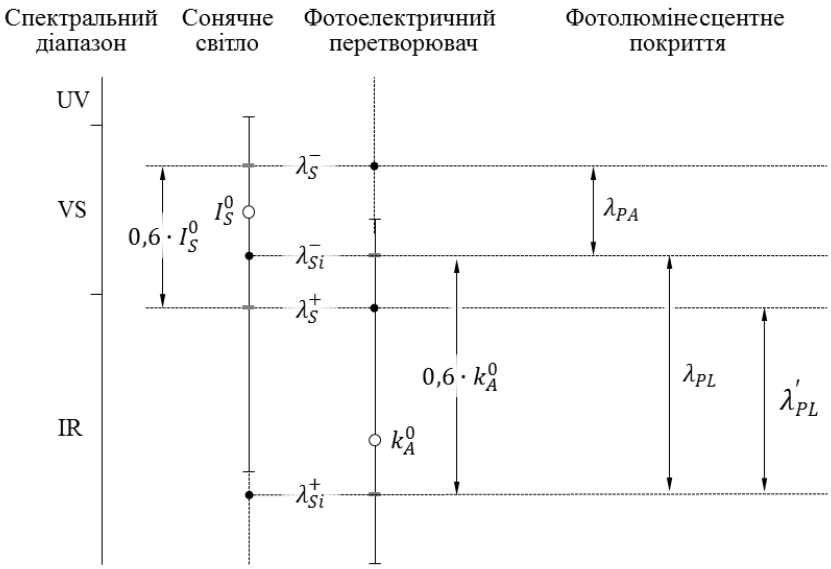


Рис. 2. Діаграма спектральних діапазонів, що характеризують процес фотоелектричного перетворення на базі сонячного елементу з фотолюмінесцентним покриттям

© Дроздюк В.А.

Відповідно до цього можна розрахувати оптимальні характеристики фотолюмінесцентного покриття, що наноситься з метою зменшення рівня втрат сонячної енергії шляхом переведення сонячної енергії короткохвильового діапазону у довгохвильовий діапазон (область поглинання фотоелектричного перетворювача): діапазон поглинання люмінофора відповідає діапазону втрат сонячної енергії $\lambda_{PA} \in [\lambda_S^-; \lambda_{Si}^-]$; діапазон фотолюмінесценції люмінофора відповідає діапазону поглинання фотоелектричного перетворювача $\lambda_{PL} \in [\lambda_{Si}^-; \lambda_{Si}^+]$; бажаний діапазон фотолюмінесценції люмінофора відповідає діапазону поглинання фотоелектричного перетворювача за виключення довгохвильового діапазону сонячного випромінювання $\lambda'_{PL} \in [\lambda_S^+; \lambda_{Si}^+]$.

Введення діапазону $\lambda'_{PL} \in [\lambda_S^+; \lambda_{Si}^+]$ пов'язано з тим, що для кремнієвих фотоелектричних перетворювачів максимальні значення поглинання лежать у довгохвильовій області і, таким чином, синтез люмінофора з більшим значення стоксового зсуву дозволить додатково збільшити ефективність сонячного елементу.

2. Оптимізація структури сонячного елементу з фотолюмінесцентним покриттям

Очевидні недоліки запропонованої схеми оптимізації сонячного елементу шляхом нанесення фотолюмінесцентного покриття включають у себе наступні фактори: технологічна складність дотримання при синтезі люмінофора фотолюмінесцентого покриття сонячного елементу оптичних параметрів відповідно зазначених обмежень для спектрів поглинання, люмінесценції і, відповідно, стоксового зсуву; необхідність синтезу люмінофору з високим квантовим виходом та довгостроковим збереженням оптичних характеристик; наявність 50% втрат фотолюмінесцентного випромінювання у зв'язку просторовою анізотропністю фотолюмінесцентного світла.

Наявність зазначених факторів у загальному випадку може призвести до того, що втрати, пов'язані з поглинанням фотолюмінесцентним покриттям сонячного світла довгохвильової частини спектри навіть перевищуватимуть зростання ефективності фотоелектричного перетворення, пов'язане з переведенням сонячного світла короткохвильового діапазону у довгохвильову частину спектру.

Задачу синтезу люмінофора з високим квантовим виходом та широкою полосою поглинання, границі якої можна варіювати пропонується вирішити шляхом застосування органічних барвників піразолінової групи [9-11]. Зазначені барвників характеризуються оптичними параметрами, що є наближеними до бажаних відповідно поставленої задачі: квантовий вихід фотолюмінесценції $Q_{PL} = 70..80\%$, широка полоса поглинання у коротко-хвильовій області видимого діапазону та ближньому UV-діапазоні, широка полоса фотолюмінесценції у довгохвильовій області видимого діапазону. Діапазон $[\lambda_{PL}^-; \lambda_{PL}^+]$ і, відповідно, значення стоксового зсуву $\Delta\lambda_{PL}$ пропонується змінювати шляхом введення домішок поліметилметакрилату, полістиролу та UV-лаків, що слугують основою барвника, а також варіюванням базового люмінофору. Важливим етапом дослідження є наноструктурування барвника, що дозволяє звузити головний пік спектру фотолюмінесценції(при достатній величині $\Delta\lambda_{PL}$це надає можливість додатково збільшити ефективність переведення сонячного випромінювання у область поглинання фотоелектричного перетворювача). Характерно, що головним недоліком наноструктурованих середовищ є міграція наночастинок, що призводить до зміни оптичних характеристик матеріалу протягом часу (особливо за умов постійного опромінення сонячним світлом). Тому для сонячних елементів пропонується синтезувати наноструктуровані люмінофори фотолюмінесцентного покриття шляхом введення частинок люмінофору матрицю білого цеоліту високого ступеню очистки. Відповідно зазначеного підходу частинки фотолюмінесцентного барвника фіксуються у структурі цеоліту і спектри поглинання та спектр фотолюмінесценції залишається незмінним протягом 10-15 років навіть за умов теплового впливу та постійного UV-опромінення[9-11].

У свою чергу проблема просторової анізотропності фотолюмінесцентого випромінювання частково нівелюється шляхом нанесення на поверхню кремнієвої підкладки мікрорельєфної структури яка надалі вкривається фотолюмінесцентним покриттям. Зазначений підхід суттєво ускладнює побудову математичної моделі через наявність ефекту перевідбиття між елементами структури, але надає можливість значним чином збільшити ефективність сонячного елементу.

3. Математична модель сонячного елементу з мікрорельєфною структурою поверхні та фотолюмінесцентним покриттям

Побудова комплексної моделі процесу фотоелектричного перетворення сонячного світла у структурі сонячного елементу з мікрорельєфною структурою поверхні та фотолюмінесцентним покриттям включає у себе представлення у вигляді чисельних наборів (матриць) наступних параметрів загальної системи: спектр сонячного випромінювання (одномірна матриця інтенсивності сонячного випромінювання$\mathbf{A}(n)$, розмірність якої визначається через$n \in [N_A^-; N_A^+]$, та одномірна матриця кутів падіння $\boldsymbol{H}(\alpha(t))$,розмірність якої визначається через$\alpha \in (0; 2\pi)$), де $t \in [T_h^-; T_h^+]$ — час для якого

© Дроздюк В.А.

визначається кут падіння сонячних променів (відповідно регіону); спектр поглинання фотоелектричного перетворювача(одномірна матриця $\mathbf{B}(n)$, де $n \in [N_B^-; N_B^+]$); спектр поглинання фотолюмінесцентного покриття (одномірна матриця $\mathbf{C}(n)$, де $n \in [N_C^-; N_C^+]$); спектр люмінесценції фотолюмінесцентного покриття (одномірна матриця $\mathbf{D}(n)$, де $n \in [N_D^-; N_D^+]$); спектр відбиття фотоелектричного перетворювача в залежності від кута падіння світла (двомірна матриця $\mathbf{E}(n, \theta)$, де $n \in [N_E^-; N_E^+]$і $\theta \in (0; 2\pi)$; спектр відбиття фотолюмінесцентного покриття в залежності від кута падіння світла (двомірна матриця $\mathbf{F}(n, \theta')$, де $n \in [N_F^-; N_F^+]$і $\theta' \in (0; 2\pi)$; параметри структури рельєфу поверхні фотоелектричного перетворювача (одномірна матриця набору кутів $\mathbf{G}(\gamma)$ де $\gamma \in (0; 2\pi)$ таодномірна матриця набору лінійних розмірів елементів $\mathbf{G}(k)$, де $k \in [1; K]$).

Вхідні дані та параметри математичної моделі сонячного елементу задаються відповідно точності оцифровування спектрів, що визначає точність моделювання та навантаження на обчислювальний ресурс апаратного комплексу. Точність визначення інтенсивності опромінення ΔI_Sта показника поглинання Δk_A визначає крок оцифровування спектрів по довжині хвилі $\Delta\lambda$як функції зазначених показників для сонячного світла ΔI_S і фотолюмінесценції ΔI_{PL}, для поглинання кремнієвою підкладкою Δk_A^{Si} і фотолюмінесцентним шаром Δk_A^{PL} : $\Delta\lambda = \min(\Delta\lambda(\Delta I_S), \Delta\lambda(\Delta k_A^{Si}), \Delta\lambda(\Delta I_{PL}), \Delta\lambda(\Delta k_A^{PL}))$. Аналогічним чином длявказаного ΔI_S визначається Δt. Відповідно до $\Delta\lambda$ і Δt визначаються діапазони і елементи матриць $\mathbf{A}(n)$, $\boldsymbol{H}(\alpha(t))$, $\mathbf{B}(n)$, $\mathbf{C}(n)$ і $\mathbf{D}(n)$. При моделюванні процесу фотоелектричного перетворення на базі сонячного елементу змікроструктурованою поверхнею та фотолюмінесцентним покриттям розраховуються ефекти поглинання, відбиття та фотолюмінесценції відповідно до структури, що будується через матрицю $\mathbf{G}(\gamma)$ і $\mathbf{G}(k)$. Точність з якою розраховується перевідбиття визначається відповідно до значення $\Delta I = \min(\Delta I_S, \Delta I_{PL})$. Для розрахунку ефективності роботи сонячного елементу функція поглинання світла фотоелектричним перетворювачем послідовно інтегрується відповідно наступних діапазонів: діапазони спектрів випромінювання, поглинання, відбиття і фотолюмінесценції для окремого сегменту загальної структури сонячного елементу: $n \in [N_A^-; N_A^+]$, $n \in [N_B^-; N_B^+]$,$n \in [N_C^-; N_C^+]$,$n \in [N_D^-; N_D^+]$,$n \in [N_E^-; N_E^+]$ і$n \in [N_F^-; N_F^+]$; діапазони повної мікроструктурованої поверхні сонячного елементу: $k \in [1; K]$ і $\gamma \in (0; 2\pi)$, де розрахунок проводиться для відповідних значень $\theta \in (0; 2\pi)$ і $\theta' \in (0; 2\pi)$; часовий діапазон у межах світлового дня $t \in [T_h^-; T_h^+]$; часовий діапазон у межах календарного року$t \in [T_d^-; T_d^+]$. Максимум цільової функція поглинання світла фотоелектричним перетворювачемвизначається для параметрів фотолюмінесцентного покриття $\mathbf{D}(n)$, $\mathbf{C}(n)$ і $\mathbf{F}(n, \theta')$ для заданих характеристик фотоелектричного перетворювача $\mathbf{B}(n)$ і $\mathbf{E}(n, \theta)$, а також параметрів сонячного випромінювання $\mathbf{A}(n)$ згідно регіональних умов $\boldsymbol{H}(\alpha(t))$.

Перед початком роботи слід провести тестування та налаштування сам алгоритм оптимізації параметрів сонячного елементу змікроструктурованою поверхнею та фотолюмінесцентним покриттям. Для цього необхідно варіювати параметри ΔI_S, Δk_A^{PL}, ΔI_{PL} і Δk_A^{Si} з метою знаходження мінімуму цільової функції навантаження на обчислювальний ресурс апаратно-програмного комплексу та максимуму цільової функції точності моделювання відповідно статистичних даних експериментального дослідження.

Висновки. В результаті проведеного дослідження було визначено тенденції впровадження фотоелектричних перетворювачів у рамках концепції «Зеленої енергетики». Зазначено, що основними параметрами, що характеризують функціональність сонячних елементів як екологічних джерел енергії є ефективність процесу фотоелектричного перетворення, собівартість виготовлення елементу та наявність у структурі елементу і технології його виробництва токсичних сполук. Показано, що чинником низької ефективності фотоелектричних перетворювачів на основі підкладок полікристалічного та монокристалічного кремнію є невідповідність спектру поглинання зазначеного напівпровідника і спектру сонячного випромінювання. Вказано на необхідність впровадження технології нанесення на поверхню фотоелектричного перетворювача фотолюмінесцентного шару з метою переведення сонячного випромінювання у довгохвильову частину сонячного спектру завдяки явищу стоксового зсуву фотолюмінесценції. Запропоновано методичні рекомендації по синтезу люмінофорів та нанесенню на поверхню сонячного елементу мікрорельєфних структур. Побудовано математичну модель, на основі якої запропоновано провести пошук оптимальної структури фотоелектричного перетворювача з фотолюмінесцентним покриттям. Вказано на методику оцінки якості аналізу на базі математичної моделі та підходи по її розширенню для більш широкого класу задач.

© Дроздюк В.А.

References

1. The concept of green energy transition in Ukraine until 2050. (n.d.). Retrieved March 16, 2021. https://mepr.gov.ua/files/images/Концепція%20зеленого%20енергетичного%20переходу.pdf.
2. Mertens, R. (2008), Trends in solar cell research. *15th International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA '08)*, 1–5.
3. Kurt Aagaard Nielsen, Bo Elling, Maria Figueroa and ErlingJelsoe. *A New Agenda for Sustainability*.Burligton:Ashgate Publishing, Ltd (2012). 316 p.
4. Goetzberger, A., Knobloch, J., & Voß, B. (2014). *Si Solar Cell Technology.* Crystalline Silicon Solar Cells, 133-162. doi:10.1002/9781119033769.ch7 Zhu, J., Yu, X., Hu, L., & Dai, S. (2013). The Application of Molecular Metal Chalcogenide Complexes in Semiconductor Sensitized Solar Cells. *International Photonics and Optoelectronics Meetings (POEM)*, 113-127.
5. Guha, S., Yang, J., & Yan, B. (2013). High efficiency multi-junction thin film silicon cells incorporating nanocrystalline silicon. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *119*, 1-11.
6. Sarkar, K., Banerjee, S., Chakraborty, A. K., &Ghosh, K. K. (2017). Optimal Designing of Higher Efficiency Chalcogenide Thin Film Solar Cell. *Springer Proceedings in Physics Advances in Optical Science and Engineering*, 189-195.
7. Chen, A., & Zhu, K. (2012). Computer simulation of a-Si/c-Si heterojunction solar cell with high conversion efficiency. *Solar Energy*, *86*(1), 393-397.
8. Ganji, J. (2017). Numericalsimulationofthermalbehaviorandoptimizationof a-Si/a-Si/C-Si/a-Si/A-Sihitsolarcellathightemperatures. *ElectricalEngineering&Electromechanics*, *1*(6), 47-52. doi:10.20998/2074-272x.2017.6.07.
9. Kryuchyn, A. A., &Beliak, I. V. (2014). Development of nanostructured luminophor coating for broadening of solar cell absorption spectrum. *Next Generation Technologies for Solar Energy Conversion V.* doi:10.1117/12.2060832.
10. Beliak, I., &Butenko, L. (2011). Development of fluorescent multilayer disc structure. *22nd Congress of the International Commission for Optics: Light for the Development of the World.* doi:10.1117/12.901595.
11. Petrov, V.,Kryuchyn, A., Beliak, I., & Lapchuk, A. (2016). *Multi-Photon microscopy and Optical Recording.* doi:10.15407/akademperiodyka.311.156.

© Дроздюк В.А.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-04
УДК 621.3
Каганюк Олексій Казимирович к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0003-4616-8768
Луцький національний технічний університет

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ЩО ДО СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СУПУТНИКОВОЮ АНТЕНОЮ

Каганюк О. К. Формування вимог що до створення автоматизованої комп'ютерної підсистеми управління супутниковою антеною. В даній статті розглядаються питання щодо формування основних положень на створення автоматизованої комп'ютерної підсистеми управління супутниковою антенною із використанням мікроконтролера.
Ключові слова: автоматизований процес, комп'ютерна підсистема, супутникова антенна, мікроконтролер.

Каганюк А. К. Формирование требований на создание автоматизированной компьютерной подсистемы управления спутниковой антенной. В данной статье рассматриваются вопросы относительно формирования основных положений по созданию автоматизированной компьютерной подсистемы управления спутниковой антенной с использованием микроконтроллера.
Ключевые слова: Автоматизированный процесс, компьютерная подсистема, спутниковая антенна

Kaganyuk A. K. Formation of requirements for the creation of an automated computer subsystem for satellite antenna control. This article discusses issues regarding the formation of the main provisions for the creation of an automated computer subsystem for controlling a satellite antenna using a microcontroller.
Key words: Automated process, computer subsystem, satellite dish, microcontroller.

Постановка проблеми.

Тяжко собі уявити, що сучасне промислове підприємство, яке націлене на високу ефективність і економічну спрямованість на зменшення витрат на собівартість своєї продукції, не піклувалося би про впровадженню новітніх технологій, які вимагає сучасний технологічний прогрес.
В нашому випадку, ми будемо розглядати маленький технологічний процес, який буде підвищувати ефективність по використанню окремої локальної автоматизованої комп'ютерної підсистеми в управлінні супутниковою антеною. Для розробки системи автоматичного управління супутниковою антеною, необхідно звернуту увагу на технічні складові, які будуть входити в дану систему.

Одним із основних факторів, які будуть використовуватимуся в нашому випадку, це регулятор. Для розробки нашої автоматизованої системи, робиться ставку на диференційний регулятор (ПІД-регулятор). Існує достатньо багато методів по налаштуванню ПІД – регуляторів, однак традиційний метод не може забезпечити прийнятну ефективність регулювання. Тому виникає необхідність в розробці і вдосконаленні нових алгоритмів для адаптивних ПІД – регуляторів.

Аналіз дослідження поставленої проблеми.

Як показує аналіз літературних джерел, що при управлінні складними об'єктами, які функціонують в умовах не стаціонарності, широке використання найшли адаптивні регулятори, які реалізують типові ПІ, або ПІД закони регулювання. Адаптивні контролери закордонних і вітчизняних виробників: Ремиконт, Овен, Сіменс, Мікрол і та інші, як правило, реалізують метод Циглера-Ніколса. Слід зазначити, що даний метод передбачає виведення об'єкта в область автоколивань, за рахунок переходу на ПІ – закон і грубого варіювання коефіцієнта посилення Кр. Однак, значний ряд технологічних процесів за умовами експлуатації не допускають автоколивального режиму [1].

Адаптивністю називають здатність системи змінюватися при зміні зовнішніх умов так, щоб мета функціонування системи повинна бути досягнута, навіть якщо зміни зовнішніх умов перешкоджають цьому. Якщо не тільки вихідна величина об'єкта змінюється внаслідок зовнішніх причин, а й динамічні властивості об'єкта також змінюються в часі, то потрібні додаткові адаптивні властивості системи, яка забезпечує узгодження динамічних властивостей основного контуру до мінливих динамічностей властивостями об'єкта. Системи, що реалізують цей принцип, називаються адаптивними.

При проведенні багатьох фізичних експериментів необхідно забезпечити переміщення досліджуваних об'єктів з мінімальними кутовими відхиленнями їх робочих площин. Рішення задач управління складними технічними системами або об'єктами заснованих на розробці їх математичних моделей, визначають в подальшому алгоритм регулювання.

© Каганюк О. К.

Мета роботи.

Мета даної роботи полягає в тому, що при проведенні багатьох фізичних експериментів необхідно забезпечити переміщення досліджуваних об'єктів з мінімальними кутовими відхиленнями в їх робочих площинах.

Ціль роботи.

Вирішення проблеми управління складаними технічними системами або об'єктами, які засновані на розробці їх математичних моделей та алгоритмів регулювання.

Основним шляхом вирішення поставлених завдань є забезпечення широкого застосування мікропроцесорних контролерів та ПЕОМ для створення АСУТП або окремих локальних систем автоматичного управління складними об'єктами із використанням мікроконтролери [2]

Н рисунку 1 представлені засоби установки прямо фокусної та офсетної антен, які найшли широке використання у користувачів супутникового телебачення

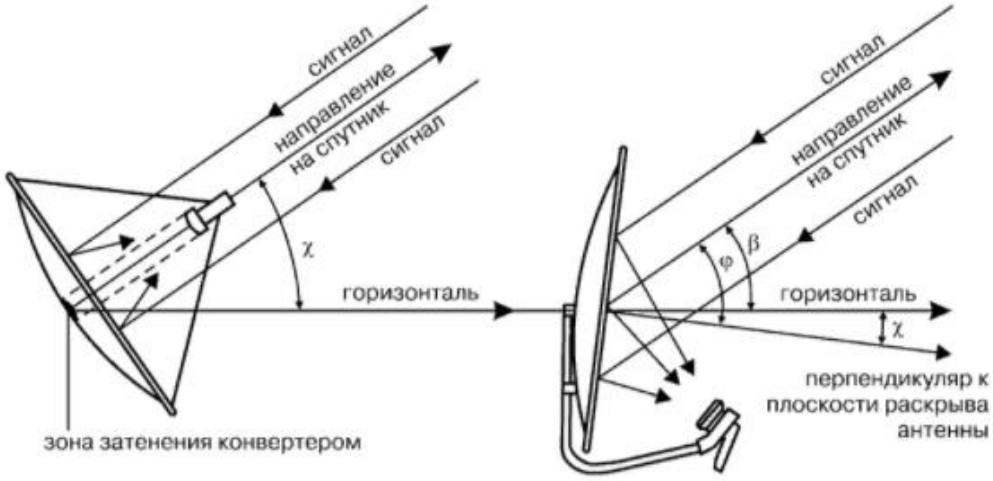


Рисунок 1 – Засоби установки прямо фокусної та офсетної антен

Як що розглядати технічну комплектацію таких антен, структурна схема якої представлена на рисунку 2, то в цьому комплекті ми не побачимо підсистеми автоматичного управління супутниковою антеною на відповідний супутник, для покращення прийому інформаційного каналу.

Супутникова антена (антена супутникового зв'язку) - антена, яка використовується для прийому і (або) передачі радіосигналів між наземними станціями і штучними супутниками Землі, в більш вузькому значенні - антена, яка використовується при організації зв'язку з ретрансляції через супутники. В супутникового зв'язку використовуються різні типи антен, найвідоміші - дзеркальні параболічні антени (супутникові тарілки), масово застосовуються для прийому супутникового ТБ - мовлення і в супутниковому зв'язку. Залежно від призначення системи супутникового зв'язку можуть застосовуватися і інші типи антен.

Для роботи об'єктів прийому та передачі сигналів та команд через супутник, переш за все необхідно, щоб між антеною та супутником забезпечувалася пряма трансляція без зовнішніх перешкод для передачі інформаційного сигналу.[3]. Спрямована антена повинна бути орієнтована таким чином, щоб напрямок на супутник збігався з максимальним напрямком її діаграми спрямованості. Малі антени які працюють в низькочастотних діапазонах (L, C), мають широку діаграму спрямованості. Наприклад, для портативного терміналу Inmarsat BGAN ширина діапазону ДН складає від 30 до 60 градусів.

© Каганюк О. К.

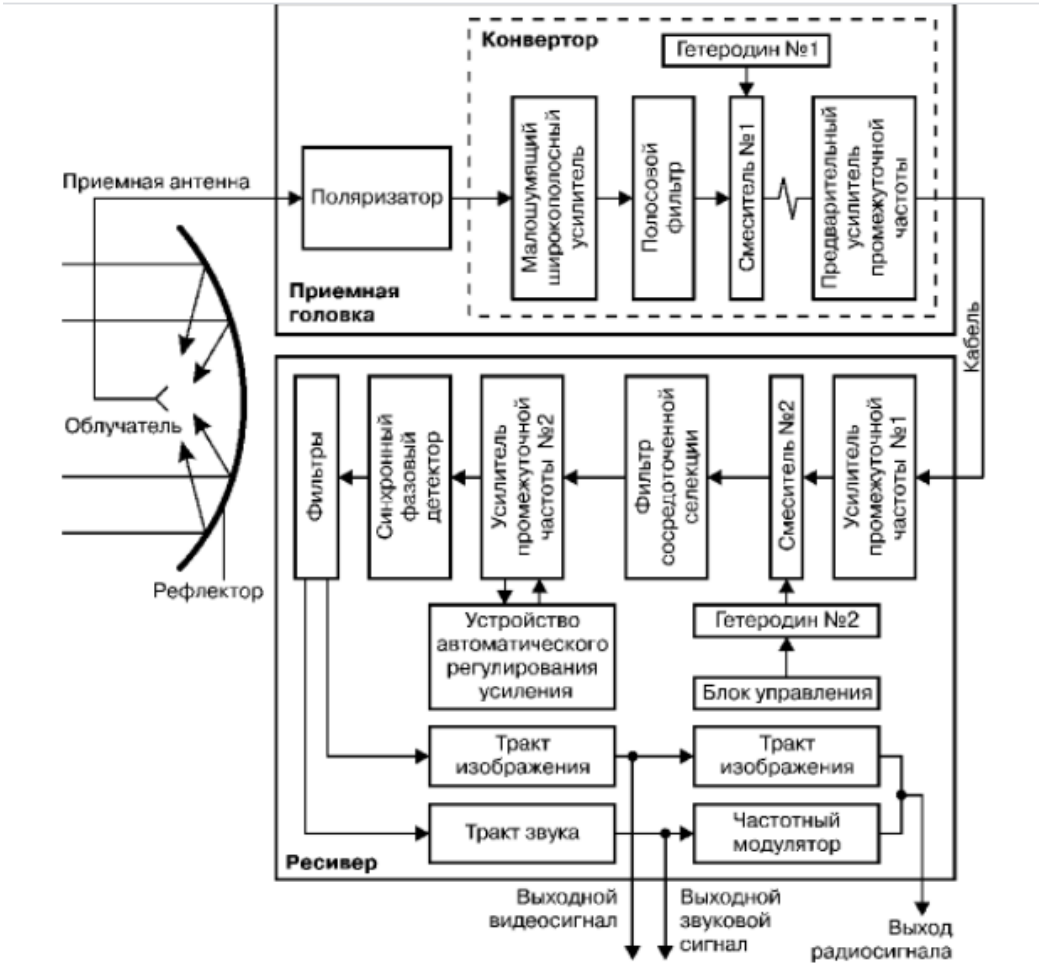


Рисунок 2 – Структурна схема супутникового комплекту

Таку антену досить грубо зорієнтувати в потрібному напрямку таким чином, щоб супутник міг потрапляти в обмежений сектор діаграмного спрямовування. Антени з вузько – направленою діаграмою спрямованості і високим посиленням інформаційного сигналу, вимагають максимально точного наведення передатчика та приймача. Наша задача полягає в тому, щоб розробити комп'ютерну підсистему управління супутниковою антеною, ефективного прийому — передачі інформаційного сигналу в вузькому діапазоні направленої лучевої діаграми.

Структурна схема такої системи представлена на рисунку 3

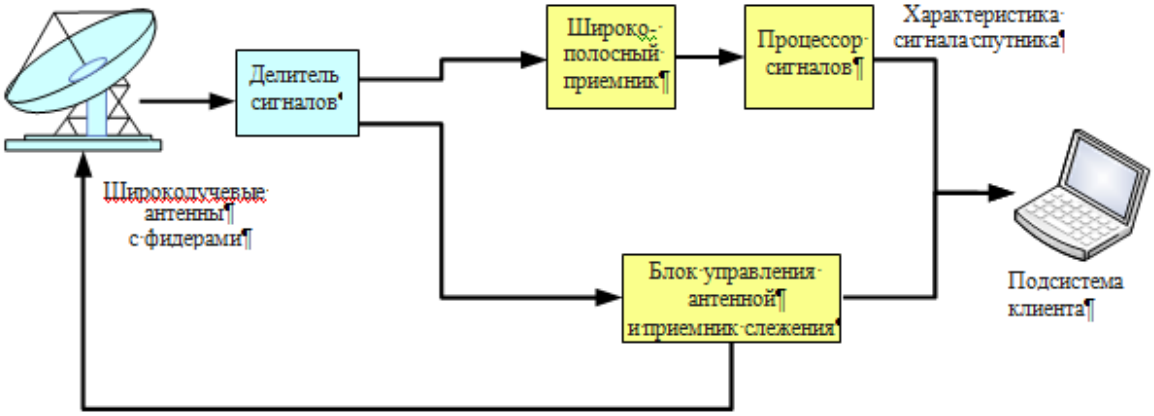


Рисунок 3 – Блок схема типової системи супутникового контроля.

Якщо розглядати практичну сторону реалізації блоку управління антеною та її відстеження, нам необхідно сформувати основні положення та вимоги, на яких буде формуватися розробка підсистеми. Для цього ми розглянемо найбільш реальний процес для телестудії , в якій здійснюється запис телепередачі. Для роздачі даної інформації або для безперешкодного мовлення на досить

© Каганюк О. К.

великий простір, нам необхідно сформований інформаційний сигнал, який пройшов первинну обробку, послати на супутникову антену. Далі його необхідно направити на супутник, який знаходиться в космосі і має свої певні координати, які постійно міняються в космічному просторі. Після цього, сигнал повинен надійти на приймальню супутникову антену, а потім вже безпосередньо до споживача. Це складний технологічний ланцюжок, який не має статичних параметрів. Але супутники, з яких ми будемо приймати інформаційний сигнал, знаходяться від землі на відстані близько 36 000 км. Для забезпечення досить надійного каналу мовлення, необхідно, щоб супутник перебував стаціонарно в одній і тій самій точці з постійними координатами щодо положення нашої планети. Оскільки координати місця розташування визначаються в градусах, то і положення супутника в космічному просторі, також мають визначатися в тих самих одиницях вимірювання. На базі цих основоположних моментів, нам необхідно сформулювати основні положення по технічному оснащеності і подальшої розробці комп'ютерної підсистеми автоматичного управління супутникової антеною. Їх можна сформувати наступним чином враховуючи деякі припущення.

Розташування супутників повинно бути на геостаціонарній орбіті. Положення супутників повинно бути стаціонарним і його координати повинні бути прив'язані до земних. Положення координат супутника в космічному просторі під час передачі інформаційного сигналу в момент трансляції має визначатися в градусному вимірі з прив'язкою до земних координат. Оскільки, ми знаходимось в північній півкулі, то для нас супутники, які ми бачимо, будуть знаходитися в південно – східному і південно - західному напрямку. Для будь-якого з нас користувача з Землі, видно тільки частину геостаціонарної орбіти у вигляді дуги над горизонтом. У зв'язку з цим і визначається кількісний склад супутників, які беруть участь в ретрансляції даної інформації. Тому й існує певний порядок розташування загальновідомих супутників, які можна знайти у відповідних посиланнях [4, 5].

Покладаючись на теоретичне обґрунтування щодо розташування супутників в космічному просторі, дає нам можливість здійснювати відповідні налаштування на будь-який, доступний для нас супутник для прийому – передачі відповідного інформаційного каналу. Для того, щоб більш точно здійснювати налаштування між об'єктами, нам необхідно знати координати місцезнаходження об'єкта прийому інформації. Для цього нам необхідно скористатися вимірювальними приладами, які будуть враховувати похибку при розробці програмного забезпечення. В даній статті ми не будемо розглядати питання щодо створення програмного забезпечення по управлінню супутниковою антеною. Даний матеріал буде викладено в наступних матеріалах.

Обґрунтування щодо вибору технічних засобів. Для формування комп'ютерної підсистеми управління супутниковою антеною ми зупинимося на стандартній супутниковій тарілці, яка найбільш поширена серед користувачів, мешканців населених пунктів та селищ. Закріплення супутникової тарілки виконується на стандартному поворотному пристрої. Для обертання антени використовується актюатор. Актюатор -це двигун із редуктором і датчиком обертання антени.

Для обертання супутникових антен як зазвичай використовується планетарна підвіска, яка дозволяє переміщувати антену тільки в одній площині. Оскільки всі супутники які транслюють інформаційний канал знаходяться на геостаціонарних орбітах, тобто обертаються навколо землі над екватором, то швидкість обертання антени буде дорівнювати швидкості обертання землі. В результаті вони якби «зависають» кожен над своєю точкою на земній поверхні. Тому для наведення приймальні супутникової антени на будь-який з супутників, досить забезпечити їй можливість обертання навколо осі, яка розташована паралельно осі обертання землі. Обертаючись тільки в цій одній площині, супутникова антена буде послідовно наводитися на кожен з супутників, які «висять» на геостаціонарній орбіті. Саме таку можливість і реалізує планетарна підвіска.

Стандартний актюатор забезпечує обертання антени зі швидкістю приблизно 90 градусів в хвилину. Тобто, досить повільно. Влаштований електромотор, розрахований на постійну напругу 36 В і пусковий струм 1,5 А, працює на простий редуктор, що знижує частоту обертання до 2-3 оборотів за хвилину. Зміна напрямку обертання забезпечується шляхом зміни полярності напруги живлення. На виході первинного редуктора встановлений датчик обертання. Датчик обертання є геркон, який закріплений в корпусі актюатора і постійний магніт, закріплений на вихідному валу редуктора.

Список бібліографічного опису.

1. Каганюк О.К., Поліщук М.М., Сопіжук Р.В. Дослідження перетворювача з мікроконтролерним керуванням частоти інвертора. // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» (RINS, Copernicus). – Луцьк. – 2017, №26. – с. 213-219
2. Каганюк А. К, Мельник В. М, Математическая модель расчета параметров регулятора для подвижного объекта . «Комп'ютерно – інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2020-39-04 Луцьк, 2020. Випуск №39 с 22 – 29.

© Каганюк О. К.

3. Методы измерения и новые технологии спутникового контроля. Отчет МСЭ –R SM.2424-0 (06/2018). Серия SM Управление использование спектра. ITU Международный союз электросвязи – 32 с.
4. Телеспуник // https://telesputnik.ru/
5. Електронний ресурс LyngSay // https://www.lyngsat.com/
6. Довідкові матеріали, http://digitchip.by.ru в розділі
7. Електронний ресурс (http://www.atmel.com)

References

1. Kaganyuk OK, Polishchuk MM, Sopizhuk RV Research of the converter with microcontroller control of frequency of the inverter. // Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production" (RINS, Copernicus). - Lutsk. - 2017, №26. - with. 213-219.
2. Kaganyuk AK, Melnik VM, Mathematical model for calculating the parameters of the controller for a moving object. "Computer - integrated technologies: education, science, production" DOI: 10.36910 / 6775-2524-0560-2020-39-04 Lutsk, 2020. Issue №39 pp. 22 - 29.
3. Measurement methods and new satellite monitoring technologies ITU-R Report SM.2424-0 (06/2018). SM Series Control the use of spectrum. ITU International Telecommunication Union - 32 p
4. Telespunik // https://telesputnik.ru/
5. Electronic resource LyngSay // https://www.lyngsat.com/.
6. Reference materials], http://digitchip.by.ru in the section.
7. Electronic resource (http://www.atmel.com).

© Каганюк О. К.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-05
УДК 004.031.43, 004.912
Ковівчак Ярослав Васильович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0003-3562-4924
Кинаш Юрій Євстахійович, к.ф.-м.н, доцент
Кустра Наталя Омелянівна, к.т.н., доцент
Курах Вадим Анатолійович
Національний університет "Львівська політехніка"

РОЗРОБКА WEB-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВІДВІДУВАННЯ ТА УСПІШНОСТІ УЧНІВ У ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ

Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В. Розробка Web-орієнтованої інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти. Стаття присвячена розробці Web-орієнтованої інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти. Приведено аналіз функціональних можливостей існуючих подібних інформаційних систем, які використовуються для контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти. Приведено діаграму випадків використання користувачів системи. Розроблено структурну схему Web-орієнтованої інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів. Приведено діаграму класів та структуру бази даних системи. Розроблено програмні компоненти та інтерфейс користувача інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти.
Ключові слова: інформаційна система, контроль відвідування та успішності навчання, навчальний процес, заклад загальної середньої освіти.

Ковивчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В. Разработка Web-ориентированной информационной системы контроля посещаемости и успеваемости учеников в образовательных учреждениях. Статья посвящена разработке Web-ориентированной информационной системы контроля посещаемости и успеваемости учеников в образовательных учреждениях. Приведен анализ функциональных возможностей существующих подобных информационных систем, которые используются для контроля посещаемости и успеваемости учеников в образовательных учреждениях. Приведено драграмму случаев использования пользователей системы. Разработана структурная схема Web-ориентированной информационной системы контроля посещаемости и успеваемости учеников. Приведено диаграмму классов и структурную схему базы данных системы. Разработано программные компоненты и интерфейс пользователя информационной системы контроля посещаемости и успеваемости учеников в образовательных учреждениях.
Ключевые слова: информационная система, контроль посещаемости и успеваемости обучения, учебный процесс, учреждение общего среднего образования.

Kovivchak Ya., Kynash Y., Kustra N., Kurakh V. Development of Web-oriented information system for monitoring student attendance and performance in educational institutions. The article is devoted to the development of a Web-oriented information system for monitoring the attendance and performance of students in educational institutions. The analysis of the functional capabilities of the existing similar information systems, which are used to control the attendance and performance of students in educational institutions, is given. The diagram of cases of use of users of system is resulted. The structural scheme of the Web-oriented information system of control of attendance and advancement of students is developed. The class diagram and structure of the system database are given. The software components and user interface of the information system for monitoring the attendance and progress of students in educational institutions have been developed.
Keywords: information system, check of attendance and progress of students, educational process, general secondary education institution.

Вступ

Для будь-якого закладу освіти актуальною проблемою була та залишається перевантаженість вчителів необхідністю ведення та заповнення паперових документів різного призначення [2, 6, 7, 9]. Замість того, щоб весь свій робочий час присвячувати учням і їх навчанню, вчителі змушені значну частину свого робочого часу витрачати на заповнення журналів, ведення паперового обліку відвідування занять, вносити в них оцінки за теми, за семестр, підсумовувати кількість пропущених занять, навчальних днів, формувати звіти про успішність, заносити кожному учневі оцінки у щоденник і т. д. Весь цей час можна було б ефективно використати на роботу з учнями, більш детально обговорити складні теми, домашні завдання і т. д. Саме тому актуальною є розробка інформаційних ужитків, які дадуть змогу спростити необхідні процеси ведення навчального документообігу в закладах освіти [1, 3, 4, 5, 10, 11].

Одним із важливих документів, який необхідно заповнювати під час навчального процесу в школі, є журнал класу. Для його ведення розроблено відповідну інструкцію [7, 12, 14]. В цій інструкції приведена інформація, як необхідно заповнювати журнали у закладах освіти довільної

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

форми власності. Передбачено, що заповнювати журнал можуть керівники класу та вчителі. Тому, саме вони і несуть відповідальність за своєчасність та правильність занесення записів у журнал. Записи у журналі здійснюються державною мовою, але під час занять з іноземних мов частково дозволяється записувати теми уроків та домашнє завдання мовою вивчення предмета. Перевірка керівниками навчального закладу стану ведення журналу здійснюється періодично, протягом всього навчального року. У журналах не можна здійснювати виправлень.

Журнал класу має чітку структуру, і складається з наступних розділів: облік відвідування; облік навчальних досягнень учнів; облік проведення навчальних екскурсій та практики; зведені результати досягнень учнів; облік проведення бесід, інструктажів, заходів з безпеки життєдіяльності; загальні відомості про учнів; зауваження тощо.

Стосовно ведення журналу, в обов'язки директор школи входять: він відповідає за правильність оформлення журналів та їх зберігання перед органами управління освітою; забезпечує їх необхідну кількість для школи на навчальний рік; систематично контролює правильність заповнення журналів. Журнали класів періодично перевіряються адміністрацією навчального закладу, а у випадку необхідності, їх перевіряють різні фінансові органи. Після завершення уроку вчитель на сторінках журналу зі свого предмету здійснює наступні записи: дату проведення уроку, тему уроку та домашнє завдання. Крім того, вчитель заносить у журнал оцінки, отримані учнями на уроці. У журналі класу необхідно щодня вести облік присутності учнів на заняттях.

Майже щороку в навчальному процесі відбуваються зміни та нововведення, тому додатки, які розробляються для контролю відвідування та успішності учнів, повинні бути відкриті для змін і нововведень.

Також важливим питання при розробці подібних електронних додатків є врахування побажань вчителів про їхнє бачення сучасного електронного журналу класу.

Отже розробка Web-орієнтованої інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів для закладів освіти значно полегшить навчальний процес і покращить сприятливі умови для всебічного і гармонійного розвитку учнів [10, 11, 13].

Огляд існуючих систем та програмних засобів

Розглянемо програмні ужитки, які використовуються для інформаційної підтримки проведення навчального процесу в освітніх закладах України. Найбільше застосування в загальноосвітніх навчальних закладах України знайшли наступні інформаційні системи: проект "E-schools"; "Єдина школа"; "Electronic Journal".

Проект "E-schools"

Проект "E-schools" використовується в Україні понад п'ять років. Сервіс e-schools.info передбачає надання інформації про успішність у навчанні учнів.

Інформація про успішність включає в себе відмітки про присутність на заняттях та їх пропуски, коментарі та нотатки до уроків, домашні завдання, розклад занять, зауваження і т. д. На рис. 1 приведено зовнішній вигляд сторінки електронного журналу платформи "E-schools", а на рис. 2 електронного щоденника вказаної платформи.

Інформація в системі "E-schools" надається в різному вигляді: журналу; щоденника; таблиці успішності; графіку успішності кожного учня та класу загалом; звітів вчителя після закінчення навчального періоду.

Ця платформа передбачає 5 основних типів користувачів системи (директор, адміністрація, вчитель, учень, батьки). Кожен з них має доступ до відповідного набору функцій і необхідний рівень доступу до інформації.

Додатково, для закладів освіти є можливість формування сторінки, яка буде містити набір додаткових функціональних розділів з можливістю створювати допоміжні текстові сторінки.

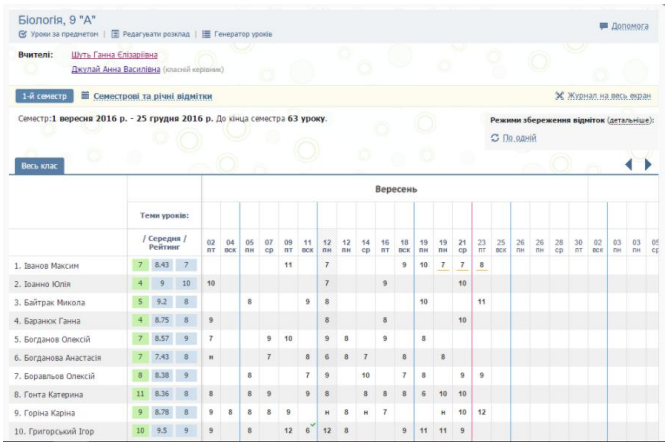


Рисунок 1- Електронний журнал платформи "E-schools"

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

Сторінка навчального закладу і система електронного обліку успішності взаємопов'язані і інтегровані між собою. Використовуючи можливості сервісу, навчальний заклад отримає додатковий інструмент автоматизації процесу навчання.

Для використання цього сервісу директору або адміністрації навчального закладу необхідно подати електронну заявку. Потрібно зауважити, що використання даного сервісу є платним.

На рис. 3 показано таблицю успішності платформи "E-schools".

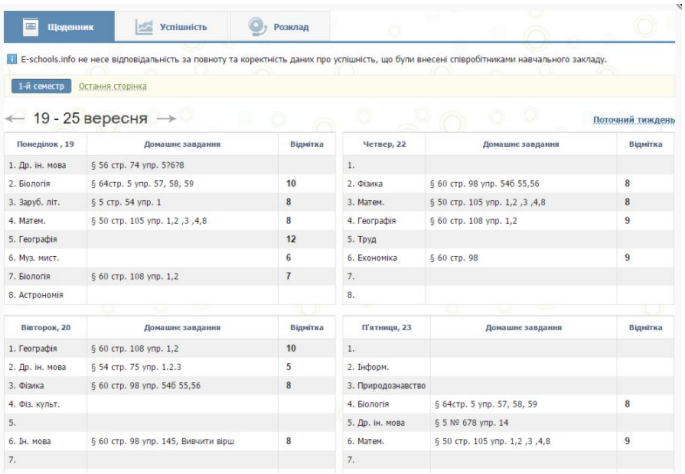


Рисунок 2 - Електронний щоденник платформи "E-schools"

Для кращого ознайомлення з існуючим функціоналом платформи на сайті є демонстраційна версія системи для шкіл і для батьків.

"Єдина школа"

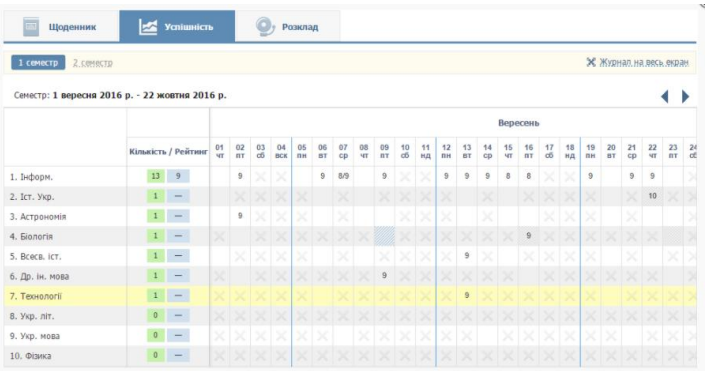


Рисунок 3 - Таблиця успішності платформи "E-schools"

Єдина школа це автоматизована інформаційна система, яка призначена для застосування у навчальних закладах. За її допомогою можна здійснювати обмін інформацією між учнями та їх батьками, а також для комунікації з органами освіти. Метою цієї системи є: запровадити іноваційну систему підвищення ефективності навчальних закладів; здійснювати мотивування учнів відвідувати заняття; налагодити інтерактивний зв`язок між батьками та вчителями; організувати батькам доступ до інформації щодо їхньої дитини.

Функціонал сучасних інформаційних систем дає змогу здійснити автоматизацію значної частини необхідних процесів у навчальному закладі, розширюючи можливості викладачів у спілкуванні з учнями, забезпечують зворотній зв'язок, підвищуючи ефективність управління процесом навчання загалом. До таких систем належить платформа "Єдина школа". На рис. 4 приведено електронний журнал інформаційної системи "Єдина школа".

Основні функції платформи "Єдина школа": формування плану уроків; зберігання оцінок учнів; фіксування присутності на заняттях; вибір заняття та способу оцінювання; формування домашніх завдань; автоматичне формування звітності; зберігання необхідної документації; імпорт та експорт даних; друк необхідної інформації.

Щоденник «Єдина школа» є простим у використанні (зображено на рис. 5). Фактично, це спеціалізоване інформаційно-освітнє середовище з необхідними інструментами підтримки навчання учнів. Тепер користувачу не потрібно вивчати особливості інших різноманітних платформ та соціальних мереж (Skype, Facebook, WhatsApp, Telegram, Viber та інші) для спілкування з окремими вчителями. Відкривається можливість за його допомогою спілкуватись з класним керівником та усіма вчителями-предметниками на єдиній платформі за єдиними правилами.

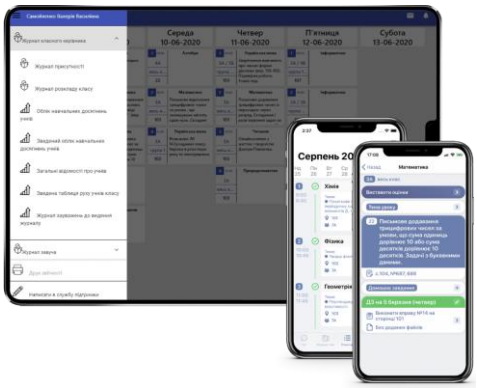


Рисунок 4 - Електронний журнал платформи "Єдина школа"

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

Рисунок 5 - Електронний щоденник платформи "Єдина школа"

Електронний щоденник для батьків передбачає: залучення батьків до навчального процесу; можливість відслідкувати зміну динаміки успішності учня; можливість контролю стану виконання домашніх завдань; відображення оцінок учнів; контроль присутності учнів на заняттях; наявність інтерактивного зв'язку з вчителями; оперативність ознайомлення із шкільними подіями.

"Electronic Journal"

Додаток **"Electronic Journal"** було розроблено ДНУ «Інститут освітньої аналітики» з метою забезпечення державними безкоштовними електронними журналами та щоденниками загальноосвітніх навчальних закладів України. Цей ужиток введено у використання на початку 2021 року [15]. До основних функцій даного електронного ресурсу можна віднести: ведення електронних журналів, ведення електронних щоденників, формування розкладу занять, формування освітньої статистики, передбачено необхідні рівні безпеки використання інформації в системі. Крім того, розроблений ужиток є відкритим для інтегрування з існуючими подібними комп'ютерними інформаційними системами. Оскільки дана інформаційна система впроваджується лише зараз, здійснити більш повний аналіз її переваг та недоліків складно.

Структурна схема інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти

На рисунку 6 зображено структурну схему інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти.

Структурну схему інформаційної системи для контролю успішності учнів у школі можна умовно поділити на два рівні: рівень зовнішнього середовища, яке оточує систему, та рівень самої системи. До першого рівня відносять користувачів системи – головних і невід'ємних діячів інформаційної системи, які виступають основними ініціаторами всіх внутрішніх процесів у системі. На рівні самої системи знаходяться основні функціональні компоненти системи. Під час розробки структурної схеми системи було використано програмний пакет "Draw.io" – безкоштовний он-лайн сервіс, який використовується для створення діаграм різного призначення, блок-схем, і необхідних структур.

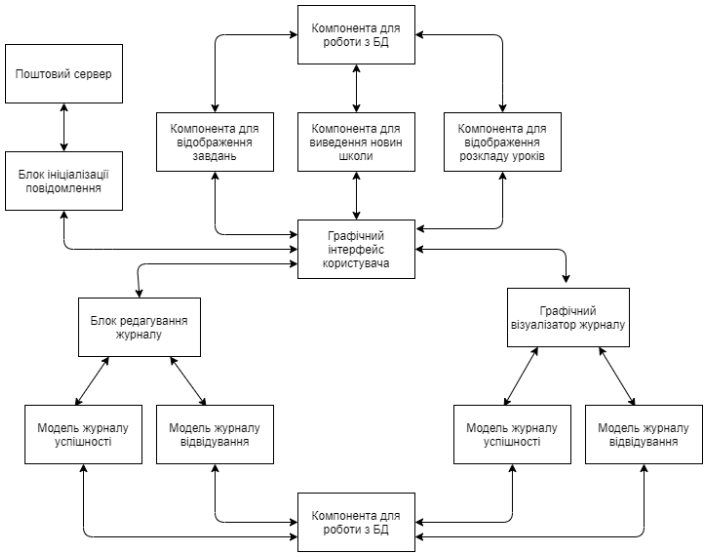


Рисунок 6 - Структурна схема інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти

Як можна зауважити з приведеної вище структурної діаграми системи, майже всі компоненти, з яких складається запропонований програмний продукт, взаємодіють з компонентою для роботи з базою даних, саме тому база даних є одним із ключових елементів системи.

Під час роботи з журналами успішності і відвідування з метою спрощення опрацювання інформації (додавання нових записів, редагування і видалення інформації) використовується відповідна модель журналу. Для редагування і видалення використовується блок редагування журналів, а для відображення графічних компонентів візуалізатор журналу.

Для відображення розкладу уроків учнів використовується спеціальна компонента відображення, яка звертається до бази даних і отримує з неї актуальний для конкретного користувача розклад. Подібно до неї працює компонента відображення домашнього завдання.

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

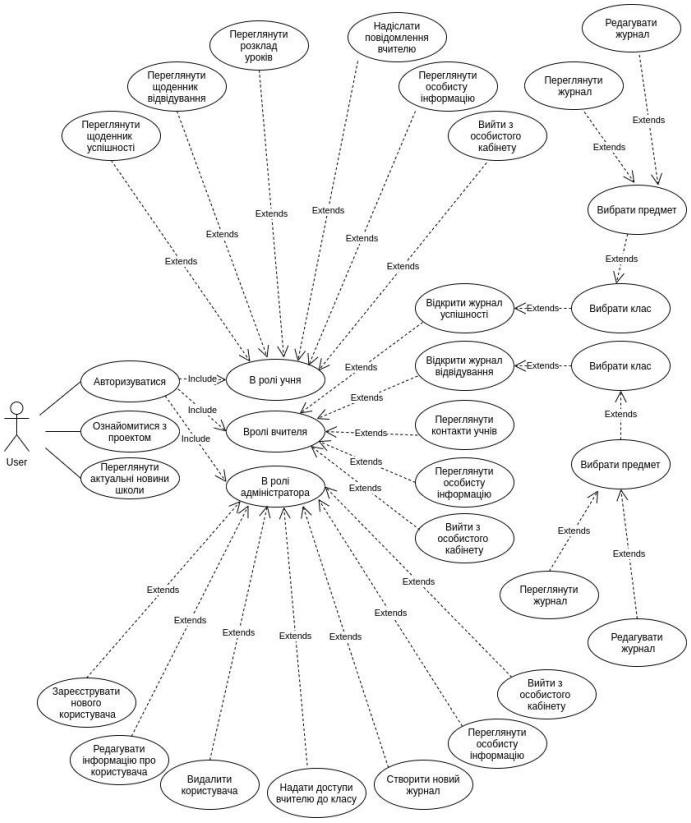


Рисунок 7 – Діаграма прецедентів інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти

Компонента відображення новин розміщена на головній сторінці інформаційної системи, і результат її роботи залежить від ролі користувача. Якщо у системі авторизованому користувачу відповідає роль вчителя, то для нього на головній сторінці будуть відображатися останні актуальні новини школи, пов'язані із педагогічними нарадами, нововведеннями, змінами в розкладі, і т.д. Якщо ж у системі авторизувався учень, то компонента буде підбирати актуальні новини за останній проміжок часу, які пов'язані з класом, у якому він навчається (контрольні і самостійні роботи, про вихідні дні, батьківські збори і т. д.)

На рис. 7 приведена діаграма випадків використання інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти. Ця діаграма розкриває послідовність та спосіб доступу до функцій основними користувачами системи. Виходячи з діаграми класів, введено уніфікований клас користувача User, який використовується для опису всіх типів користувачів: учень; вчитель та адміністратор.

На рис. 8 і 9 зображено таблицю методів і властивостей класу User і діаграму класів інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти, відповідно.

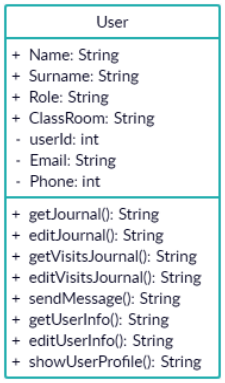


Рисунок 8 – Таблиця методів і властивостей класу User

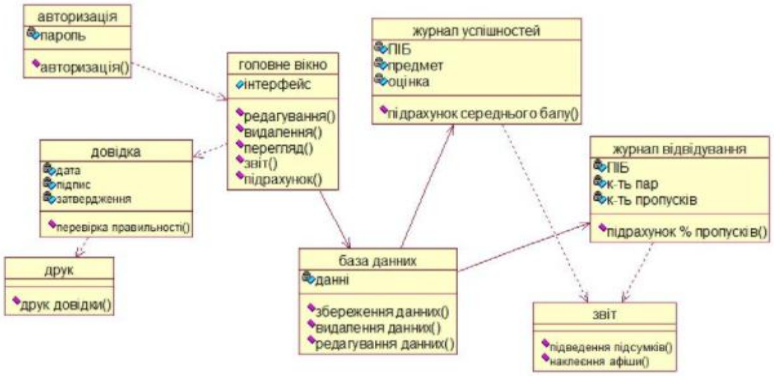


Рисунок 9 – Діаграма класів інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти

На основі діаграми прецедентів і концептуальної таблиці майбутнього класу користувачів розроблено діаграму класів системи. В діаграмі класів визначено та показано об'єкти, і їх взаємодію між собою.

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

Під час розробки бази даних, в першу чергу, увагу було приділено реалізації авторизації для трьох типів користувачів: учень, вчитель та адміністратор сайту. Тому було передбачено 4 сутності: user, teacher_info, pupil_info, admin_info. В таблиці user міститься інформація для кожного типу користувача, яка використовується при авторизації в системі. В таблицях admin_info, teacher_info, pupil_info міститься особиста інформація про кожного користувача: адміністратора, вчителя і учня, відповідно. На рис. 10 відображено інформацію про вказані сутності і відношення між ними.

Інші сутності, які використовуються в даній системі умовно можна поділити на 2 типи: таблиці успішності, а також таблиці відвідування. Таблиці успішності створюються окремо для кожної навчальної дисципліни окремого класу. Ім'я таблиці складається з конкатенації назви навчальної дисципліни і класу, для якого її було створено. Наприклад, таблиця успішності учнів 3А класу з математики називається 'mathematics_3a'. Інформацію про таблиці успішності і про їх взаємодію з іншими сутностями відображено на рис. 11.

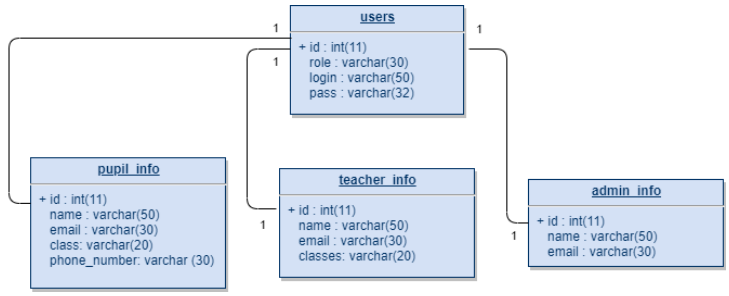


Рисунок 10 – Сутності БД, які використовуються для авторизації користувачів

Таблиці відвідування створюються для кожної навчальної дисципліни відповідного класу. Ім'я таблиці складається з префіксу 'visiting' а також конкатенації назви дисципліни і поточного класу. Для прикладу таблиця відвідування учнями 7А класу уроків з хімії називатиметься 'visiting_chemistry_7a'. На рис. 12 відображено сутності для роботи з журналом відвідування та зв'язки між ними.

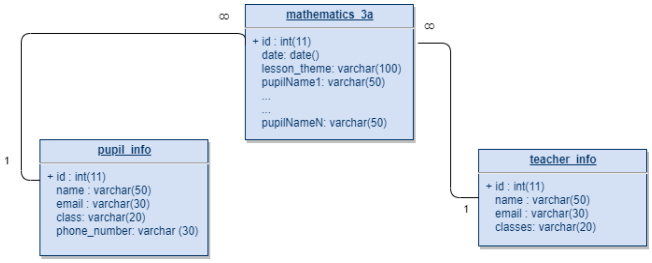


Рисунок 11 – Сутності БД, які використовуються для роботи з журналами успішності

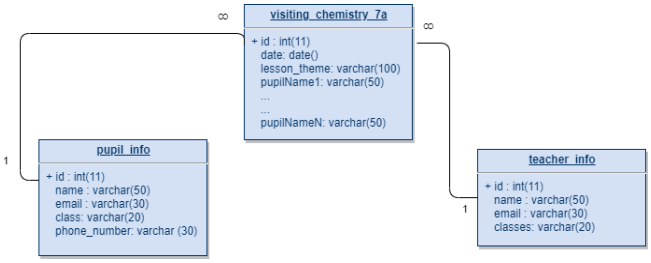


Рисунок 12 – Сутності БД, які використовуються для роботи з журналами відвідування

Оскільки в базі даних зберігається конфіденційна інформація про кожного учня, то для захисту облікових записів використовується хешування паролів. Під час авторизації користувача порівнюються захешованні паролі, що дає змогу значно підвищити рівень захисту особистих даних, і навіть якщо дехто і отримає паролі користувачів з таблиці 'users', він не зможе ними скористатися для входу в персональний аккаунт іншої особи.

Також було розроблено інтерфейс інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти. На рис. 13 приведено головний інтерфейс системи. На рис. 14 і рис. 15 показано журнал успішності учнів та журнал відвідування, відповідно.

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

Рисунок 13 – Головна сторінка системи

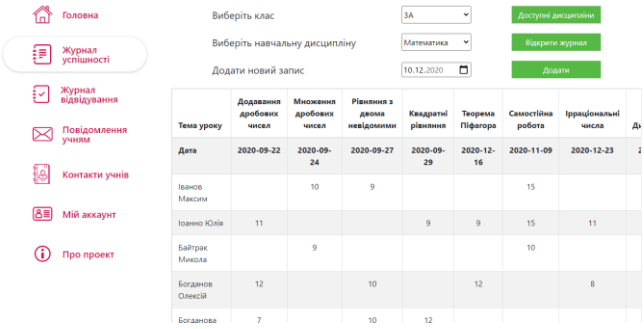


Рисунок 14 – Журнал успішності учнів

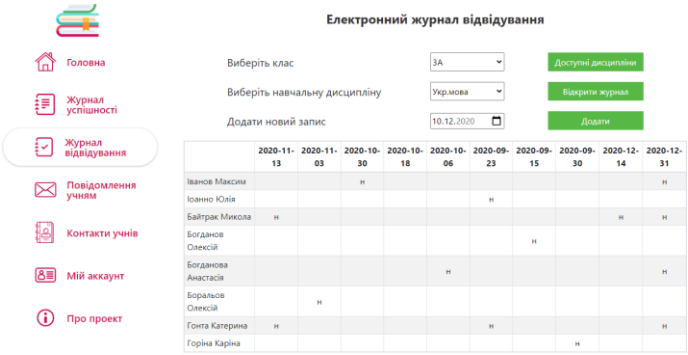


Рисунок 15 – Журнал відвідування (приклад заповнення журналу відвідування учнів 3А класу уроку з української мови)

Інтерфейс інформаційної системи контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти розроблено з урахуванням побажань, як вчителів, так і учнів.

Висновок

У результаті виконання роботи було розроблено Web-орієнтовану інформаційну систему контролю відвідування та успішності учнів у закладах освіти. Запропонована система полегшить та спростить процеси ведення обліку успішності учнів, а також стане вагомим помічником у закладах освіти. Розроблену систему можна ефективно використовувати у навчальному процесі довільного навчального закладу.

Список бібліографічного опису.

1. Бех І., Вербицький В. Оновлення освіти: фокус на ранній вік / І. Бех, В. Вербицький // Освіта. – 2017. - № 50-51. – С. 5.
2. Василенко Н.В. Автономія школи: самостійність і відповідальність / Н.В. Василенко // Управління школою. – 2017. - № 10-12. – С. 2-10.
3. Добровольський В.В., Костенко О.К. Використання мультимедійних і дистанційних технологій у професійній діяльності педагога-новатора / В.В. Добровольський, О.К. Костенко // Завуч. Усе для роботи. – 2017. - № 3-4. – С. 2-15.
4. Мариновська О.Я. Програмно-цільовий методичний менеджмент освітніх інновацій / О.Я. Мариновська // Завуч. Усе для роботи. – 2017. - № 15-16. – С. 52-59.
5. Мицька М. Створення інноваційного середовища – шлях до нової української школи / М. Мицька // Директор школи. – 2017. - № 23-24. – С. 54-72.
6. Закон України Про освіту. [Електронний ресурс]. - веб-сторінка: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text
7. Лист МОН України від 1.09.2007 р. № 1/9 – 532 «Вимоги щодо ведення класного журналу в 1-4 класах загальноосвітніх навчальних закладів» Інструктивно – методичний лист.
8. Наказ МОН України від 13.06.2001 року № 451 «Про затвердження єдиних зразків обов'язкової ділової документації у ЗНЗ І-ІІІ ст. усіх типів та форм власності».
9. Наказ МОН України від 23.06.2000 року № 240 «Про затвердження інструкції з ведення ділової документації в загальноосвітніх навчальних закладах І-ІІІ ступенів».
10. Іващук К.О. Інформаційно-комунікаційні технології – як сучасний засіб навчання в освіті [Електронний ресурс] / Блог Іващук К.О. – Режим доступу: http://klasnaocinka.com.ua/ru/article/informatsiino-komunikatsiini-tekhnologiyi--yak-suc.html
11. Нова Українська Школа. [Електронний ресурс]. - веб-сторінка: https://mon.gov.ua/ua/tag/nova-ukrainska-shkola

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

12. Основні вимоги до контролю та оцінювання навчальних досягнень учнів. Додаток до наказу МОН України від 19.08.2016 №1009.
13. Петько Л.В. «Невизначеність якості» з огляду на модернізацію системи освіти в Україні / Л. В. Петько // Директор школи, ліцею, гімназії. – 2012. – № 3. – С. 56–62. URI http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/7913
14. Рекомендації ведення класного журналу НУШ. [Електронний ресурс]. - веб-сторінка: https://osvita.ua/school/nus/69515/
15. МОН розпочало підключення шкіл до безкоштовного сервісу електронних журналів та щоденників // [Ел. ресурс]. - Режим доступу: https://mon.gov.ua/ua/news/mon-rozpochalo-pidklyuchennya-shkil-do-bezkoshtovnogo-servisu-elektronnih-zhurnaliv-ta-shodennikiv

References.

1. Bekh I., Verbytsky V. Renewal of education: focus on early age / I. Bekh, V. Verbytsky // Education. – 2017. - № 50-51. – C. 5.
2. Vasilenko N.V. School autonomy: independence and responsibility / N.V. Vasylenko // School Management. – 2017. - № 10-12. – C. 2-10.
3. Dobrovolsky V.V., Kostenko O.K. The use of multimedia and remote technologies in the professional activities of a teacher-innovator / V.V. Dobrovolsky, O.K. Kostenko // Head teacher. Everything for work. – 2017. - № 3-4. – C. 2-15.
4. Marynovska O.Ya. Program-target methodical management of educational innovations / O.Ya. Marynovska // Head teacher. Everything for work. – 2017. - № 15-16. – C. 52-59.
5. Mytska M. Creating an innovative environment - the path to a new Ukrainian school / M. Mytska // Director of the school. – 2017. - № 23-24. – C. 54-72.
6. Law of Ukraine on Education. [Electronic resource]. - web page: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text
7. Letter from the Ministry of Education and Science of Ukraine from 1.09.2007 p. № 1/9 – 532 "Requirements for keeping a class journal in grades 1-4 of secondary schools" Instructional - methodical letter.
8. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 13.06.2001 № 451 "On approval of uniform samples of obligatory business documentation in ZNZ of I-III grades. all types and forms of ownership ".
9. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 23.06.2000 № 240 "On approval of the instruction on keeping business documentation in general educational institutions of I-III degrees".
10. Ivashchuk G.G. Information and communication technologies - as a modern means of learning in education [Electronic resource] / Blog Ivashchuk G.G. - Access mode: http://klasnaocinka.com.ua/ru/article/informatsiino-komunikatsiini-tekhnologiyi--yak-suc.html
11. New Ukrainian School. [Electronic resource]. - web page: https://mon.gov.ua/ua/tag/nova-ukrainska-shkola
12. Basic requirements for monitoring and evaluation of student achievement. Appendix to the order of the Ministry of Education and Science of

© Ковівчак Я., Кинаш Ю., Кустра Н., Курах В.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-06
УДК 681.51:004.75
Козак Євген Борисович, магістр в галузі комп'ютерних наук, розробник програмного забезпечення, інженер-програміст GAN Inc.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АЛГОРИТМІВ ПЛАНУВАННЯ ЗАДАЧ У РАМКАХ КОНЦЕПЦІЇ ГРАНИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Козак Є. Б. Особливості побудови алгоритмів планування задач у рамках концепції граничних обчислень. Розглянуто сучасні підходи, які використовуються при впровадженні автоматизованих системобробки вхідних запитів хмарних сервісів мережі «Інтернету речей» відповідно до концепції граничних обчислень. Узагальнено найбільш актуальні задачі, що виникають при побудові та впровадженні алгоритмів обробки вхідних даних за умов обмежень на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи та перепускність мережевих каналів системи. Запропоновано математичну модель впровадження та масштабування програмних додатків для обробки потокових даних. що надходять змножини інформаційних вузлів глобальної мережі хмарного сервісу, а також систему оцінки і оптимізації роботи алгоритмів відповідно показника зменшення часу затримки, що виникає при обробці вхідних даних центральним вузлом інформаційної мережі. При цьому математичний апарат базується на формалізації процесу розгортання програмного додатку відповідно до типової задачі планування завдань потокової обробки даних. Результати моделювання вказують на ефективність запропонованих методів, а також наможливість побудови на їх основі цілісної методології оцінки ефективності процесів впровадження та масштабування програмних додатків у середовищі хмарного сервісу глобальної інформаційної мережі «Інтернету речей».
Ключові слова: хмарний сервіс, «Інтернет речей», граничні обчислення, програмні додатки, час затримки, планування завдань потокової обробки даних, математична модель, цільова функція

Козак Е. Б. Особенности построения алгоритмов планирования задач в рамках концепции граничных вычислений. Рассмотрены современные подходы, используемые при внедрении автоматизированных систем обработки входных запросов облачных сервисов сети «Интернет вещей» в соответствии с концепцией граничных вычислений. Обобщены наиболее актуальные задачи, возникающие при построении и внедрении алгоритмов обработки входных данных в условиях ограничений на вычислительный ресурс аппаратно-программной платформы и пропускная способность сетевых каналов системы. Предложена математическая модель внедрения и масштабирования приложений для обработки потоковых данных, поступающих из множества информационных узлов глобальной сети облачного сервиса, а также систему оценки и оптимизации работы алгоритмов соответственно показателя уменьшения времени задержки, возникающей при обработке входных данных центральным узлом информационной сети. При этом математический аппарат базируется на формализации процесса развертывания программного приложения в соответствии с типовой задачи планирования задач потоковой обработки данных. Результаты моделирования указывают на эффективность предложенных методов, а также на возможность построения на их основе целостной методологии оценки эффективности процессов внедрения и масштабирования приложений в среде облачного сервиса глобальной информационной сети «Интернет вещей».
Ключевые слова: облачный сервис, «Интернет вещей», граничные вычисления, программные приложения, время задержки, планирование задач потоковой обработки данных, математическая модель, целевая функция.

Kozak Yevhen. Peculiarities of the development of algorithms for scheduling tasks within the framework of the concept of the Edge Computing. The modern approaches used in the implementation of automated systems for processing input requests for cloud services of the Internet of Things in accordance with the concept of Edge Computing are considered. The most important problems of the construction and implementation of algorithms for processing input data under constraints on the computing resources of the software and hardware platform and the bandwidth of the system's network channels are generalized. A mathematical model is proposed for the implementation and scaling of applications for processing streaming data coming from a set of information nodes of the global network of cloud services, as well as a system for evaluating and optimizing the operation of algorithms in terms of reducing the delay time that occurs when processing input data by the central node of the information network. In this case, the mathematical apparatus is based on formalizing the process of deploying a software application in accordance with a typical task of scheduling data streaming processing tasks. The simulation results indicate the effectiveness of the proposed methods, as well as the possibility of building on their basis a holistic methodology for assessing the effectiveness of implementation and scaling of applications in the cloud services environment of the global information network of "Internet of Things".
Key words: cloud service, "Internet of Things", Edge Computing, software applications, latency, stream processing task scheduling problem, mathematical model, objective function.

Вступ. Розвиток інформаційних технологій (ІТ), що спостерігається протягом XXI сторіччя у першу чергухарактеризується активним розповсюдженням мобільних багатофункціональних пристроїв (смартфонів, планшетів, тощо), у склад яких входять блоки датчиків (датчики зміни положення пристрою, системи аудіо- та відеореєстрації, лідари у нових моделях смартфонів, тощо) і блок цифрового зв'язку. Це призвело до впровадження концепції «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT), що, у свою чергу,суттєво розширило функціональних можливостей глобальних систем моніторингу та, водночас,значним чином збільшило вимоги до організації їх автоматизованої роботи (рис. 1) на рівні впровадження алгоритмів граничних обчислень [1-3].

© Козак Є. Б.

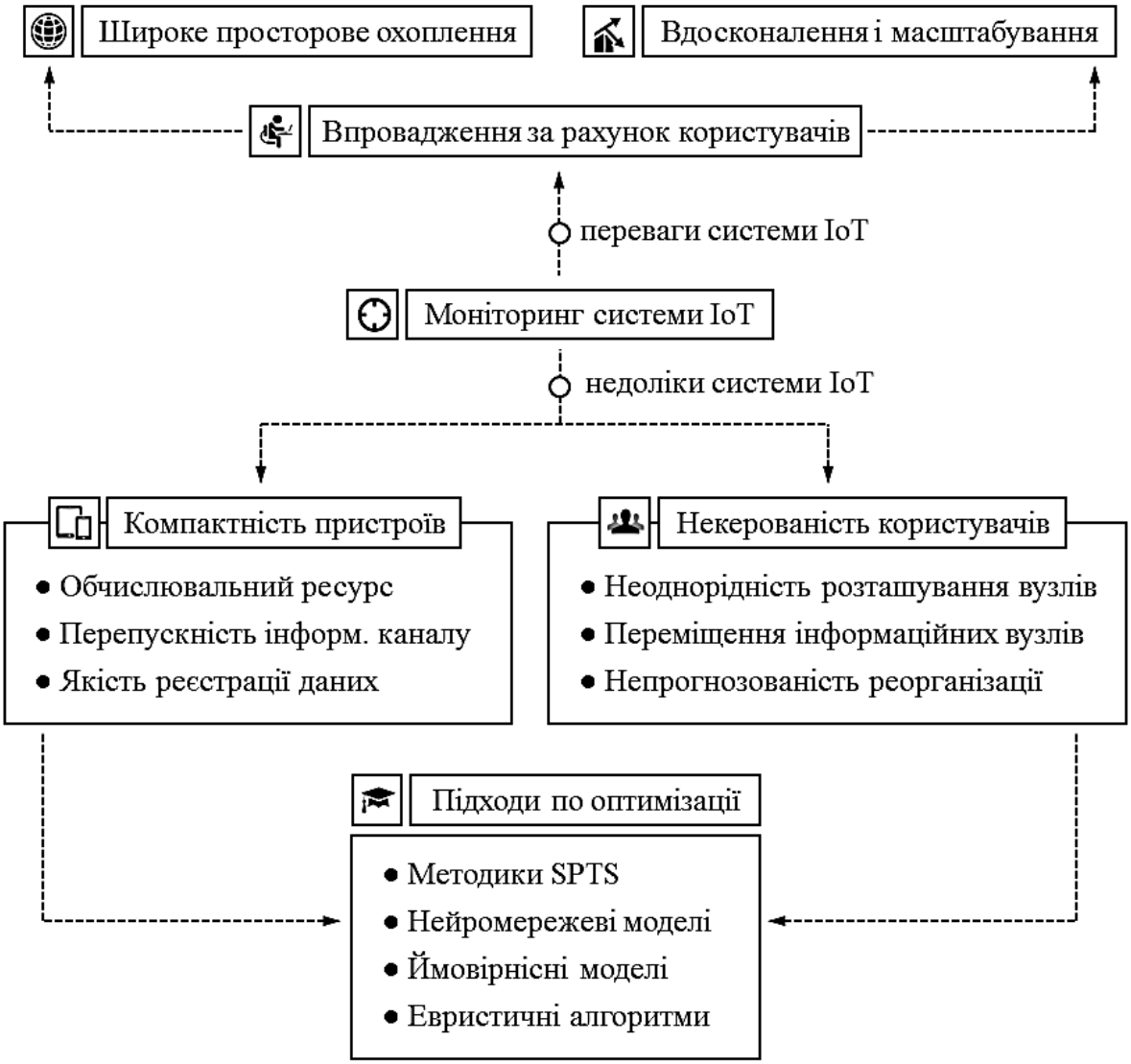


Рис. 1. Особливості організації системи моніторингу на основі мережі мобільних багатофункціональних пристроїв.

Перехід від обмеженого набору спеціалізованих пристроїв реєстрації до IoT як глобальної системи моніторингухарактеризується рядом переваг: системи датчиків мобільних пристроїв надають можливість до більш широкого охоплення простору, крім того збільшення їх кількості та функціональності проводиться за рахунок кінцевих користувачів. Тим не менш, якість систем реєстрації, потужність обчислювальних ресурсів та перепускність інформаційних каналів передачі даних у мобільних пристроїв є обмеженою у зв'язку з вимогами мінітюарізації та обмеженням на загальний кошторис. Також, значна складність організації та масштабування таких систем пов'язана з неоднорідністю розташування інформаційних вузлів і низькою прогнозованістю зміни їх просторового положення. Вирішення зазначеного набору проблем пов'язано з переходом від типових підходів по організації хмарних обчислень (Cloud Computing, CC) до методів туманних обчислень (Fog Computing, FC) і, зокрема, методик планування завдань потокової обробки даних (StreamProcessingTaskScheduling, SPTS) на базі граничних обчислень (Edge Computing, EC), а також нейромережевих і ймовірнісних моделей, евристичних алгоритмів, тощо.

Аналіз сучасних досліджень і публікаційвключав у себе оцінку математичних моделей для обчислення процесів потокової обробки даних у режимі реального часу за умов обмежень на обчислювальний ресурс [5-8], зокрема таких обчислювальних схем як Flink, Storm, SparkStreaming. Зазначені схеми базуються на моделях потокових обчислень, що були розроблені для апаратно-програмних платформ з високою пропускною здатністю та низьким рівнем затримки у середовищімережі організованої за принципами туманних та крайових обчислень.Проведений аналіз вказує на переваги методів, що базуютьсяуfзастосуванні спрямованих ациклічних графів

© Козак Є. Б.

(DirectedAcyclicGraph, DAG) при визначенні показників подібності потокових даних, завдяки чому зменшується навантаження на обчислювальний ресурс системи при одночасній обробці кількох процесів [9-11]. Крім того зазначається пріоритет при застосуванні багатоступеневих схем збору, передачі та обробки потокових даних відповідно прогнозування навантаження на обчислювальний ресурс та затримки при обробці запитів у залежності від архітектури системи моніторингу[12–14]. Нарешті, розглядається базова проблема нестабільності системи обробки потокових даних у глобальних інформаційним мережах (WideAreaNetwork, WAN) шляхом застосування механізмів реплікації [4, 15-20]. У рамках зазначеного підходу з потоку даних виділяють окремі завдання, які реплікуються (створюються копії завдань)з метою зменшення затримкипри передачі даних.

Таким чином, у результаті проведеного аналізу можна вказати на різнорідність завдань побудови систем автоматизації обробки потокових даних, відповідно до сценаріїв розгортання центрального вузла інформаційної системи. Відсутність цілісної комплексної методології та необхідність вирішення проблеми обмеження перепускності інформаційних каналів вузлів мережі, що взаємодіють з центральним вузлом, можна розглядати як невирішену частину ***загальної проблеми***. Відповідно?***метою роботи*** стала побудова, оптимізація та оцінка ефективності математичної моделі роботи інформаційної мережі IoT на рівні формалізації процесів розгортання програмних додатків відповідно до задачі планування завдань потокової обробки данних.

1. Базові принципи побудови математичної моделі обробки потокових даних відповідно до концепції граничних обчислень

Розглянемо модель граничної області інфраструктури хмарного сервісу, що складається з центрального інформаційного вузла n_0і набору інформаційних вузлівробочих станцій та мобільних пристроїв кінцевих користувачів сервісу$\{n_i\}$, де $i \in [1; I]$. Для побудови математичного апарату введемо наступні позначення, що дозволять формалізувати процес обробки потокових даних відповідно до концепції граничних обчислень (рис. 2):

- набір показників перепускності інформаційних каналів для кожного з вузлів $\{b_i\}$, де $i \in [1; I]$. причому перепускність інформаційного каналу центрального вузла $b_0 \gg b_i$ для $\forall i$(відповідно, обмеження. пов'язані зі значенням b_0 у рамках моделі не розглядаються);
- набір завдань, що мають бути розгорнуті у рамках системи, представлений як одномірна матриця $\boldsymbol{T}$: $\{t_j\}$, де $j \in [1; J]$;
- набір усіх потоків даних, що мають бути оброблені у рамках окремого завдання j, представлений як одномірна матриця $\boldsymbol{Q_j}$: $\{q_j^k\}$, де $k \in [1; K_j]$для $\forall j \in [1; J]$;
- набір усіх копій завдання j, представлений як одномірна матриця $\boldsymbol{C_j}$: $\{c_j^m\}$, де $m \in [1; M_j]$для $\forall j \in [1; J]$;
- бінарний показник $x_j^i(c_j^m)$, що визначає розгортання копії m завдання j на вузлі n_i;
- бінарний показник $y_j^k(c_j^m)$, що визначає передачі потоку q_j^k при розгортанні копії m завдання j;
- показникC_j, що визначає кількість копій завдання j, що розгортаються у мережі вузлів $\{n_i\}$.

ПоказникC_j визначається як алгебраїчна сума бінарних показників $x_j^i(c_j^m)$ по $m \in [1; M_j]$ і $j \in [1; J]$:

$$C_j = \sum_{i=1}^{I}\left(\sum_{m=1}^{M}\left(x_j^i(c_j^m)\right)\right), \text{де } x_j^i(c_j^m) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ для } \forall j \in [1; J]. \quad (1)$$

© Козак Є. Б.

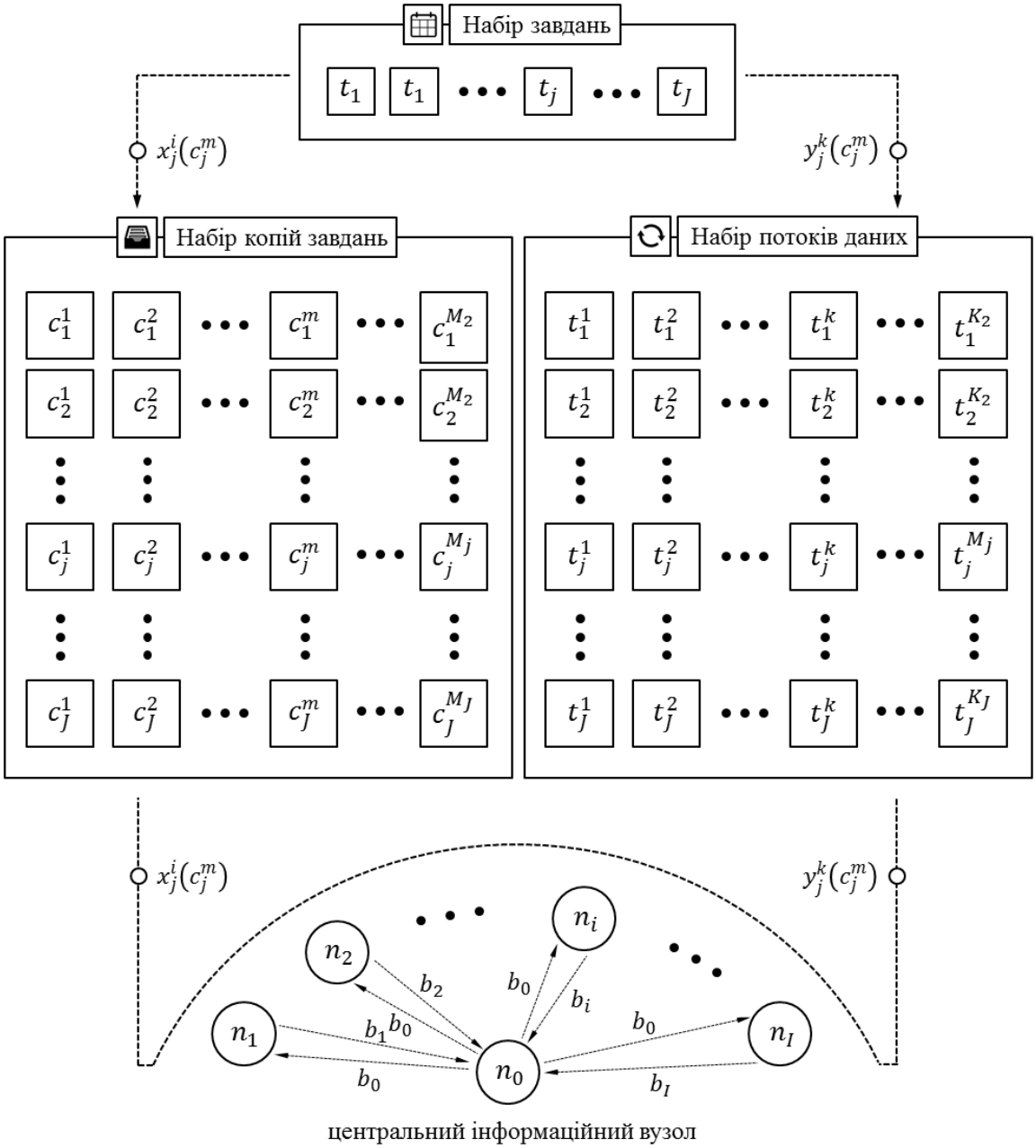


Рис. 2. Математична модель обробки потокових даних відповідно до концепції граничних обчислень.

Аналогічно, у зв'язку з тим, що кожен потік даних q_j^k направляється до однієї копії c_j^m завдання j можна побудувати наступне рівняння:

$$\sum_{k=1}^{K_j}\left(\sum_{m=1}^{M}\left(y_j^k(c_j^m)\right)\right)=1\text{, де } y_j^k(c_j^m)=\begin{bmatrix}0\\1\end{bmatrix} \text{ для } \forall j\in[1;J]. \qquad (2)$$

Представлений математичний апарат надалі пропонується використати при побудові алгоритмів на базі методики SPTS. При цьому для оптимізація схеми планування завдань пропонується застосувати цільові функції ефективності обробки потокових даних хмарним сервісом мережі IoT.

2. Розробка методики оптимізації алгоритму планування завдань потокової обробки даних

Для визначення цільових функцій ефективності планування завдань потокової обробки даних застосуємо розроблений математичний апарат на етапі розрахунку рівня завантаження каналу при

© Козак Є. Б.

розгортанні окремого завдання на інформаційному вузлі. Нехай, копія c_j^m завдання t_j розгортається на інформаційному вузлі $n_{i'}$, внаслідок чого передається потік даних q_j^k. Задачею оптимізації є мінімізація навантаження на інформаційні канали, які не пов'язані з вузлом $n_{i'}$, що виникає внаслідок особливостей маршрутизації. Визначимо відповідне навантаження через параметр L_j, що обчислюється через бінарний показник $y_j^k(c_j^m)$ та показник b_j^k застосування ресурсу перепускності при передачі потоку даних q_j^k. Для розрахунку L_j добуток зазначених показників необхідно підсумовувати для множини потоків $\boldsymbol{Q_j}$ завдання j, множини потоків $\boldsymbol{Q_i}$ що розгортаються на інформаційнихвузлах $\{n_i\}$, всіх $i \in [1; I]$ крім $n_{i'}$:

$$L_j = \sum_{\{q_{i,j}\}} \left(y_j^k(c_j^m) \cdot q_j^k\right), \text{де } q_{i,j} \in \{\boldsymbol{Q_j} \cap \boldsymbol{Q_i}\} \text{для} \begin{cases} \forall j \in [1; J] \\ \forall m \in [1; M] \\ \forall i \in \{[1; I]/i'\} \end{cases}. \quad (3)$$

Відповідно, навантаження на інформаційні канали, які пов'язані з вузлом $n_{i'}$ визначається через показник L'_j. Сума розраховується для множини, що є симетричною різницею множини $\boldsymbol{Q_j}$ і множини $\{q_{i,j}\}$, що може бути подано як різниця множин $\boldsymbol{Q_j}$ і $\boldsymbol{Q_i}$:

$$L'_j = \sum_{\{q'_{i,j}\}} \left(y_j^k(c_j^m) \cdot q_j^k\right), \text{де } q'_{i,j} \in \{\boldsymbol{Q_j}/\boldsymbol{Q_i}\} \text{для} \begin{cases} \forall j \in [1; J] \\ \forall m \in [1; M]. \\ i = i' \end{cases} \quad (4)$$

На основі показників L_j і L'_j можна побудувати цільову функцію навантаження F_L на інформаційні канали загальної мережі IoT через обчисленнясум добутку L_j(а також L'_j)з $x_j^i(c_j^m)$ по всій множині копій завдання $m \in [1; M_j]$ для всіх завдань інформаційного вузла $n_{i'}$ — $\{T'_i\}$ і інших інформаційних вузлів — $\{T_i\}$:

$$F_L = \sum_{t_j \in \{T'_i\}} \left(\sum_{m \in [1; M_j]} \left(x_j^i(c_j^m) \cdot L'_j\right) \right) + \sum_{t_j \in \{T_i\}} \left(\sum_{m \in [1; M_j]} \left(x_j^i(c_j^m) \cdot L_j\right) \right). \quad (5)$$

Аналогічним чином на основі елементів матриці затримки передачі потоку даних $\boldsymbol{D}(n_q)$,що розгортається на інформаційних вузлах $\{n_q\}$:

$$F_D = \sum_{j \in [1; J]} \left(\sum_{m \in [1; M_j]} \left(\sum_{i \in [1; I]} \left(x_j^i(c_j^m) \cdot \sum_{q \in \{Q - Q_i\}} \left(x_j^i(c_j^m) \cdot \boldsymbol{D}(n_q) \right) \right) \right) \right). \quad (6)$$

Таким чином оптимізація алгоритму планування завдань потокової обробки даних відповідно зменшення показників навантаження на інформаційні канали і часу затримки при передачі потоку даних може бути формалізована на математичному рівні через зведення до математичної задачі пошуку глобальних мінімумів цільових функцій при обмеженні на максимальні значення відповідних показників F_L^+і F_D^+:

$$\begin{cases} min(F_L) \text{при } F_D < F_D^+ \\ min(F_D) \text{ при } F_L < F_L^+ \end{cases}. \quad (7)$$

Очевидним чином, у загальному випадку глобальні мінімуми функцій F_L і F_D не збігаються, а отже з набору можливих варіантів оптимізації має бути обрано такий, що найбільшою мірою відповідає поставленому при налаштуванні хмарного сервісу мережі IoT завданню.

© Козак Є. Б.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було розглянуто алгоритми автоматизації процесу обробки вхідних запитів мережі «Інтернету речей» відповідно до концепції граничних обчислень. Завдяки узагальненню найбільш типових задач, що мають бути вирішеніз метоюоптимізації алгоритмів обробки вхідних даних відповідно до обмежень на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи, час затримки при обробці даних та перепускність мережевих каналів системи. Було запропоновано математичну модель впровадження та масштабування програмних додатків для обробки потокових даних, що надходять з множини інформаційних вузлів глобальної мережі хмарного сервісу, а також систему оцінки роботи алгоритмів відповідно показника зменшення часу затримки, що виникає при обробці вхідних даних центральним вузлом інформаційної мережі. Розроблений математичний апарат базується на формалізації процесу розгортання програмних додатків відповідно до типової задачі планування завдань потокової обробки даних. Задача оптимізації, таким чином, була зведена до математичної задачі пошуку глобальних мінімумів цільових функційрівня ефективності застосування мережевих каналів при обробці вхідних запитівза умов обмеження на максимальні значення відповідних показників перепускності каналів і затримки у процесі обробки запитів.

References.

1. Yin, F., Li, X., Li, X., & Li, Y. (2019). Task Scheduling for Streaming Applications in a Cloud-Edge System. *Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage*, 105–114. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24900-7_9.
2. Aladwani, T. (2020). Types of Task Scheduling Algorithms in Cloud Computing Environment. *Scheduling Problems - New Applications and Trends*. https://doi.org/10.5772/intechopen.86873
3. L. Columbus Internet Of Things Market To Reach $267B By 2020. (n.d.) https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2017/01/29/%0Ainternet-of-things-market-toreach-267b-by-2020/. Accessed 1 May 2019.
4. Sun, D., & Hwang, S. (2018). DSSP: Stream Split Processing Model for High Correctness of Out-of-Order Data Processing. *2018 IEEE First International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering (AIKE).* https://doi.org/10.1109/aike.2018.00044.
5. Mutschler, C., &Philippsen, M. (2013). Distributed Low-Latency Out-of-Order Event Processing for High Data Rate Sensor Streams. *2013 IEEE 27th International Symposium on Parallel and Distributed Processing.* https://doi.org/10.1109/ipdps.2013.29.
6. Chintapalli, S., Dagit, D., Evans, B., Farivar, R., Graves, T., Holderbaugh, M.,Poulosky, P. (2016). Benchmarking Streaming Computation Engines: Storm, Flink and Spark Streaming. *2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW).* https://doi.org/10.1109/ipdpsw.2016.138.
7. DeSilva, M., &Hendrick, M. (2020). Using streaming data and Apache Flink to infer energy consumption. *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Distributed and Event-Based Systems.* https://doi.org/10.1145/3401025.3401759.
8. Wei Wu, Nan Wu, Ju Ren, Huayou Su, Mei Wen, &Chunyuan Zhang. (2010). A streaming implementation of HD H.264/AVC encoder on STORM processor. *2010 International Conference on Multimedia Computing and Information Technology (MCIT).* https://doi.org/10.1109/mcit.2010.5444843.
9. Jonathan, A., Chandra, A., &Weissman, J. (2018). Multi-Query Optimization in Wide-Area Streaming Analytics. *Proceedings of the ACM Symposium on Cloud Computing.* https://doi.org/10.1145/3267809.3267842.
10. Georgiou, Z., Symeonides, M., Trihinas, D., Pallis, G., &Dikaiakos, M. D. (2018). StreamSight: A Query-Driven Framework for Streaming Analytics in Edge Computing. *2018 IEEE/ACM 11th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC).* https://doi.org/10.1109/ucc.2018.00023.
11. Hu, X., Xu, H., Jia, J., & Wang, X. (2018). Research on Distributed Storage and Query Optimization of Multi-source Heterogeneous Meteorological Data. *Proceedings of the 2018 International Conference on Cloud Computing and Internet of Things - CCIOT 2018.* https://doi.org/10.1145/3291064.3291068.
12. Heintz, B., Chandra, A., &Sitaraman, R. K. (2015). Optimizing Grouped Aggregation in Geo-Distributed Streaming Analytics. *Proceedings of the 24th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing*. https://doi.org/10.1145/2749246.2749276.
13. Heintz, B., Chandra, A., &Sitaraman, R. K. (2016). Trading Timeliness and Accuracy in Geo-Distributed Streaming Analytics. *Proceedings of the Seventh ACM Symposium on Cloud Computing.* https://doi.org/10.1145/2987550.2987580.
14. Heintz, B., Chandra, A., &Sitaraman, R. K. (2020). Optimizing Timeliness and Cost in Geo-Distributed Streaming Analytics. *IEEE Transactions on Cloud Computing, 8*(1), 232–245. https://doi.org/10.1109/tcc.2017.2750678.
15. Hwang, J.-H., Cetintemel, U., &Zdonik, S. (2008). Fast and Highly-Available Stream Processing over Wide Area Networks. *2008 IEEE 24th International Conference on Data Engineering. 3*(2), 131–147 https://doi.org/10.1109/icde.2008.4497489.
16. Hwang, J.-H., Cetintemel, U., &Zdonik, S. (2007). Fast and Reliable Stream Processing over Wide Area Networks. *2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering Workshop.* https://doi.org/10.1109/icdew.2007.4401047.
17. Hwang, A.A. (2016). Physical layer link modeling for a dynamic network simulation system. IEEE Proceedings on Southeastcon. https://doi.org/10.1109/secon.1990.117842.
18. Yang, L., Cao, J., Yuan, Y., Li, T., Han, A., Chan, C.: A framework for partitioning and execution of data stream applications in mobile cloud computing. *In:International Conference on Cloud Computing 2012, vol. 40*, pp. 23–32. https://doi.org/10.1145/2479942.2479946
19. Yang, L., Cao, J., Cheng, H., Ji, Y.: Multi-user computation partitioning for latencysensitive mobile cloud applications. *IEEE Trans. Comput.8*(64), 2253–2266 (2015).
20. Chintapalli, S., et al.: Benchmarking streaming computation engines: storm, flinkand spark streaming. *In: International Parallel and Distributed Processing Symposium 2016*, pp. 1789–1792 (2016).https://doi.org/10.1109/IPDPSW.2016.138.

© Козак Є. Б.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-07
УДК 621.396
Кокіза Сергій Вікторович, науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0001-8111-9203
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз СБ України

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МНОЖИННОГО НЕОРТОГОНАЛЬНОГО ДОСТУПУ У МЕРЕЖІ 5G

Кокіза С. В. Моделювання системи забезпечення множинного неортогонального доступу у мережі 5G Розглянуто принципи організації систем захисту процесу передачі даних у глобальних інформаційних мережах на базі інтерфейсу неортогонального множинного доступу. Запропонована математична модель побудови телекомунікаційної мережі організованої відповідно до стандарту 5G, у рамках якої інформаційні вузли користувачі та зловмисників розташовані випадковим чином. Оцінка ефективності стратегії запобігання витокам «чутливих даних» було модифіковано асимптотичні рівняння ймовірності збою системи захисту. Система оцінки надійності передачі даних базується на статичних даних поточного співвідношення сигналу до суми шуму і інтерференції сигналів тапоточного співвідношення сигналу до шуму для користувачів сервісу, а також сторонніх осіб з неавторизованим доступом до мережевого ресурсу.
Ключові слова:стандарт зв'язку5G, телекомунікаційна мережа, множинний неортогональнийдоступ, математична модель, асимптотичні рівності, математична модель.

Кокиза С. В. Моделирование системы обеспечения множественного неортогональных доступа в сети 5G. Рассмотрены принципы организации систем защиты процесса передачи данных в глобальных информационных сетях на базе интерфейса неортогонального множественного доступа. Предложенная математическая модель построения телекоммуникационной сети, организованной в соответствии со стандартом 5G, в рамках которой информационные узлы пользователей которой и злоумышленников расположены случайным образом. Для оценки эффективности стратегии предотвращения утечки «чувствительных данных» были модифицированы асимптотические уравнения вероятности сбоя системы защиты. Система оценки надежности передачи данных базируется на статистических данных текущего соотношения сигнала к сумме шума и интерференции сигналов и текущего соотношения сигнала к шуму для пользователей сервиса, а также посторонних лиц с неавторизованным доступом к сетевому ресурсу.
Ключевые слова: стандарт связи 5G, телекоммуникационная сеть, множественный неортогональный доступ, математическая модель, асимптотические равенства, математическая модель.

Kokiza Sergii. Modeling of the system for providing non-orthogonalmultiple access in a 5G network. The principles of organizing systems for protecting the data transmission process in global information networks based on a non-orthogonal multiple access interface are considered. The proposed mathematical model for building a telecommunications network organized in accordance with the 5G standard, where the information nodes of users and attackers are randomly located. To assess the effectiveness of the strategy to prevent the leakage of "sensitive data", the asymptotic equations of the protection system failure probability were modified. The system for assessing the reliability of data transmission is based on statistical data of the current signal-to-noise ratio and signal interference and the current signal-to-noise ratio for service users, as well as persons with unauthorized access to a network resource.
Key words: 5G communication standard, telecommunication network, non-orthogonalmultiple access, mathematical model, asymptotic equalities, mathematical model.

Вступ. Активний розвиток сучасних телекомунікаційних мереж (Telecommunications Network, TCN) надав можливість значним чином розширити функціонал мережевих сервісів, але й, водночас, призвів до експоненційного росту вимог на масштабованість апаратно-програмного комплексу інфраструктури TCN.Вимога на масштабованість у першу чергу пов'язана з розширенням інформаційних вузлів мережу, що відповідають кінцевим користувачам та актуальністю впровадження множинного доступу (Multiple Access, MA). На етапі впровадження стандарту 5G зазначений ріст кількості кінцевих користувачів значною мірою полягає у появі автоматизованих платформ і програмних додатків, що взаємодіють з TCN на рівні «машина-машина» (Machine-to-Machine, M2M). M2M-взаємодія є основою сучасної парадигми «Інтернету всього» (Internet of Everything, IoE), як набору концепцій «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT), «Інтернету транспортних засобів» (Internet of Vehicles, IoV), тощо — що вказує на *актуальність дослідження* по оптимізації MA-інтерфейсів.

У рамках стандарту 5G активно використовується інтерфейс неортогонального множинного доступу (Non-Orthogonal Multiple Access,NOMA),що характеризується високими показниками ефективності перепускності (Spectral Efficiency, SE), що визначає швидкість передачі потоку даних у рамках заданої смуги інформаційного каналу та протоколу зв'язку [1-5]. Однією з базових переваг NOMA є високий ступінь інтегрованості з іншими MA-інтерфейсами оскільки концепція NOMA базується на застосуванні домену з кількома рівнями потужності (Power Domain, PA). У рамках

© Кокіза С. В.

зазначеного підходу один функціональний блок розподіляє апаратний і програмний ресурс TCN між декількома користувачами мережевого сервісу.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій присвячених проблемам організації та оптимізації систем TCN на базі NOMA-інтерфейсу вказує на необхідність побудови універсальної математичної моделі множинного доступу до мережі 5G[2-5].У рамках даного дослідження було запропоновано розглянути наступні підходи організації процесу передачі даних на базі NOMA-інтерфейсу: модель низхідної лінії зв'язку NOMA (DownLink, DL-NOMA) з випадковим розподілом інформаційних вузлів кінцевих користувачів сервісу[6, 7]; протокол розподілу мережевого ресурсу при спільному використанні NOMA-інтерфейсу (Cooperative Simultaneous Wireless Power Transfer, CSWPT), що базується на математичній моделі енергоспоживання [8, 9]; схема «справедливого розподілу» (UserFairnessScheme, UFS), що надає можливість оптимізувати модель NOMA-інтерфейсу відповідно рівномірності розподілу мережевого ресурсу між інформаційними вузлами кінцевих користувачів [10, 11]; модель масштабованої когнітивної мережі (Large-Scale Cognitive Networks, LSCN), що базується на розподілі інформаційних вузлів відповідно стохастичної мережі [12, 13]; методика впровадження множинних вузлів прийому-передачі даних (MultipleAntennas Technologies, MAT), що додатково розширює функціональні можливості NOMA-інтерфейсу[14-18], як то впровадження системи «множинний вхід — одиночний вихід» (Multiple Input Single Output)та «множинний вхід — множинний вихід» (Multiple Input Multiple Output) як для низхідної, так і для висхідної лінії зв'язку.

Проведений аналіз вказує на необхідність уніфікації представлених підходів з метою побудови цілісної методології організації, оцінки та оптимізаціїNOMA-інтерфейсу мереж стандарту 5G, що розглядається як ***невирішена частина загального дослідження***.

Таким чином, метою даної роботи стала побудова універсальної математичної моделі функціонування NOMA-інтерфейсу та формування на її основі методологічних рекомендацій по оптимізації інфраструктури інформаційної мережі, організованої згідно стандарту 5G.

Основна частина дослідження. Для постановки задачі математичного моделювання розглянемо узагальнену схему організації TCN, що складається з наступних інформаційних вузлів:

- B_m — один з вузлів базової станції (Base Station, BS), де $m \in [1; M]$;
- множина$\boldsymbol{EU}$: $\{EU_i\}$ (де $i \in [1; I]$)вузлів кінцевих користувачівсервісу (End Users, EU), що передають блоки даних через NOMA-інтерфейс;
- множина $\boldsymbol{NE}$: $\{NE_j\}$ (де $j \in [1; J]$) вузлів представників сторони, що намагається здійснити неавторизований доступ до даних користувачів(Network Eavesdropper, NE), але при цьому зі свого боку не вносить змін у блоки даних.

Розглянемо геометрію мережевою моделі як набір концентричних кілець з центром у положенні BS, що визначаються відповідно радіусу R_{PA}, R_{NA}і R_{MA} (рис. 2):

- захищена зона мережі (Protected Area, PA), у якій знаходитьсяBS і частина EU, але відсутні NE, що визначається радіусом $R \in [0; R_{PA}]$;
- зона множинного доступу користувачів сервісу, у якій знаходяться EU і NE, що визначається радіусом $R \in (R_{PA}; R_{NA}]$;
- зона моніторингу (Monitoring Area, MA) поза зони охоплення BS, у якій знаходяться тількиNE, що визначається радіусом $R \in (R_{NA}; R_{MA}]$.

Просторова топологіярозташування NE моделюється з використанням однорідного пуассонівського процесу Φ_{NE} з густиною λ_{NE}.У свою чергу, інформаційні канали моделюються через квазістатичне затухання Релея(коефіцієнти каналу є фіксованиму рамках окремого каналу передачі даних).У якості прикладу розглянемо наступне ранжування рівня підсилення каналів $n \in [1; N]$на основі величини G_n:

$$(G_1)^2 \leq \cdots \leq (G_n)^2 \leq \cdots \leq (G_{n+\Delta n})^2 \leq \cdots \leq (G_N)^2. \quad (1)$$

Рівень підсилення каналу обернено пропорційний рівню втрат, тому у рамках NOMA-інтерфейсу користувача з великимі малим G ($n \to N$ і $n \to 1$, відповідно). Відповідно коефіцієнт розподілу потужності передачі даних () має відповідати наступним умовам:

$$\begin{cases} \alpha_n \geq \alpha_{n+\Delta n} \\ \alpha_n + \alpha_{n+\Delta n} = 1 \end{cases}. \quad (2)$$

© Кокіза С. В.

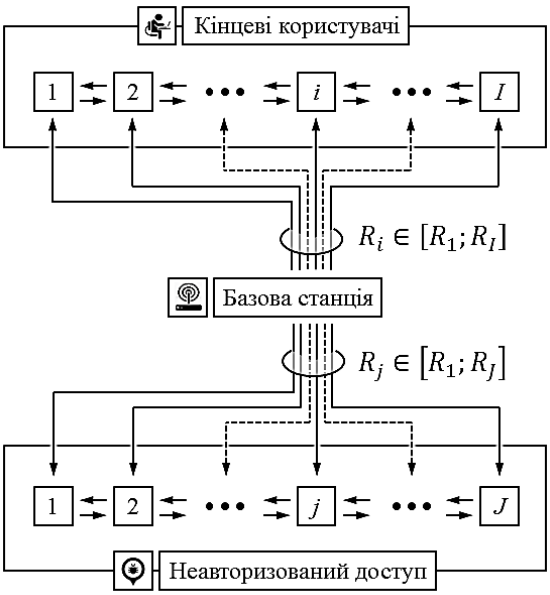


Рис. 1. Базова модель організації інформаційних вузлів мережі відповідно інтерфейсу NOMA.

Методика послідовного зменшення рівня завад (Successive Interference Cancelation, SIC)у рамках NOMA-інтерфейсу керується вузлом користувача $(n + \Delta n)$. Згідно зі вказаними припущеннями функція, що визначає поточне співвідношення сигналу до суми шуму і інтерференції сигналів (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio, SINR) для користувача (n) та функція, що визначає поточне співвідношення сигналу до шуму (Signal-to-Noise Ratio, SNR) для користувача $(n + \Delta n)$можуть бути визначені через наступні співвідношення:

$$\begin{cases} \eta_{SINR}(n|n+\Delta n) = \dfrac{\alpha_n \cdot (G_n)^2}{\alpha_{n+\Delta n} \cdot (G_n)^2 + 1/\rho_{EU}}, де\, \eta_{EU} = \dfrac{P_{BS}}{(\sigma_{EU})^2}. \\ \eta_{SNR}(n+\Delta n|n) = \eta_{EU} \cdot \alpha_{n+\Delta n} \cdot (G_{n+\Delta n})^2 \end{cases} \quad (3)$$

Відповідно представленого математичного апарату η_{EU} — SNR передачі сигналу, P_{BS} потужність передачі сигналу на рівні BS, а $(\sigma_{EU})^2$ — дисперсія адитивного білого гаусова шуму (Additive White Gaussian Noise, AWGN) на рівні EU.Умова надійного відтворення блоку даних на рівні користувача (n), що передається користувачем $(n + \Delta n)$ вводиться наступна умова:

$$\alpha_n \geq (2^{R_n} - 1) \cdot \alpha_{n+\Delta n}, \quad (4)$$

де R_n — відстань між BS і EU(n). Крім того, у схему має бути включена модель обмежених втрат (Bounded Path Loss Model,BPL-модель).

© Кокіза С. В.

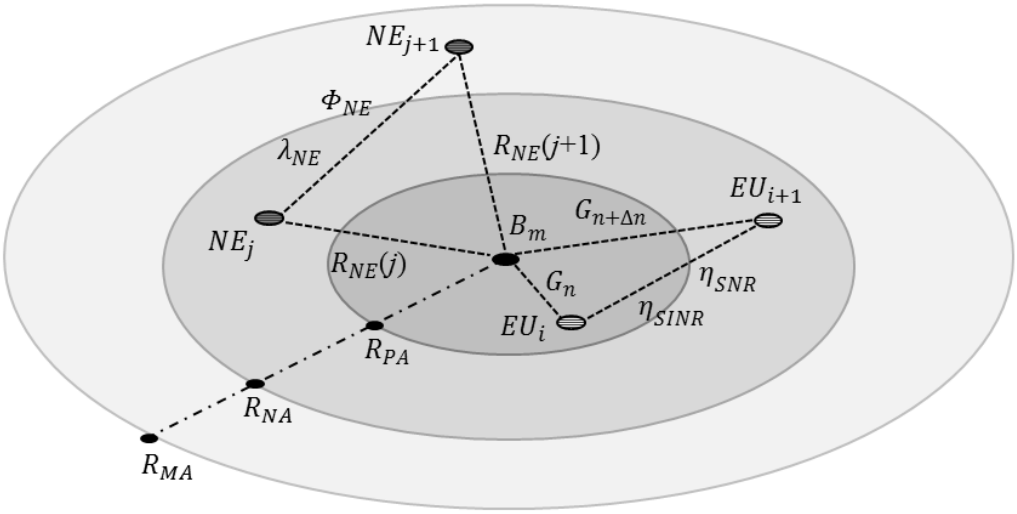


Рис. 2. Схема розрахунку показників передачі даних між рівнями BS, EU і NE.

У глобальних та локальних TCN великого масштабу NE можуть бути ефективно виявлені на основі інформації про канал зв'язку (Channel State Information, CSI). Так, через аналіз поточного показника співвідношення сигналу до шуму від NE при взаємодії користувача $(n + \Delta n)$ і (n) критерій наявності у мережі NE виражається через відстань між BS та відповідним інформаційним вузлом NE_j та пов'язані з цим втрати шляху (обернено пропорційні до$(R_{NE})^{\alpha_j}$) наступним чином:

$$\eta_{NE}(NE_j) = \eta_{NE} \cdot \alpha_j \cdot \max_{NE_j \in \Phi_{NE}} \left\{ \frac{(\varphi_{NE})^2}{(R_{NE})^{\alpha_j}} \right\} \text{ при } R_{NE} \in (R_{PA}; R_{NA}], \quad (5)$$

де $\varphi_{NE} \in \{0; 1\}$ — коефіцієнт затухання. Таким чином, ефективність детектування NE прямо пропорційна величиніR_{NE}.

На основі значень $\eta_{SINR}(n|n + \Delta n)$ і $\eta_{SNR}(n + \Delta n|n)$ для $n \in [1; N]$, а також $\eta_{NE}(NE_j)$ для $j \in [1; J]$ базується надійність передачі даних між вузлами кінцевих користувачів, а також захист «чутливих» даних користувачів сервісу від несанкціонованого доступу сторонніх осіб.

Висновки. В результаті проведеного аналізу було визначено принципи організації систем захисту передачі даних у глобальних інформаційних мережах на базі інтерфейсу неортогонального множинного доступу. Була запропонована модель та відповідний математичний апаратдля побудови телекомунікаційної мережі організованої відповідно до стандарту 5G, у рамках якої інформаційні вузли користувачів та зловмисників розташовані випадковим чином згідно однорідного пуассонівського процесу. Для побудови системи оцінки надійності передачі даних були застосованістатичні дані поточного співвідношення сигналу до суми шуму і інтерференції сигналів та поточного співвідношення сигналу до шуму для користувачів сервісу, а також сторонніх осіб з неавторизованим доступом до мережевого ресурсу.

References.

1. Dalby, A., Russell, J., & White, J. (2020). *5G: the complete manual: discover the future of mobile networks.* Future PLC.
2. Maric, S., &Velimirovic, L. Z. (2018). Application of Quasi Orthogonal Short Sequence Families in Pattern Division Multiple Access – a Non Orthogonal Multiple Access Technique. *2018 IEEE 5G World Forum (5GWF).* https://doi.org/10.1109/5gwf.2018.8516986.
3. Kim, J. O., Hendraningrat, D. K., & Shin, S. Y. (2020). A Study of NOMA-SSK for Solving Similar Channel Gain Problem of NOMA Users. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 45*(3), 474–481. https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.3.474.
4. Li, J., Nie, S., & Han, C. (2018). ASMC-NOMA: Downlink Adaptive Subcarrier Spacing Multi-Carrier NOMA for 5G Time-Varying Channels. *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM).* https://doi.org/10.1109/glocom.2018.8647783.
5. Khansa, A. A., Chen, X., Yin, Y., Gui, G., & Sari, H. (2020). Performance analysis of Power-Domain NOMA and NOMA-2000 on AWGN and Rayleigh fading channels. *Physical Communication, 43*, 101185. https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101185.

© Кокіза С. В.

6. Ding, Z., Yang, Z., Fan, P., & Poor, H. V. (2014). On the Performance of Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems with Randomly Deployed Users. IEEE Signal Processing Letters, 21(12), 1501–1505. https://doi.org/10.1109/lsp.2014.2343971.
7. Ding, Z., Zhu, Y., & Chen, Y. (2018). Conclusions and Future Research Directions for NOMA. *Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond*, 669–677. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92090-0_21.
8. Liu, Y., Ding, Z., Elkashlan, M., & Poor, H. V. (2016). Cooperative Non-orthogonal Multiple Access With Simultaneous Wireless Information and Power Transfer. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 34*(4), 938–953. https://doi.org/10.1109/jsac.2016.2549378.
9. Liu, M., & Chen, M. (2018). Dual-Band Multi-Receiver Wireless Power Transfer with Reactance Steering Network. *2018 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (Wow).* https://doi.org/10.1109/wow.2018.8450913.
10. Timotheou, S., &Krikidis, I. (2015). Fairness for Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems. *IEEE Signal Processing Letters*, *22*(10), 1647–1651. https://doi.org/10.1109/lsp.2015.2417119.
11. Sousa de Sena, A., &Nardelli, P. (2020). Massive MIMO-NOMA Networks with Imperfect SIC: Design and Fairness Enhancement. https://doi.org/10.36227/techrxiv.11566725.
12. Liu, Y., Ding, Z., Elkashlan, M., & Yuan, J. (2016). Nonorthogonal Multiple Access in Large-Scale Underlay Cognitive Radio Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65*(12), 10152–10157. https://doi.org/10.1109/tvt.2016.2524694.
13. Analytical Models for Multihop Cognitive Radio Networks. (2008). *Cognitive Radio Networks*, 399–422. https://doi.org/10.1201/9781420064216-24.
14. Choi, J. (2015). Minimum Power Multicast Beamforming With Superposition Coding for Multiresolution Broadcast and Application to NOMA Systems. *IEEE Transactions on Communications, 63*(3), 791–800. https://doi.org/10.1109/tcomm.2015.2394393.
15. Ding, Z., Schober, R., & Poor, H. V. (2016). A General MIMO Framework for NOMA Downlink and Uplink Transmission Based on Signal Alignment. *IEEE Transactions on Wireless Communications, 15*(6), 4438–4454. https://doi.org/10.1109/twc.2016.2542066.
16. Qin, Z., Liu, Y., Ding, Z., Gao, Y., &Elkashlan, M. (2016). Physical layer security for 5G non-orthogonal multiple access in large-scale networks. *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC).* https://doi.org/10.1109/icc.2016.7510755.
17. Mukherjee, A., &Swindlehurst, A. L. (2011). Robust Beamforming for Security in MIMO Wiretap Channels With Imperfect CSI. *IEEE Transactions on Signal Processing, 59*(1), 351–361. https://doi.org/10.1109/tsp.2010.2078810.
18. Liu, Y., Wang, L., Duy, T. T., Elkashlan, M., & Duong, T. Q. (2015). Relay Selection for Security Enhancement in Cognitive Relay Networks. *IEEE Wireless Communications Letters, 4*(1), 46–49. https://doi.org/10.1109/lwc.2014.2365808.

© Кокіза С. В.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-08
УДК 510
[1] **Корінчук Наталія Юріївна**
https://orcid.org/0000-0001-7977-0654
[1] **Бойчук Марія Федорівна**
[1]**Нарихнюк Наталія Юріївна**
[2] **Корінчук Володимир Васильович**
https://orcid.org/0000-0003-1084-6897
[1] Комунальний заклад вищої освіти «Луцький педагогічний коледж» Волинської обласної ради.
[2] Луцьке вище професійне училище будівництва та архітектури.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИЙ АСПЕКТ РОЗВИТКУ МАТЕМАТИЧНИХ ТА ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СТУДЕНТІВ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В. Інформаційно-комп'ютерний аспект розвитку математичних та професійних компетентностей студентів в умовах дистанційного навчання. У статті розглядається проблема використання студентами і учнями онлайн ресурсів та інших інформаційно-комп´ютерних технологій, їх доступність і вплив на рівень знань при вивченні математики під час дистанційного навчання в умовах карантину. З цією метою авторами було проведене анкетування серед студентів Луцького педагогічного коледжу та учнів Луцького вищого професійного училища будівництва та архітектури на предмет використання ними онлайн ресурсів та освітніх електронних сервісів і наводиться детальний порівняльний аналіз результатів цих соціологічних досліджень між двома закладами освіти.
Ключові слова: освітня платформа, класрум, ноутбук, онлайн ресурси, дистанційне навчання, оволодіння навиками користування інформаційно-комп´ютерними технологіями, формування математичних знань, навичок і умінь.

Коринчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Коринчук В.В. Информационно-компьютерный аспект развития математических и профессиональных компетентностей студентов в условиях дистанционного обучения. В статье рассматривается проблема использования студентами и учениками онлайн ресурсов и других информационно-компьютерных технологий, их доступность и влияние на уровень знаний при изучении математики при дистанционном обучении в условиях карантина. С этой целью авторами было проведено анкетирование среди студентов Луцкого педагогического колледжа и учащихся Луцкого высшего профессионального училища строительства и архитектуры на предмет использования ими онлайн ресурсов и образовательных электронных сервисов, а также приводится подробный сравнительный анализ результатов этих социологических исследований между двумя учебными заведениями.
Ключевые слова: образовательная платформа, классрум, ноутбук, онлайн ресурсы, дистанционное обучение, овладение навыками пользования информационно-компьютерными технологиями, формирование математических знаний, навыков и умений.

Korinchuk N.Yu., Boychuk M.F., Narikhnyuk N.Yu., Korinchuk V.V. Information and computer aspect of the development of mathematical and professional competencies of students in distance learning. The article considers the problem of students and students using online resources and of the information and computer technologies, the iravailability and impacton the level of know ledge in the study of mathematics during distance learningin quarantine.To thisend, the authors conducted surve yamong students of Lutsk Pedagogical College and students of Lutsk Higher Vocational School of Construction and Architecture for the iruse of online resource sand educational electronic service sand provides a detailed comparative analysis of the sesociological studies between the two educational institutions.
Keywords:educational platform, classroom, laptop, online resources, distance learning, mastering the skills of using information and computer technologies, formation of mathematic alknowledge, skills and abilities.

Постановка проблеми. Дистанційне навчання стає все більше і більше популярним з кожним роком і за кордоном, і в Україні. Вже не перший рік ми спостерігаємо сталий інтерес до дистанційного навчання широких мас населення України. Одним з напрямів освітніх інновацій, що активно розвиваються та безпосередньо скеровані на вдосконалення освітнього процесу й підвищення якості освіти, є інформатизація освіти. Найважливішою ланкою цього процесу стало опанування технологій навчання із застосуванням в освітньому процесі комп'ютерів. Водночас відбуваються зміни змісту та методики навчання, тобто формуються та розвиваються новітні інформаційні освітні технології. У сучасних умовах інформаційні освітні технології є невід'ємним складником освітнього процесу, в тому числі дистанційного навчання.

Використання різних освітніх платформ та онлайн ресурсів створює підґрунтя для оволодіння студентами та учнями вміннями самостійно набувати предметні компетентності, розвиває самостійність студентів та учнів в освітній діяльності, сприяє самовдосконаленню, самоорганізації та самоконтролю здобувачів світи.

© Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В

Впровадження новітніх освітніх технологій мотивує здобувачів освіти, сприяє формуванню пізнавального інтересу студентів та учнів, позитивно впливає на зацікавленість до навчальних дисциплін, допомагає через інформаційно-цифрові компетентності формувати математичні та інші предметні компетентності, потрібні у суспільному та в особистому житті здобувачів освіти.

У зв'язку з цим проблема використання онлайн ресурсів та інформаційно-комунікаційних технологій під час дистанційного навчання в умовах карантину при вивченні природничо-математичних предметів була і є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Офіційно дистанційне навчання в Україні було запроваджено у 2004 році. 21січня 2004 року було видано наказ №40 Міністерства освіти і науки України. Цим наказом було затверджено «Положення про дистанційне навчання» [1, 2]. Цю дату можна вважати датою запровадження новітніх освітніх технологій.

Першим учителем дистанційного навчання можна вважати Салман Хана. Спочатку він в мережі інтернет розміщував свої відео-заняття для своїх родичів у вільному доступі. Ці заняття у мережі інтернет отримали мільйони переглядів і стали надзвичайно популярними в усьому світі. Тому Салман Хан створив перший великий дистанційний центр навчання, який назвали Хан-Академія. Далі було створено великий освітній центр YouTube Хан, веб сторінки якого перекладені на багатьох мовах світу.[3].

В Україні за допомогою дистанційної форми навчання проводиться підготовка абітурієнтів до вступу на університетських курсах. Також створено великі освітні центри, які готують учнів до здачі ЗНО за допомогою дистанційної форми навчання. Найбільшим таким центром отримання знань дистанційно за допомогою онлайн-курсів можна вважати Prometheus. [5].

Для тих учнів, які перебувають за територією України, була створена у 2007році державна Міжнародна українська школа. У цій школі здобувачі освіти мають можливість отримати початкову освіту, базову освіту та повну середню освіту. Форма організації навчання у цій школі - дистанційна та екстернатна. Випускники отримують свідоцтва та атестати державного зразка.

Для організації індивідуального навчання українських школярів, які не можуть відвідувати школи, в Україні створено приватні школи, навчання у яких здійснюється дистанційно або за допомогою екстернатної форми навчання. [6].

Майже два десятиріччя впроваджується в Україні дистанційна форма освіти. Початком відліку став 2002 рік. У цьому році було розпочато експеримент із дистанційної форми навчання. Урядом України у 2003 році була затверджена Програма розвитку системи дистанційного навчання.[7]. Вектори програми були визначені у Положенні про дистанційне навчання, яке було затверджене МОН України у 2004 році.

Першу ліцензію в Україні на провадження освітньої діяльності у закладі загальної середньої освіти у дистанційній формі отримав Центр освіти «Дистанційна школа «Оптіма» [8].

У минулому 2020 році МОН України було затверджене нове Положення про дистанційне навчання. Це дало можливість українським здобувачам освіти одержати якісні освітні послуги в умовах карантину.[9].

До 2019-2020 навчального року вже у 182 школах України учні мали можливість навчатись на дистанційній формі. У 2021 році 233 школи в Україні мають можливість і надають освітні послуги дистанційно. Це заклади загальної середньої освіти як комунальної форми власності так і приватної форми власності. Є на Україні 19 приватних шкіл, які проваджують освітню діяльність тільки за дистанційною формою.

Інструкції із використання освітніх платформ можна знайти на сайті Міністерства освіти і науки України та в Інтернеті. У листі Міністерства освіти та науки України від 26 березня 2020 року № 1/9-177 «Щодо організації освітнього процесу в закладах професійної (професійно-технічної освіти на період карантину)» [10] наведено перелік електронних сервісів для організації дистанційного навчання.Їх можна нарахувати більше десятка. Серед них:

1. Moodle. Ця система дозволяє організувати в онлайн-форматі освітню платформу. Систему можна використовувати для організації дистанційного навчання. Системою зручно користуватись учням, студентам, учителям, викладачам та адміністраторам.

2. Доступна безкоштовно: Google Клас (Google CIassroom). Багатофункціональна безкоштовна система, яка дає можливість миттєво обмінюватись інформацією між тими, хто навчає і тими, хто навчається. Сервіс дає можливість одночасно використовувати і сховище, і документи, і пошту.

© Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В

3. Google Презентації (Google Presentations). Цей додаток використовує операційну систему Android. Користувачі мають можливість працювати із файлами, презентаціями. Презентації можна створювати, додавати слайди, редагувати, форматувати, надавати доступ іншим учасникам освітнього процесу, обмінюватись коментарями. Цей додаток може частково функціювати без підключення до мережі Інтернет.

4. iLearn. Ця платформа є безкоштовною, із використанням ігрових методів для виконання тестів, проходження вебінарів та онлайнкурсів.

5. Kahoot! За допомогою цього сервісу можна організовувати перевірку і оцінку знань здобувачів освіти. Сервіс дає можливість складати тести і виконувати їх в ігровій формі. Використовувати можна прямо у браузері;

6. Edmodo. Це спеціальний освітній сайт, принцип побудови, якого здійснено подібно до принципу побудови соціальної мережі Facebook. За допомогою даного сайту учасники освітнього процесу мають можливість швидко обмінюватися інформацією.

7. LearningApps.org. За допомогою цього сервісу користувач має можливість конструювати інтерактивні завдання.

8. Stepik. Дана освітня платформа є безкоштовною. Користувач за допомогою конструктора може створювати відкриті уроки та відкриті онлайнкурси.

9. OnlineTestPad. Онлайн конструктор тестів, опитувань, кросвордів.

10. Месенджери Skype, Viber, WhatsApp, Zoom. Дають можливість спілкуватись у реальному часі

викладачам і студентам.

«Дистанційна освіта підходить у першу чергу для високовмотивованої дитини. Таких у нас не більше 10-15 відсотків. Що стосується інших, то з ними, чесно кажучи, й інші методи навчання не дуже спрацюють. Але якщо це «живий» клас, то вчитель може хоч якось проконтролювати, певним чином змусити учня зробити хоча б щось елементарне. Також є шанс, що учень мимоволі хоч щось запам'ятає, тому що інші учні працюють. З дистанційним навчанням таке не спрацює, і якщо немає підтримки з боку сім'ї, то зрозуміло, що ефективність буде вкрай низькою або навіть нульовою. Тому проблема мотивації для України стоїть дуже гостро» – зазначає відомий педагог і шеф-редактор порталу «Освітня політика» Віктор Громовий**.** [11].

Український центр якості освіти провівши та зробивши аналіз свого соціологічного дослідження зазначає, що педагоги під час дистанційного навчання використовують декілька каналів для зв'язку з учнями та студентами. У переважній більшості спілкуються з учнями та студентами за допомогою повідомлень (Viber, Whatsapp, Telegram, Messenger) – 83% учасників освітнього процесу. Засоби відеоконференцій на зразок Zoom, Skype використовують 75% учасників освітнього процесу. Можливостями електронної пошти для надсилання і отримання завдань користуються 39%. Google Classroom, Moodle для навчання регулярно використовують 71%. І понад 63% учасників освітнього процесу для дистанційного навчання використовують телефонний зв'язок.

В освітніх закладах України в освітньому процесі ще не достатньо застосовують електронні щоденники та електронні журнали. Було проведено опитування, яке показало, що тільки 3,6% (164 освітні заклади) у навчанні впровадили Модуль E-Journal. На інших платформах використовують електронний щоденник та електронний журнал всього 30% освітніх закладів. 67% шкіл України, як указали керівники, не мають належного технічного забезпечення і мережі Інтернет і тому не практикують електронний щоденник та електронний журнал під час навчання.

У 2020 році тільки у 256 вчителів, що становило 0,6% опитаних, під час впровадження дистанційного навчання, не було ніяких труднощів. У 2021 році вже 48% вчителів, які брали участь в опитуванні, зазначили, що вони детально оволоділи технологіями дистанційного навчання.

Метою дослідження стало визначення рівня психологічної комфортності студентів і здатності до самоорганізації за період карантину та вплив дистанційного навчання на рівень знань студентів та учнів.

Невирішені частини проблеми. Перед сучасною дидактикою постають проблеми в організації новітнього освітнього процесу в умовах карантину, використання ефективних методів та засобів навчання. Водночас, більшість проблем залишилися невирішеними. Так, під час опитування, зробленим українським центром якості освіти, з'ясувалось, що для ефективного впровадження дистанційного навчання необхідно вирішити такі питання.

© Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В

1. Між учасниками освітнього процесу організовувати взаємодію. Як вказали 72% керівників шкіл, під час дистанційного навчання, не всі учні відвідують онлайн-уроки, не всі учні мають інтернет, щоб вийти на зв'язок, не всі учні виконують домашні завдання.

2. Розв'язати проблему із технічним забезпеченням. Як вказали 62% керівників шкіл у більшості учнів та багатьох учителів відсутні технічні засоби та інтернет-зв'язок для дистанційного навчання. У багатьох, особливо сільських школах, низька швидкість інтернет-зв'язку (47%). Під час опитування батьків учнів з'ясувалось, що у 8,8% сім'ях немає комп'ютера. На недоліки в інтернет-зв'язку вказали 22% родин. Також 53% учителів вказують недоліки технічного забезпечення.

3. Вирішити питання методичної підготовки педагогів. Опитування показало, що 47% учителів до карантину не практикували елементів дистанційного навчання. На жаль, серед опитаних освітян, виявились такі, що не володіють інформаційно-комунікаційними технологіями навчання.

Основні результати досліджень. Сьогодні особливої актуальності набуває проблема ретельного планування діяльності викладача та учнів, що робить прогнозування результатів навчання більш обґрунтованим. З'ясовано в цілому, що ситуація вимушеного карантину не додала особливих ознак стресу й психологічного напруження у студентів та учнів. Проте ситуація навчання під час карантину емоційно та гостро відчувається здобувачами освіти. Дистанційне навчання для значної частини учасників освітнього процесу стало каталізатором для удосконалення навичок самостійної роботи, навичок самоосвіти. Під час дистанційного навчання в умовах карантину здобувачі освіти по новому навчались планувати, організовувати свою освітню діяльність, розподіляти час для онлайн-навчання і для самоосвіти.

Викладачі наших навчальних закладів користувались переважно освітньою платформою *GoogleClassroom,* яка на їхню думкою є найбільш поширеною і практичною. Хоча в умовах дистанційного навчання учні і студенти, а також викладачі та батьки зіткнулися з певними труднощами та проблемами. Як наслідок, це призвело до впливу на зниження успішності студентів та учнів, втрати інтересу до навчання. В цих умовах набуває важливого значення мотивація як важливий компонент освіти. Ефективність будь-якого виду освітнього процесу безпосередньо пов'язана з рівнем навчальної мотивації. Особливістю навчання, зокрема дистанційного, є те, що змусити вчитися не можна, передусім необхідна наявність у студента та учня бажання, що і є мотивацією навчальної діяльності.

На основі матеріалів опитування щодо організації дистанційного навчання, яке було проведене, Державною службою якості освіти України з 2 по 9 лютого 2021 року, участь у якому взяли понад 270 тисяч респондентів, із них близько 68 тисяч учнів 9-х – 11-х класів, 158 тисяч батьків і 47,5 тисяч освітян (43 тисячі вчителів і 4,5 тисячі керівників закладів освіти) авторами було проведене своє соціологічне дослідження. Анкетуванням було охоплено 208 студентів Луцького педагогічного коледжу та 94 учня Луцького вищого професійного училища будівництва та архітектури перших та других курсів навчання.

Анкета, яку підготували викладачі, складається із десяти запитань, до яких пропонувались для вибору студентами та учнями відповіді. Результати відповідей на кожне з них наводяться нижче.

1. Першим питанням анкетування автори намагались вивчити ступінь завантаження студентів та учнів навчальними предметами для вивчення. Кожен четвертий студент як Луцького педагогічного коледжу та так і учень Луцького вищого професійного училища будівництва та архітектури відмітили, що вивчали під час дистанційного навчання від 16 до 20 навчальних предметів. Однак, були і такі 5% студентів коледжу та 22% учнів училища, які виходили на зв'язок лише від одного до п'яти предметів. Жоден із учнів та студентів не вивчав більше 25 навчальних дисциплін. Переважна більшість студентів та учнів вивчали від 11 до 15 предметів.

2. На запитання: «Які ресурси та програми використовували під час навчання в режимі «викладач–студент» та «студент–викладач» 57% студентів коледжу та 93% учнів училища відповіли, що для передавання чи отримання інформації використовували електронну платформу GoogleCIassroom. Кожен третій студент коледжу та кожен п'ятий учень училища спікувались в Zoom. Рідше студенти коледжу всього 7% спілкувались через Viber, хоча 57% учнів училища для отримання і передачі інформації використовували цей сервіс. Хотілось би зазначити, що жоден студент та учень не використовував такий сервіс як Skype та лише по 2% студентів та учнів використовували Facebook (Messenger) і Telegram.

3. 47% студентів коледжу та лише 7% учнів училища не стикалися з труднощами під час навчання з використанням дистанційних технологій в умовах карантину. Слід зазначити, що лише у 8% студентів коледжу відсутня потрібна техніка вдома (комп'ютер чи ноутбук), тоді як серед учнів

© Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В

училища цей відсоток становить близько сорока. 8% студентів коледжу вказували в анкеті на відсутність необхідних навичок роботи з технікою та програмним забезпеченням, то серед учнів училища було 31%. Було складно підлаштуватись до занять у визначений час 7% студентам коледжу та майже кожному другому учню училища. Останні пояснювали такий стан зайнятістю домашнім господарством та роботами.

4. У відповідь на запитання: «Скільки часу на день в середньому у вас займала комунікація (спілкування) з викладачем», то кожен другий студент коледжу і кожен п'ятий учень училища написали від 30 хвилин до 1 години. Слід відмітити, що 6% студентів коледжу та 18% учнів училища не робили цього, тобто не спілкувались, пояснюючи відсутністю техніки чи Інтернету. Більше двох годинна спілкування з викладачем приділяли 24% студентів коледжу та лише 4% учнів училища.

5. Чи впливало негативно дистанційне навчання на рівень моїх знань, то 8% студентів коледжу і 13% учнів училища відповіло, що саме «так». Кожен другий студент коледжу та кожен третій учень училища сказали, що не вплинуло негативно на рівень їхніх знань. Решта студентів та учнів повідомляли про частковий вплив.

6. Кожен третій студент коледжу та кожен сьомий учень училища підтвердили, що дистанційне навчання позитивно вплинуло на рівень їхніх знань. 18% студентів та 21% учнів відмічало, що ніякого позитивного впливу не відчули, а решта частково відчували цей вплив.

7. Майже 20% студентів та 13% учнів відзначало, що дистанційне навчання ніяк не вплинуло на рівень їхніх знань. Кожен четвертий студент та кожен п'ятий учень училища повідомляли про протилежне твердження.

8. На запитання: «Чи подобається навчатись вдома?», половина студентів коледжу та 43% учнів училища відповіли позитивно. Кожному сьомому студенту коледжу та кожному четвертому учню училищу некомфортно навчатись вдома. Однак, 33% студентам та 31% учням подобається частково навчатись вдома.

9. Кожен п'ятий студент та кожен четвертий учень позитивно відповіли на запитання: «Чи не виникає у вас бажання повернутися до звичайних занять у навчальному закладі?». У майже половині як студентів так і учнів виникало таке бажання. 24% студентів та 28% учнів заперечили таке бажання, як повернення до навчання у навчальному закладі.

10. Майже кожен третій студент коледжу та кожен четвертий учень училища хотіли б скористатися можливістю перезарахувати (перездати офлайн) результати дистанційного навчання, які вивчалися на онлайн платформах. 35 % студентів коледжу та 29% учнів училища заперечують таку можливість. Але кожен третій студент і майже половина учнів можливо б скористувались цією нагодою.

Висновки. Понад 70% педагогів і 80% батьків вважають дистанційне навчання менш ефективним, ніж безпосереднє навчання у навчальному закладі. Про це йдеться в аналітичній довідці щодо організації дистанційного навчання в школах у 2020/21 навчальному році, створеній за результатами анонімного онлайн-анкетування учасників освітнього процесу.

Після проведеного дослідження, ми прийшли до таких висновків, що для ефективності освітнього процесу треба подолати проблеми дистанційного навчання, а саме – це брак досвіду як у окремих викладачів так і значної частини студентів та учнів щодо використання спеціальних навчальних програм та електронних платформ і відсутність досвіду щодо організації дистанційного навчання. На думку опитаних серед чинників, які найбільше впливають негативно на ефективне навчання із застосуванням інформаційних технологій, значна частина опитаних назвала обмежений доступ до інтернету, відсутність цифрових пристроїв і недостатню цифрову інфраструктуру як вдома так і в закладі освіти. Окрім того серед факторів, що впливають на недостатню якість дистанційного навчання, є низька мотивацію учнів та студентів.

Пропозиції.

1.Налагодження ефективної взаємодії всіх учасників освітнього процесу «викладач – студент», «студент – викладач». Бо як показало опитування не всі учні та студенти мають можливість вийти на зв'язок в Інтернеті, брати участь у відео-уроках, відео конференціях.

2.Технічне забезпечення як викладачів так і студентів та учнів, які в анкеті вказали на відсутність необхідної техніки вдома та на низьку швидкість інтернет-зв'язку. А це все в сукупності впливає на рівень знань студентів та учнів.

Список бібліографічного опису

© Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В

1. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0464-04#Text.Положення про дистанційне навчання, Наказ МОН № 40 від 21 січня 2004 року.
2. Станом на 2019 рік чинним є Положення, затверджене наказом МОН за № 466 від 24 квітня 2013 року.
3. Академія Хана - як зробити освіту цікавою та доступною? відео ресурс для навчання. *buki.com.ua*. Процитовано 2016-09-19.
4. Математика. Газета для вчителів математики. №9-10. 2020р.с 62-63.
5. Prometheus – масові безкоштовні онлайн-курси» Про проект. *prometheus.org.ua*.
6. https://web.archive.org/web/20171216140837/http://ukrintschool.org.ua/_old/ Архівовано 16 грудня 2017 у WaybackMachine. Курси Міжнародної української школи.
7. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1494-2003-%D0%BF#Text Про затвердження Програми розвитку системи дистанційного навчання на 2004-2006 роки], Кабінет Міністрів України.
8. https://don.kyivcity.gov.ua/files/2015/7/3/57.pdf. ПЕРЕЛІК навчальних закладів та суб'єктів господарювання, які отримали ліцензії на провадження освітньої діяльності, Департамент освіти і науки виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації).
9. https://mon.gov.ua/ua/npa/deyaki-pitannya-organizaciyi-distancijnogo-navchannya-zareyestrovano-v-ministerstvi-yusticiyi-ukrayini-94735224-vid-28-veresnya-2020-roku Деякі питання організації дистанційного навчання (зареєстровано в міністерстві юстиції України №941/35224 від 8 вересня 2020 року)], Міністерство освіти і науки України.
10. https://mon.gov.ua/ua/npa/shodo-organizaciyi-osvitnogo-procesu-v-zakladah-profesijnoyi-profesijno-tehnichnoyi-osviti-na-period-karantinu. Лист міністерства освіти та науки України 26 березня 2020р. №1/9-177. Щодо організації освітнього процесу в закладах професійної (професійно-технічної) освіти на період карантину.
11. http://uc.kr.ua/2020/04/21/niyakoyi-osvitnoyi-katastrofy-ne-stanetsya/.

References

1. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0464-04# Text. Regulations on distance learning, Order of the Ministry of Education and Science № 40 of January 21, 2004.
2. As of 2019, the Regulation approved by the order of the Ministry of Education and Science under № 466 of April 24, 2013 is valid.
3. Khan Academy - how to make education interesting and accessible? video resource for learning. buki.com.ua. Cited 2016-09-19.
4. Mathematics. Newspaper for math teachers. №9-10. 2020p 62-63.
5. Prometheus - mass free online courses »About the project. prometheus.org.ua.
6. https://web.archive.org/web/20171216140837/ http://ukrintschool.org.ua/old/ Archived December 16, 2017 in WaybackMachine. Courses of the International Ukrainian School.
7. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1494-2003-%D0%BF#Text On approval of the Distance Learning Development Program for 2004-2006], Cabinet of Ministers of Ukraine.
8. https://don.kyivcity.gov.ua/files/2015/7/3/57.pdf. LIST of educational institutions and business entities that have received licenses to conduct educational activities, the Department of Education and Science of the executive body of the Kyiv City Council (Kyiv City State Administration).
9. https://mon.gov.ua/ua/npa/deyaki-pitannya-organizaciyi-distancijnogo-navchannya-zareyestrovano-v-ministerstvi-yusticiyi-ukrayini-94735224-vid-28-veresnya-2020-roku Some questions of the organization distance learning (registered in the Ministry of Justice of Ukraine №941 / 35224 of September 8, 2020)], Ministry of Education and Science of Ukraine.
10. https://mon.gov.ua/ua/npa/shodo-organizaciyi-osvitnogo-procesu-v-zakladah-profesijnoyi-profesijno-tehnichnoyi-osviti-na-period-karantinu. Letter from the Ministry of Education and Science of Ukraine March 26, 2020 №1 / 9-177. Regarding the organization of the educational process in institutions of professional (vocational and technical) education for the period of quarantine.
11. http://uc.kr.ua/2020/04/21/niyakoyi-osvitnoyi-katastrofy-ne-stanetsya

© Корінчук Н.Ю., Бойчук М. Ф., Нарихнюк Н. Ю., Корінчук В.В

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-09
УДК 004.77; 004.3
Inessa Kulakovska, PhD of Physical and Mathematical Sciences
https://orcid.org/0000-0002-8432-1850
Andriy Satura, Master of Computer Science
http://orcid.org/0000-0002-7433-8464
Department of Intelligent Information Systems, Petro Mohyla Black Sea National University.

DESIGN OF A SUBSYSTEM FOR PLANNING AND OPTIMIZING THE BEHAVIOR OF STAND-ALONE DEVICES FOR SMART HOMES BASED ON DATA ANALYSIS

Inessa Kulakovska, Andriy Satura. Design of a subsystem for planning and optimizing the behavior of stand-alone devices for smart homes based on data analysis. The article describes purposes of Smart Home systems with some of their advantages and disadvantages. Found implementation trends of such systems in modern life, substantiated development relevance. Described general structure of Smart Home system, investigated modern approaches to implementation of Smart Home control systems. The article is dedicated to designing of Smart Home model. The authors analyzed literature about Internet of Things and identified basic requirements for the test model: connectivity, control, data analysis. Considered two of the key components: data base and system node. The authors singled out the main subsystems of the model: interfaces, sensors, heating control, water boiling control, device activity events monitoring and analyzing the date based on time series. The software implementation requires the use of modern lightweight technologies combined with secure data transfer and ease in use user interfaces.
Keywords: Smart home, Smart Technologies, Internet of Things, technology of management.

Інесса Кулаковська, Андрій Сатура. Проектування підсистеми для планування та оптимізації поведінки автономних пристроїв для розумних будинків на основі аналізу даних. У статті описано проектування систем розумного будинку з їх перевагами та недоліками. Оглянуто тенденції впровадження таких систем у сучасному житті, обгрунтовано актуальність розвитку. Описано загальну структуру системи Smart Home, досліджено сучасні підходи до впровадження систем управління Smart Home. Стаття присвячена проектуванню підсистеми моделі розумного будинку. Автори проаналізували літературу про Інтернет речей та визначили основні вимоги до тестової моделі: підключення, контроль, аналіз даних. Розглянуто два ключові компоненти: базу даних та системний вузол. Автори виділили основні підсистеми моделі: інтерфейси, датчики, контроль нагріву, контроль кипіння води, моніторинг подій активності пристрою та аналіз дати на основі часових рядів. Впровадження програмного забезпечення вимагає використання сучасних легких технологій у поєднанні з безпечною передачею даних та простотою користування користувальницькими інтерфейсами.
Ключові слова: розумний дім, розумні технології, інтернет речей, технологія управління.

Инесса Кулаковская, Андрей Сатура Проектирование подсистемы планирования и оптимизации поведения автономных устройств для умных домов на основе анализа данных. В статье описывается проектирование систем Умного дома с указанием их достоинств и недостатков. Рассмотрены направления внедрения таких систем в современную жизнь, обоснована актуальность разработки. Описана общая структура системы Умного дома, исследованы современные подходы к реализации систем управления Умным домом. Статья посвящена проектированию подсистемы модели Умного дома. Авторы проанализировали литературу об Интернете вещей и определили основные требования к тестовой модели: возможность подключения, контроль, анализ данных. Рассмотрены два ключевых компонента: база данных и системный узел. Авторы выделили основные подсистемы модели: интерфейсы, датчики, контроль нагрева, контроль кипения воды, мониторинг событий активности устройств и анализ даты на основе временных рядов. Программная реализация требует использования современных облегченных технологий в сочетании с безопасной передачей данных и простыми в использовании пользовательскими интерфейсами.
Ключевые слова: умный дом, умные технологии, интернет вещей, технологии управления.

Introduction

Throughout history, our homes have evolved with us. The peculiarity of the modern stage is the appearance of a large number of service equipment, the active introduction of innovative changes for humans, as digital technologies have changed the world around us, the Internet has destroyed the spatial boundaries for the dissemination of information. All this led to the inevitability of the concept of a smart home. Smart Home is usually described as living building where comfort, everyday activities, security and energy saving is controlled or supervised by smart devices and special software that are connected into the local shared network. It is considered that the very first definition to Smart Home was first formulated at the Washington Institute of Intelligent House and looks as follows: "smart home" is a building that provides productive and efficient use of workspace [1]. We can partially agree with this definition, bearing in mind that the functions and criteria of a "smart home" are constantly being reviewed and clarified.

Introducing more and more facilities using "smart home" systems, the community of manufacturers and integrators of these systems has clarified the concept of intelligent building. The basis of the concept is the principle of the most efficient use of space and its basic elements: structure, systems, services and

© І. Кулаковська, А. Сатура

management. This principle has become common to commercial and residential real estate, given the difference in the purpose of the objects [2].

Smart Home functionality

Modern systems based on wireless networks made it easier to install, configure and control Smart Home functionality, augment it with a wide variety of smart devices. Nowadays there are different types of systems for Smart Home control that provide ease of use. There are two types of Smart Home control: remote and local. The remote-control interfaces allow users to manage their smart devices and Smart Home systems from almost any location in the world via the Internet. At the same time, local-control interfaces mostly presented by single control unit installed somewhere in the building proving access to all the features from the one place (it could be software installed on personal computer or wall panel).

The scenarios developed during the research will not only provide a way to solve some problems, but also show the ways of future development of the system and its application on real examples. This will definitely make it easier for the user to work with such a system in the first steps, and the system will become more flexible and even smarter.

Nowadays, the question of training of the Smart Home systems is more relevant than ever. In the context of research, they can be filled by implementing STEM-projects, using Smart-technologies, exploring the possibilities of the Internet of Things [3].

Smart Home technology embodies all the above concepts. A "smart home" can be understood as a system that provides security and conservation of resources (including comfort) for all users. In case of an advanced system, it can be able to recognize and respond to specific situations that occur at home: one of the systems can control the behavior of others using pre-built algorithms. In addition, several subsystems are automated, which provide a synergistic effect for the whole complex [4].

Currently, there are companies that are actively implementing systems such as "smart home", which are able to self-learn, using data on the habits of the owner in everyday life, taking into account various factors. Typically, neural networks and regression models are used to construct patterns of behavior and further process them. Some systems allow you to set certain rules and restrictions, which increases the reliability and stability of their work.

Let us give base characteristics to modern Smart Home functions, such as energy efficiency, security, climate control, entertainment.

Basic principles

Advanced automated Smart Home systems let us use modern technologies to implement effective and reliable utilities for energy conservation. By integrating informational and communicational technologies in systems with renewable energy sources (like solar and wind power) Smart Homes can autonomously make decisions about conservation and usage of the energy which can decrease negative anthropogenic factors on the environment, effectively distribute energy between devices [4]. To do so it is required to use such systems that incorporate numerous sensors that react on external and internal factors and events, including household activities. Obviously, such systems must be based on appropriate software which also has to be designed and implemented correctly to meet the main requirements of efficiency and productivity.

Implementing of the efficient and high-performant system can prove relatively simple using technologies like .NET 5 which provides variety of power tools. The main advantage of using such a technology is in that all of the features are compatible while keeping lots of different stacks and directions covered: for Web API we can use ASP .NET, for training intelligent systems it is Microsoft ML, for mobile applications – Xamarin Forms etc. Also, it enables using different languages for implementing features you require. For instance, F# language is great at data analysis and prototyping while C# is useful in places where we do need high-performance or implementing code for client/server applications.

There is also great tooling provided by Microsoft Azure for IoT which provides the industry's widest portfolio of services and capabilities to help you perform tasks on the periphery and in the cloud, tailored to your needs and industry requirements. Implementing micro-services and applications for micro-devices is also available.

Given that, one should consider using these tools for implementing Smart Home systems for maximum efficiency. If there is any need for extra optimizations for applications written for microcomputers, it is possible to program such devices using C++ language but still keeping connections between single components intact which is possible to implement using language-agnostic data transfer and signaling protocols.

Subsystem for planning

Smart Home system is built of individual components that should be replaceable and somewhat autonomous. Given that, it can be logically separated in subsystems and device groups. The system

© І. Кулаковська, А. Сатура

components can be either logical or physical. The best way to connect them is to do so using low coupling principle which gives us possibility to replace any single element with another or to add new ones without making global changes.

Creating system with low coupling is possible due to implementing services and entities with the corresponding software and design techniques combined with abstracting from details. Such an approach could result in decreased overall performance of the system, especially when it is built over weak and badly optimized hardware or operating systems. But modern devices are capable of executing more instructions in combination with lower power consumption comparatively to previous device series hence it should not be a big deal.

Achieving high performance and better energy consumption efficiency of the Smart Home system itself is possible in case of using hardware and software provided by the same company or with full compatibility if different manufactures involved. It is known as so-called ecosystem, where protocols and components-wise compatibility takes place. Obviously, the software/hardware ecosystem has its pros and cons. As pros we can give as example high-quality and responsibility of the technical support team of the provider company, reliable and well-known brand name reinforced with years of experience on market. As about cons, it is sometimes about pricing, license terms, availability on the local market, restricted system extension and control over data or system itself.

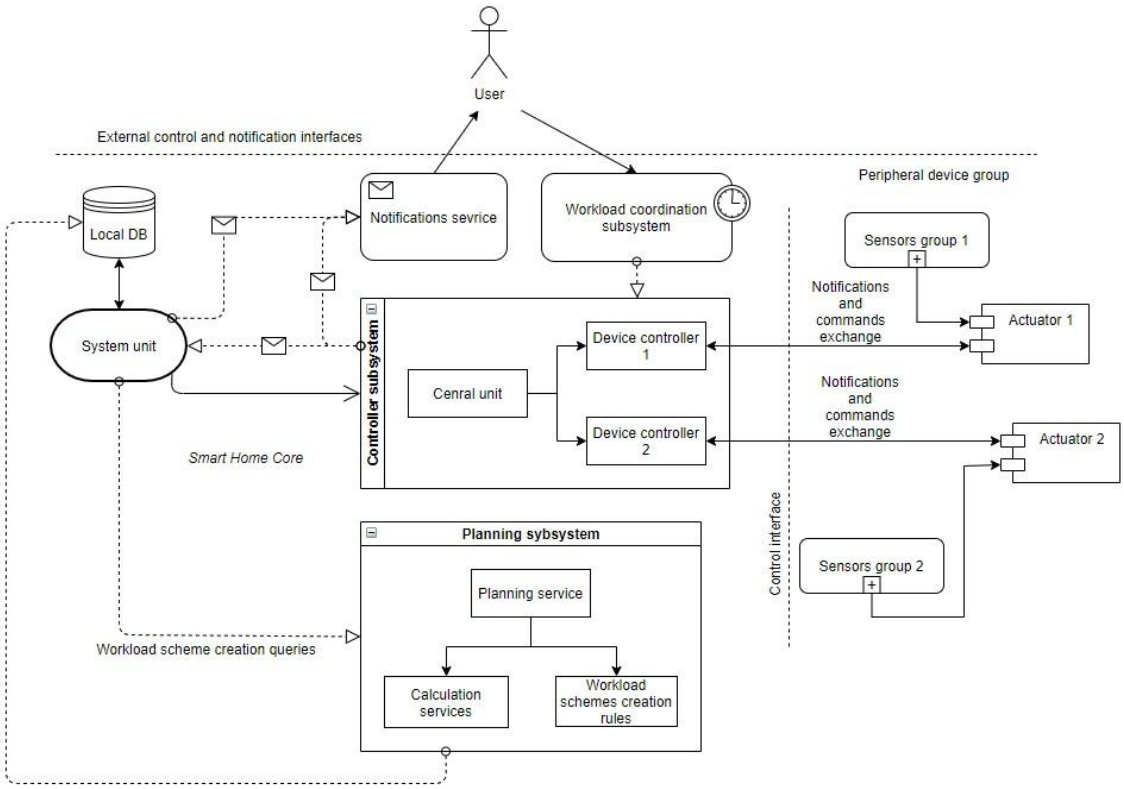


Figure 1. Hierarchical components structure scheme

If it is possible to extend the Smart Home system with additional components, one should consider integrating subsystems that analyze and manage devices' routines in specific manner. Such a subsystem can improve operation of the entire system by searching for dependencies and correlations between device activity, power consumption and specific productivity over time. Based on data analysis it could create and operate on basic behavior patterns for each one device or device group, which is useful in control subsystems configuration.

It is important to pay attention to the need for devices' routines coordination to provide optimal workload distribution in local power grid. Besides, considering activity increasing and decreasing periods during the day is also an important task for implementation. Having the information about such a time ranges it is possible to appoint execution of specific actions at specific time to make the whole system use resources in more effective way without other interrupting other processes. Such a

© І. Кулаковська, А. Сатура

task can be assigned to subsystem for planning and optimizing of devices operations in Smart Homes. The picture below shows the approximate structure of the Smart Home system extended with auxiliary subsystems and components. The system (Figure 1) has to be modular to make it possible to achieve the main goals. It is mandatory to make a decomposition of the whole system, breaking it down to separate autonomous blocks and adjust their interconnections step by step according to principles of clean architecture. This will make the system flexible and easily extensible, which in the long run provides an opportunity to augment it with new components or easily replace existing ones. Of course, a properly designed system will be fault-tolerant and protected from the threat of any criminal activity.

Hierarchically the system can be described as such:

1) External control and notifications interfaces.
   - Mobile devices (smartphones, tablets etc.).
   - Control panels.
2) System core.
   - Workload coordination subsystem.
   - Notification service.
   - Control subsystem.
     i. Central unit.
     ii. Virtual device controllers' group.
   - Planning subsystem.
     i. Planning service.
     ii. Calculation and analysis services.
     iii. Working schemes creation rules.
   - System unit.
   - Database.
3) Device control and monitoring interfaces.
4) Peripheral devices group.
   - Actuators.
   - Sensors.

The given structure is an example of what it might be in the real-world application and can be different from the actual implementation, including possible modifications for specific users according to their needs and possibilities. In this article we will cover only those components that are connected to subsystem for planning.

Application of the planning subsystem

Devices can be controlled and monitored using other devices such as control panels and smartphones. The first type of device is directly connected to the local network in which the system operates and allows you to directly control processes without any warries about external intervention. Smartphones should only be used to obtain basic information and possibly requests from the system that require prompt intervention by the owner.

The main task for the implementation of external interfaces for monitoring and management should be the security of private information. In particular, this can be achieved by severely limiting possible actions. The control panel will allow you to fully control the system, while inside the house in a secure place, blocked by password or biometrics (fingerprint scanner, face recognition, etc.), and without access to the WAN, which will protect it from outside burglary. At the same time, the control/notification interface for mobile devices should be as limited as possible and with several levels of protection, such as encryption and strong passwords, as there are many tools for hacking smartphones, as well as breaking into the communication channel. A separate system module must provide a secure external communication interface via the mobile phone, which in turn will check the traffic of incoming and outgoing information in order to block potentially dangerous signals or information leakage. Through these interfaces, the planning subsystem is able to notify the owner of various changes, provide reports on the work performed and provide basic statistical information.

Before moving on to the planning subsystem, we first briefly consider two key components: the database (DB) and the system node. The database obviously performs the task of storing information about various events in the system, collected information about devices and their activities, modes of operation and more. Such a database should be dedicated and secure, provide information or receive it only through secure interfaces. System node is the root of the layout, i.e., it acts as a basic component, through which the rest of

© І. Кулаковська, А. Сатура

the system kernel is initialized, control and message interfaces are transmitted to child services, the validity of operations is checked, registration and fault processing, etc.

The planning subsystem itself consists of several groups of independent components that communicate through certain communication interfaces. Calculation services include data analysis tools: noise and anomaly signal elimination, clustering and classification, evaluation of collected data models. Services of construction and optimization of operating modes and behavior of devices. Such services are represented by separate software units that connect to the subsystem for each type of device. For example, a library/software module/script package specializing in devices such as temperature sensors, electric heaters, etc. may be created for a heating system. Such a module is able to effectively adjust the routine of the heating system, taking into account their key features. In fact, the idea of designing and supplementing the planning subsystem with specialized modules for each type of device provides the extensibility and efficiency of such a system. The scheduling service itself is a root component of this subsystem and acts as an aggregator of data and processes, a container/controller of functional blocks. It is through its interfaces that the entire system is able to obtain the necessary information to regulate the routines of devices.

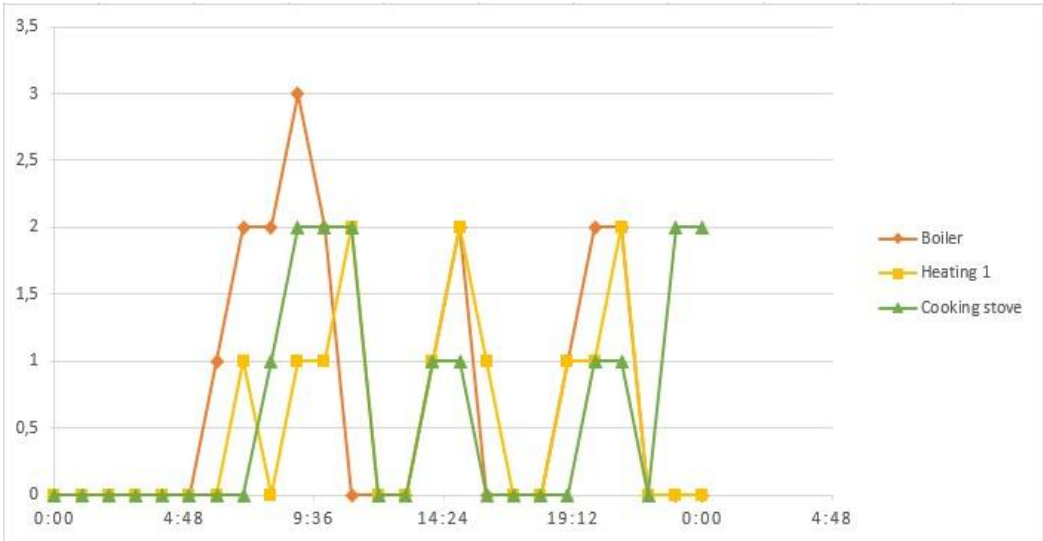


Figure 2. Device activities example

The principle of operation of the system (based on the planning subsystem) is as follows: based on the collected information about the activity of devices, external factors (such as weather conditions), external time information (working days, weekends, holidays, etc.) it forms a basic model of behavior, relationships various factors, etc.; the system assumes the role of coordinator of devices; user activity is constantly analyzed in order to improve the formation of device operating routines, identify patterns of behavior and more.

We can see an example (Figure 2) of collected data through the time on the picture below. Each device sends signals to the controllers, from there the signals are propagated to the system core. At that point, each signal is stored to the log (in data base) and also being provided to the planning subsystem if it is training stage running. Then, each signal is operated by the planning system, data analysis tools and so on. It is visually recognized that some devices has correlations in their activity thought the time of the day.

System working stages and data analysis

We can distinguish the following basic stages of the system.

Training. Approximately one calendar week, starting from the first day (Sunday or Monday, depending on the region) including weekends;

Configuring. Performed at the end of each working day during training, as well as at the end of the week, month, quarter during normal work. At this time, the analysis of the collected statistical information is performed, the operating modes are adjusted, the logs of events and failures are checked. After the completion of the first stage it is performed only in the hours of least activity in the house to avoid conflicts between data flows;

Normal operation. The basic minimum of information exchange is performed, data about device activity and indicators from external sensors are collected, the log of failures is kept. In this mode, the system tries to perform least interactions between components to save energy, especially during periods of activity.

© І. Кулаковська, А. Сатура

The mathematical formulation of the problem of studying individual factors and their relationships on the collected data is known as the problem of data analysis. This task includes the processes of studying, filtering out, transforming and modeling data in order to extract useful information, draw conclusions and to support decision-making. Data analysis includes many variations and approaches, covering a variety of techniques and used in business, science and the social sciences. Properly processed and analyzed data allow you to make a clear reflection of various phenomena and processes that can be used in the future in the formation of certain decisions, forecasts and more.

Data analysis includes utilities for filtering out redundant information, normalization of data, its transformation. In particular, a useful technique for processing statistical information is Dynamic Time Warping (DTW), which finds the optimal alignment between two time series [5]. DTW is used as a metric to establish the similarity of two data streams in the time space.

As for the data analysis for a Smart Home this technique can be useful because we are dealing with consistent data - events and states of devices that occur over time. Standard clustering methods are not able to work effectively with the data presented in time series (Figure 3). You must first convert such data, after which you can perform the necessary actions, including the actual clustering.

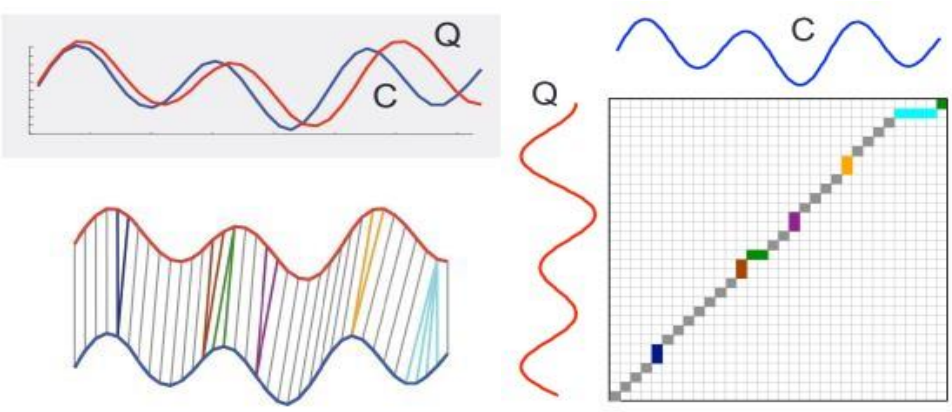


Figure 3. (a) Time series C and Q and the linked points in time by DTW.
(b) Minimum warping path W through the LCM of time series C and Q.

The figure above depicts that it is quite difficult to perform any data analysis on the initial representation of time series. Certain patterns and connections of events in individual series can be traced only visually, but with a noticeable shift. Whereas when comparing due to time warping, it is possible to trace areas where changes or similarities are clearly visible.

This method should be used when working with data in the time space. Because it will be exceedingly difficult for a computer program to process time data.

It is also planned to use software to generate source code that will be targeted to each individual unit of the system, thus achieving both high performance of components and their energy efficiency. After all, the use of software that is designed to execute certain instructions specific to a particular device, avoids unnecessary abstractions and CPU time. And this is a very important factor for microdevices, which are usually designed to consume little energy and are not able to perform complex operations in a short period of time.

Conclusions

With the increasing computing power of gadgets, many smart home technologies and the Internet of Things are becoming more manageable. The basic rules and recommendations for building a complex product at the level of systems and subsystems also applies for Smart Home systems, so the system as a whole and individual components were identified.

At the moment, there are not many solutions that would integrate all the details of "smart home" systems. That is, most projects focus on certain aspects of these systems. Namely, stand-alone devices that are not connected to the central control system, or large networks that include individual houses, mostly performing tasks for collecting large amounts of information and their further analysis. And often, consumers are limited to the use of devices from one company, part of a single, but closed, ecosystem or individual devices that interact poorly with each other.

The article describes the approach to design and implementation of a Smart Home management system and developed the principle of operation of the system (based on the planning subsystem), which is as follows: based on collected information about device activity, external factors (weather conditions), additional time

© І. Кулаковська, А. Сатура

information (days, weekends, holidays, etc.) constructing basic model of behavior, the relationship of various factors, etc.; the system assumes the role of coordinator of devices; user activity is constantly analyzed in order to improve the formation of device operating routines, identify patterns of behavior and more.

The results of the implementation can be used to create reliable and energy-efficient automated systems that are able to independently shape their own behavior, adapting to each user, which will make life easier and save time.

References

1. Model of Professional Retraining of Teachers Based on the Development of STEM Competencies. / N.Balyk, O. Barna, G. Shmyger, V. Oleksiuk. // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – P. 318–331.
2. Understanding user perceptions of privacy, and configuration challenges in home automation / K.Kaaz, A. Hoffer, M. Saeidi, A. Sarma. // Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing. – 2017. – P. 297–301.
3. Principles of smart home control. Lecture Notes in Computer Science / S.Davidoff, M. K. Lee, C. Yiu, J. Zimmerman. – 2016.
4. Oteafy, S.M.A., Hassanein, H.S.: Resource Re-use in Wireless Sensor Networks: Realizing a Synergetic Internet of Things. Journal of Communications 7(7), 484–493 (2012). doi:10.4304/jcm.7.7.484-493
5. Ameena Saad al-sumaiti. Smart Home Activities: A Literature Review / Ameena Saad al-sumaiti, Mohammed Hassan Ahmed, Magdy M. A. Salama. // Electric Power Components and Systems. – 2014. – P. 294–305.
6. Pjotr Roelofsen. Time series clustering / P. Roelofsen. // Vrije Universiteit Amsterdam, Faculty of Science. – 2018.

© І. Кулаковська, А. Сатура

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-10
УДК 51 – 005.31:519.8 + 004.04
Мамчич Тетяна Іванівна, к. ф.-м. н., доцент,
https://orcid.org/0000-0002-1934-1484
Ханін Олександр Григоррвич, к. ф.-м. н., доцент,
https://orcid.org/0000-0003-3472-9871
Мамчич І. Я., студент
Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМИ R З ПРИКЛАДОМ ОЦІНКИ ЙМОВІРНІСНОГО РОЗПОДІЛУ

Мамчич Т. І., Ханін О. Г., Мамчич І. Я. Розв'язок задач оптимізації засобами програми R з прикладом оцінки ймовірнісного розподілу. В роботі розглядаються можливості програми для задач оптимізації. Ця програма разом з асоційованими пакетами використана для виконання алгоритмів лінійної, квадратичної та нелінійної оптимізації. Головна увага зосереджена на обчисленнях для модифікованого методу оцінки розподілу ймовірностей. Пропонується ефективна обчислювальна технологія, придатна для широкого застосування.
Ключові слова: програма R, оптимізація, модифікований χ^2 метод, розподіл ймовірностей.

Мамчич Т. И., Ханин О. Г., Мамчич И. Я. Решение задач оптимизации средствами программы R с примером оценки вероятностного распределения. В роботе рассмотрены возможности программы для задач оптимизации. Эта программа вместе с ассоциированными пакетами использована для выполнения алгоритмов линейной, квадратичной и нелинейной оптимизации. Головное внимание сосредоточено на вычислениях для модифицированного метода оценки распределения вероятностей. Предлагается эффективная вычислительная технология для широкого применения.
Ключовые слова: программа R , оптимизация, модифицированний χ^2 метод, распределение вероятностей.

Mamchych T.I., Khanin O.G., Mamchych I.Ya. Solution of Optimization Problems using program R together with the example estimation of probabilities distribution. Possibilities of the program R for problems of optimization are considered in this paper. The program together with associated packages is used for performing algorithms of linear, quadratic and nonlinear optimization. The main attention is focused on calculating for modified χ^2 method for estimation of probabilities distribution. Here we introduce an effective computational technology available for wide practical application.
Keywords:: program R, optimization, modified χ^2 method, probabilities distribution.

Постановка проблеми. Методи оптимізації наявні у вигляді самостійних дисциплін або у складі більш загального курсу в освіті не тільки математиків. Для інформатиків, інженерів, фахівців економічного профілю, бізнес-аналітиків методи знаходження найкращих у певному сенсі рішень відносяться до пріоритетних завдань, що і відображається у присутності таких тем у навчальних дисциплінах. Вивчаються як аналітичні методи знаходження оптимумів, так і чисельні. Для виконання обчислень залучаються наявні комп'ютерні програми. Найчастіше це MS Excel або MatLab. Названі програми тільки частково задовільняють потреби навчальних та дослідницьких задач, оскільки в Excel обчислення надто громіздкі, а програма MatLab у більшості випадків відсутня. Тому є потреба в доступних обчислювальних інструментах.

Мета статті. Дослідження має методологічний характер і полягає у вивченні можливостей програми R для розробки ефективного обчислювального інструменту аналізу емпіричних даних.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Ця робота виконана в межах ширшого завдання, яке полягало у розробці ефективного обчислювального алгоритму для знаходження оцінки теоретичного розподілу ймовірностей для реалізації модифікованого методу Пірсона, запропонованого в попередніх роботах Ханіна О.Г. [1], [2]. В цих же роботах наводиться й приклад обчислення реальних даних за допомогою програми MS Excel. Обчислення в MS Excel є досить громіздкими, а запропонований математичний метод для широкого вжитку потребує зручних обчислювальних інструментів. З цією метою було вивчено можливості програми R.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування результатів дослідження. В даній роботі пропонується використовувати програму R з асоційованими пакетами "lpSolver", "quadprog" та "nloptr". Як програма R, так і вказані пакети є безкоштовними. Наведено приклади розв'язку задач лінійного програмування (LP), квадратичного програмування (QP) та задач нелінійного програмування.

© Мамчич Т. І., Ханін О. Г., Мамчич І. Я.

Задачу LP виконано за допомогою команди "lp" (lpSolver), в якій параметри цільової функції, обмежень-рівностей, обмежень-нерівностей задано окремими опціями. Координати оптимального значення отримуються за допомогою lp$solution.

Приклад 1. Знайти розв'язок задачі лінійного програмування: Max F = x + 2 y

3 x - 2 y >= - 4;
y <= 5;
x + 2 y <= 14;
2 x - y <= 8.

Виконання: код і результат виконання.

```
> library("lpSolve")
> f.obj= c(1,2)
> f.con=matrix(c(3, -2, 0, 1, 1, 2, 2, -1), nrow=4, byrow=TRUE)
> f.dir=c(">=","<=","<=")
> f.rhs=c(-4, 5, 14, 8)
> lp("max",f.obj,f.con,f.dir,f.rhs)
Success: the objective function is 14
> lp("max",f.obj,f.con,f.dir,f.rhs)$solution
[1] 6 4
```

Отже, f_{max} (6,4) = 14.

В задачі QP використано команду "solve.QP" (quadprog) з параметрами, де цільова функція має стандартне представлення у вигляді суми лінійної та квадратичної частини, а також лінійні обмеження представлено вектором коефіцієнтів.

Приклад 2. Знайти розв'язок задачі квадратичного програмування:

Min F = $x^2 + y^2 - 2x - 2y$ s.t. 2x - y >= -1; x - 3y >= -8; x + y <= 8; 2x - y <= 10.

Функція обчислює розв'язок задачі Min (- d^T b + ½ b^T D b) при умові A^T b >= b0.

Тому перед її застосуванням потрібно подати систему обмежень у формі

2x - y >= -1; x - 3y >= -8; - x - y >= - 8; - 2x + y >= -10.

Виконання: код і результат виконання.

```
> library("quadprog")
> Dmat=matrix(c(2,0,0,2),2,2)
> dvec=c(2,2)
> Amat=matrix(c(2,-1,1,-3,-1,-1,-2,1),2,4)
> bvec=c(-1, -8, -8, -10)
> solve.QP(Dmat, dvec, Amat, bvec=bvec)
$solution
[1] 1 1
$value
[1] -2
$unconstrained.solution
[1] 1 1
```

Отже, f_{min} (1,1) = -2.

В наведеному прикладі досліджуються задачі з галузі маркетингу. Кожен об'єкт представлено емпіричним розподілом частот. Такого типу дані досить типові при вивченні преференцій респондентів, коли робиться вибір серед запропонованих альтернатив. В модифікованому методі Пірсона ([1]) пропонується для кожного об'єкта знайти оцінку теоретичного розподілу ймовірностей як розв'язок задачі мінімізації, де цільовою функцією є величина хі-квадрат - відхилення емпіричного розподілу частот від деякого заданого (еталонного) розподілу, а система обмежень складається з умови p1 + p2 + ... + pm = 1 та умови потрапляння pi у відповідні довірчі інтервали, обчислені за емпіричними частотами для заданої надійності.

Для цієї задачі було використано пакет "nloptr". Ця функція обчислює локальний мінімум градієнтним чисельним методом. Алгоритм розрахунків для контролю виконано для тих же даних, що і в публікації [1]. Отримано результат, близький до наведеного попередньо, і навіть точніший.

Приклад 3.

Розмір еталонної вибірки: n = 283.

© Мамчич Т. І., Ханін О. Г., Мамчич І. Я.

Емпіричні частоти: vi = {34,103,24,90,14,18}.
Довірчі інтервали для p1, p2, ... , p6 :
(0.245; 0.313), (0.223;0.288), (0.084;0.130), (0.156;0.214),
(0.009; 0.029), (0.127; 0.181).
Задача полягає в мінімізації цільової функції:

X^2 (p1, p2, ... , p6) = ((34 - n*p1)^2/p1 + ((103 - n*p2)^2/p2 + ((24 - n*p3)^2/p3 + ((90 - n*p4)^2/p4 + ((14 - n*p5)^2/p5 + ((18 - n*p6)^2/p6)/n

при заданих обмеженнях:
p1 + p2 + p3 + p4 + p5 + p6 = 1; 0.245 <= p1 <= 0.313; 0.223 <= p2 <= 0.288;
0.084 <= p3 <= 0.130; 0.156 <= p4 <= 0.214; 0.009 <= p5 <= 0.029; 0.127 <= p6 <= 0.181.
Виконання: код скрипту і результат виконання:

```
n=681
v=c(34,103,24,90,14,18)
lb=c(0.245, 0.223, 0.084, 0.156, 0.009, 0.127)
ub=c(0.313,0.288,0.130,0.214,0.029,0.181)
eval_f=function(x){
    return( list("objective" = (1/n)*((v[1] - n*x[1])^2/x[1] + (v[2] - n*x[2])^2/x[2] +(v[3] - n*x[3])^2/x[3] + (v[4] - n*x[4])^2/x[4] + (v[5] - n*x[5])^2/x[5] + (v[6] - n*x[6])^2/x[6]),
            "gradient" = c(n - v[1]*v[1]/(n*x[1]*x[1]),
                           n - v[2]*v[2]/(n*x[2]*x[2]),
                           n - v[3]*v[3]/(n*x[3]*x[3]),
                           n - v[4]*v[4]/(n*x[4]*x[4]),
                           n - v[5]*v[5]/(n*x[5]*x[5]),
                           n - v[6]*v[6]/(n*x[6]*x[6]))))
}
eval_g_eq = function(x){
        constr = c(x[1]+x[2]+x[3]+x[4]+x[5]+x[6]-1)
        grad = c(1,1,1,1,1,1)
        return(list("constraints"=constr, "jacobian"=grad))
}
x0 = lb
local_opts = list("algorithm" = "NLOPT_LD_MMA",
            "xtol_rel" = 1.0e-7)
opts = list("algorithm" = "NLOPT_LD_AUGLAG",
        "xtol_rel" = 1.0e-7,
        "maxeval" = 1000,
        "local_opts" = local_opts)
res = nloptr(x0=x0,
        eval_f=eval_f,
        lb=lb,
        ub=ub,
        eval_g_eq=eval_g_eq,
        opts=opts)
print(res)
Optimal value of objective function:  253.992049817991
Optimal value of controls: 0.245 0.288 0.097 0.214 0.029 0.127
```

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Можливості розглянутих пакетів значно ширші, ніж це проілюстровано в наведених прикладах. "Nloptr" містить команди для реалізації методів як градієнтних, так і не пов'язаних з похідними, зокрема, методу множників Лагранжа (емуляція), оптимізації лінійними апроксимаціями, стохастичних методів пошуку, методів пошуку глобальних оптимумів, а також цілий набір допоміжних процедур ([4]).

З огляду на отримані результати, можна визнати, що програма R разом із асоційованими пакетами "lpSolve" та "nloptr" є ефективним інструментом вирішення задач оптимізації в реальних

© Мамчич Т. І., Ханін О. Г., Мамчич І. Я.

дослідженнях. Тому вважаємо доцільним використання цієї програми в навчанні другого (магістерського) та третього освітнього рівнів для фахівців різних спрямувань, а також широке її використання у практиці наукових досліджень. Особливо, зважаючи на доступність для використання цієї безкоштовної програми високого якісного рівня.

Запропонований метод для знаходження розподілу ймовірностей разом із розробленою технологією обчислень в R може використовуватись в аналізі даних. Розподіл частот отримують в дослідженнях у різних галузях – політології, соціології, маркетингу – всюди, де вивчають преференції респондентів щодо вибору серед заданих альтернатив. Оцінка розподілу ймовірностей є наступним логічним кроком.

Варто зазначити також метод контент-аналізу (Text Mining), де частоти є базовими даними, для якого викладені технології також можуть застосовуватись.

В сучасних дослідженнях, пов'язаних із класифікаціями, у всіляких алгоритмах штучного інтелекту деталі чисельних процедур є вагомим фактором застосовності. Тому можна вважати, що дана розробка є корисною, оскільки вона уможливлює практичне застосування методу.

У нашому дослідженні класифікація отриманих ймовірнісних розподілів є наступним логічним кроком. Розглядаючи знайдені розподіли як презентацію кожного об'єкта, можна встановлювати групи "подібних" методами кластерного аналізу, виявляти приховані фактори впливуабо ж розв'язувати інші задачі багатовимірного аналізу.

Список бібліографічного опису

1. Майборода Р.Є. (2019). Комп'ютерна статистика: Навчальний посібник. – К.:ВПЦ «Київський університет»
2. Ханін О.Г.(2015). Методологічні особливості застосування критерію узгодженості X2 в практичних задачах соціології, економіки та маркетингу. Економічний аналіз: зб. наук. праць Тернопільський національний економічний університет. Тернопіль. Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету "Економічна думка". 22, 1, 67 – 70.
3. Ханін О.Г. (2016). Метод X2 - кластеризації в задачах маркетингу. Економічний аналіз: зб. наук. праць Тернопільський національний економічний університет. Тернопіль. Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету "Економічна думка", 26, 38 – 42.
4. Berkelaar M. Package 'lpSolver', https://cran.r-project.org/web/packages/lpSolve/lpSolve.pdf [Accessed: May 18, 2021].
5. Turlach B., Weingessel A. Package 'quadprog', https://cran.r-project.org/web/packages/quadprog/quadprog.pdf [Accessed: May 18, 2021].
6. Johnson S.G. The NLopt nonlinear-optimization package.
7. https://cran.r-project.org/web/packages/nloptr/citation.html [Accessed: April 1, 2021]
8. K. Pearson. (1900). On the criterion that a given system of deviations from the probable in case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. Philosophical Magazine. 50, 157.

References

1. Maiboroda, R. E. (2016). Computer statistics. Textbook. Kyiv Taras Shevchenko National University
2. Khanin, O.G. (2015). Methodogical features of X2 consistency criteria in the practical problems of Sociology, Economics and Marketing. Economic analysis, 22, 1, 67 – 70.
3. Khanin,O.G. (2016). The method of X2 clustering in problems of Marketing. Economic analysis, 26, 1, 38 – 42.
4. Berkelaar M. Package 'lpSolver', https://cran.r-project.org/web/packages/lpSolve/lpSolve.pdf [Accessed: May 18, 2021].
5. Turlach B., Weingessel A. Package 'quadprog', https://cran.r-project.org/web/packages/quadprog/quadprog.pdf [Accessed: May 18, 2021].
6. Johnson S.G. The NLopt nonlinear-optimization package, https://cran.r-project.org/web/packages/nloptr/citation.html [Accessed: April 1, 2021].
7. K. Pearson. On the criterion that a given system of deviations from the probable in case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. Philosophical Magazine, 1900. 50, 157.

© Мамчич Т. І., Ханін О. Г., Мамчич І. Я.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-11
УДК 65.011.56
Макіна Людмила Миколаївна, ст. викладач
https://orcid.org/0000-0003-0735-0743
Троянчук Богдана Віталіївна, студентка
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ В БДЖІЛЬНИЦТВІ

Маркіна Л.М., Троянчук Б.В. Аналіз існуючих систем автоматизації в бджільництві. В статті розглянуто процес ручний процес бджільництва, існуючі на сьогодні системи автоматизації в даному напрямку та зроблені висновки.
Ключові слова: бджільництво, автоматизація, контролери, системи управління.

Маркина Л.Н., Троянчук Б.В. Анализ существующих систем автоматизации в пчеловодстве. В статье рассмотрен процесс ручной процесс пчеловодства, существующие сегодня системы автоматизации в данном направлении и сделаны выводы.
Ключевые слова: пчеловодство, автоматизация, контроллеры, системы управления.

Markina Lyudmila Mykolayivna., Troyanchuk Bohdana Vitaliivna. Analysis of existing automation systems in beekeeping. The article considers the process of manual beekeeping, the existing automation systems in this direction and draws conclusions.
Key words: beekeeping, automation, controllers, control systems.

Постановка наукової проблеми. В сучасному світі бджільництво займає вагоме місце. 95% бджолярів проводять відкачку меду вручну, що є енерговитратним та трудомістким процесом для людини. Ручне збирання призводить і до наступного ряду проблем:

- на ручне видалення меду витрачається приблизно 90% часу:
- витрати на будівництво приміщення для вуликів, віджимний пристрій і т.д.;
- вулик може бути пошкоджений в процесі збирання меду;
- турбування частки бджіл, внаслідок чого вони вмирають;
- виймання меду з вуликів здійснюється при сприятливих погодніх умовах;
- поява шкідників та хвороб.[1].

Аналіз досліджень та публікацій. У сфері бджолярства працюють багато винахідників та науковців, які роблять вагомий внесок, як процес так і удосконалення та полегшення збору меду: Седар та Стьюарт Андерсони з патентом «Штучний медовий стільник, вулик і система вуликів», Дронь Юрій Сільвестрович – «Багатокорпусний вулик», Скоромна О.І., Разанова О.П. - «Технологія виробництва продукції бджільництва: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів». Роботи та здобутки вчених доводять актуальність та важливість даної сфери діяльності.

Мета статті: розглянути методи автоматизації бджільництва. Дослідити оптимізування ручної технології збирання меду.

Постановка завдання:
- узагальнити правила ведення пасіки;
- обґрунтувати важливість параметрів утримування меду;
- продемонструвати етапи технології виробництва меду;
- статистично проаналізувати топ-виробників та експортерів меду у світі;
- виокремити характеристики якості меду;
- проаналізувати переваги та недоліки тих чи інших методів автоматизування;

Об'єкт дослідження: автоматизовані вулики, які вдосконалені датчиками.

Предмет дослідження: ефективність автоматизованих систем бджільництва.

Виклад основного матеріалу досліджень. Бджільництво розвивається за такими напрямами: медотоварний, запилювально-медовий, запилювальний (при вирощуванні культур закритого ґрунту), розплідницький (виведення маток і формування пакетів бджіл), комплексний. [2].

Пасіки – невелике бджільницьке господарство, що має земельну ділянку з розміщеними на ній тимчасовими або постійними виробничими будівлями. Пасіки можуть бути стаціонарними і кочовими. На пасіках утримують по 100-150 бджолиних сімей. Бджільницькі ферми – складаються з декількох пасік. До складу 24 ферми входять бджолині сім'ї, майстерні, зимівники, стільникосховища, складські приміщення та інші споруди.

Пасічницькі комплекси – великі бджільницькі ферми з високопродуктивною технологією виробництва і переробки продуктів бджільництва. Застосують ланковий метод обслуговування пасік,

© Троянчук Б.В., Маркіна Л.М.

механізацію основних пасічних робіт, систематичні перевезення бджіл, випуск продукції в розфасованому вигляді, організують спеціальні цехи з необхідним обладнанням.

Міжгосподарські підприємства з бджільництва організовують шляхом добровільного об'єднання господарствами пасік, а також частини своїх фінансів, трудових та інших матеріально-технічних ресурсів. Організовують переважно у межах одного адміністративного району; вони мають свою садибу, самостійний баланс і є юридичною особою.

Підприємство складається з пасік господарств-учасників та окремих цехів з виробництва вуликів, розфасовки меду і т. д. За виробничим напрямом пасіки розрізняють:

– медотоварні – призначені для одержання продуктів бджільництва (товарного меду, воску бджолиного, прополісу, маточного молочка, бджолиної отрути, бджолиного обніжжя);

– запилювально-медові, де бджоли використовуються для запилення садів, ягідників і ентомофільних сільськогосподарських культур і для виробництва меду;

– запилювальні – призначені для запилення бджолами культур закритого ґрунту (у теплицях, парниках тощо);

– репродуктивні (розплідники) – для відтворення бджіл (виведення бджоломаток, виробництва пакетів бджіл і збору маточного молочка);

– племінні – для розмноження, поліпшення і виведення бджіл певної породи, зберігання генофонду бджіл, виведення племінних бджоломаток, виробництва пакетів бджіл і збору маточного молочка;

– карантинні – для витримування бджіл у карантині.

Між рядами має бути проїзд для транспортних засобів шириною 4-6 м. Інтервал між вуликами у рядах 2-4 м. Вулики розміщують на площі з рахунку 20-40 $м^2$ на одну бджолину сім'ю і обов'язково фарбують. Бажаними є синій, жовтий та білий кольори. З боку панівних вітрів вирощують високі дерева, а на всій пасіці – плодові та ягідні культури, які створюють затінок для вуликів опівдні, а також використовуються бджолами як орієнтири, щоб не було зльотів. Вулики розміщують задньою чи боковою стінкою до панівного вітру, щоб мінімізувати його вплив на мікроклімат бджолиного гнізда. Напрям льотків вуликів південний, південно-східний, південно-західний. Вулики також бажано розміщувати з невеликим нахилом – 2-300 на передню стінку, з метою зменшення потрапляння у середину вулика дощу та снігу, а також кращого видалення з нього талого снігу і мертвих бджіл самими бджолами. Вулики розміщують на підставці (металеві рами, дерев'яні стовбці та ін.), висота якої повинна бути у межах 30-40 см. Пасіки можуть бути стаціонарними (100-120 бджолиних сімей) і кочовими. Для пасічного точка не можна обирати місце на трасі льоту бджіл з інших пасік і не створювати такої перешкоди для сусідніх. Вранішня тінь затримує початок льотної роботи сімей, тому 26 вибирають місце, яке вже з досвітку обігрівається сонцем, а вдень затінюється кроною дерев.

Територія пасіки також повинна бути огородженою (висота огорожі 2 м), мати невеликий нахил, з метою усунення застоювання опадів. На території пасіки повинні бути приміщення для переробки воскової сировини, зберігання продукції, тари й матеріалів, для виготовлення та ремонту вуликів, можлива наявність будинку пасічника, зимівника для бджіл, приміщення для відкачування меду, приміщення для зберігання стільників та контрольний вулик. Не бажано розміщувати пасіку біля високовольтних ліній електропередач (100 м), житлових приміщень, дитячих садків та шкіл (100 м), корівників (300 м), свинарників (500-800 м). [3].

Зимою у бджолянику підтримують параметри мікроклімату, температура у гнізді +24-28°С, відносна вологість 74-80%, вміст кисню 12-14%, вуглекислоти до 3-4%. Навесні сім'ї бджіл виносять із зимівника для обльоту при зовнішній температурі повітря не нижче 12°С. Температура повітря у гнізді 282 повинна бути 24-26°С, відносна вологість 72-85%, вміст кисню 15-17%, вуглекислоти 1,7-2,3%.[4]. Всі ці параметри важливі для подальшого існування бджіл та кращих показників збору меду.

Одержання відцентрованого меду здійснюється наступним чином:

- ✓ відбирання стільників із вулика, розпечатування стільників за допомогою пасічницького ножа,
- ✓ відкачування меду стільників за допомогою медогонки,
- ✓ зливання меду у ємкості, проціджування або фільтрування,
- ✓ відстоювання за температурою 20°С, розливання у тару, пакування.

За статистикою бази даних «NationMaster» топ-5 країн з виробництва натурального меду в 2019 році: на 1 місці – Китай (497,286 тонн), 2-ому – Туреччина (117,044 тонн), 3-ьому – Іран (78,553 тонн), 4-ому – Аргентина (78,188) , 5 - Україна (69,491 тонн).

За статистичними даними «World's Top Exports» топ-5 країн експортерів меду за 2019 рік: на 1 місці – Китай (11,8% експортованого натурального меду, 253,3 млн.дол.США), 2-ому – Нова

© Троянчук Б.В., Маркіна Л.М.

Зеландія (11,5%, 228,8 млн.дол.), 3-ьому – Аргентина (7,4%, 146,7 млн.дол.), 4-ому – Німеччина (6,6%, 131,5 млн.дол.) , 5 - Україна (5,7%, 113,3 млн.дол.).

Бджолиний мед містить багато цукрів, зольних елементів, ферментів, органічних кислот, азотистих сполук, вітамінів, ароматичних, біологічно активних та інших речовин у складі сухої речовини. Вміст їх становить 4/5 загальної маси меду. Водність більшості сортів зрілого меду становить близько 18 % , проте залежно від місцевості його збирання вона часто коливається від 15 до 21 % . Незрілий мед містить води 22 % і більше.

Високоякісні сорти меду містять близько 75 % простих цукрів (глюкози, як правило, близько 35 % , фруктози 40 %). Співвідношення їх визначає фізичні якості меду: при збільшенні вмісту глюкози підвищується його кристалізаційна здатність, а при збільшенні вмісту фруктози він стає солодшим на смак і більш гігроскопічним.

Сахарози в зрілому меді дуже мало — в середньому від 1,3 до 5 % . Вміст азотистих сполук у меді становить у середньому 0,4 % . Мінеральних речовин (золи) у меді в середньому 0,17 %. Якісний мед містить інвертазу, амілазу, каталазу, пероксидазу та інші ферменти. Для оцінки якості меду визначають його діастазне число, яке у більшості сортів меду, за даними Української дослідної станції бджільництва, становить 11,5—25. [2].

У зв'язку з розвитком науково-технічного прогресу, що передбачає впровадження у всі сфери діяльності засобів автоматизації та цифрових технологій, не оминуло це бджолярство. В ході дослідження даного виду господарства були виявлені проблеми, які саме можна вирішити за допомогою використання різноманітних датчиків та мікроконтролерів. Під автоматизацією розуміють проведення тих чи інших операцій без участі людини або з обмеженою її участю.[5]. На сьогоднішній день вже відомі системи автоматизації вуликів та бджільництва загалом., серед яких [6,7,8,9]:

1. В університеті Панамерикана. Факультет Інженерії. Августо Роден, Едуардо Лопес-Тагле, Едуардо Сікейрос, Хірам Понсе запропонували електронний вулик, який автоматично збирає мед, регулює температуру всередині вулика і розподіляє їжу для бджіл.

У роботі автори досліджують і вивчають поведінку медоносних бджіл. Зокрема, вони вели відеоспостереження та визначали закономірності бджіл. Розробили бездротову сенсорну мережу для контролю вуликів всередині та зовні, і встановили, що міграція бджіл обумовлена зміною температури всередині вуликів. Обстежили різні раніше здійснені методи моніторингу, такі як: вимірювання температури, вологості та газів, а також звук, вібрація та відео. Отже, стабільні значення температури є найбільш оптимальними умовами для бджіл.

Седар та Стьюарт Андерсони сконструювали штучний стільник, який дозволяє видаляти мед, не виймаючи стільник з вулика. У цьому патенті розглядаються рухомі клітини, які дефазують стільник, тому мед стікає вниз. Перевагою є безпечність для бджіл, однак, недоліком є те, що він ручний, адже до нього не прикріплені електронні пристрої.

Запропоновано, щоб вулик мав три компоненти: стільник, в якому бджоли виробляють мед, контейнер для зберігання, призначений для автоматизації харчових ресурсів, та електронний модуль, що містить всю електроніку та комп'ютер пристроїв.

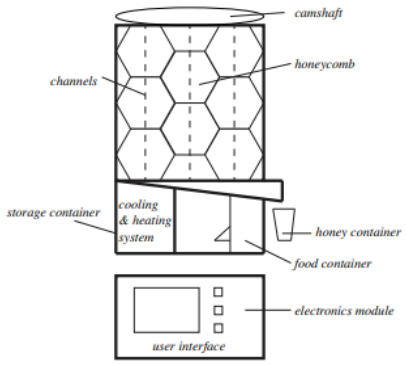


Рисунок 1. Схема розумного вулика.

На рисунку 1 представлена схема запропонованого автоматизованого вулика.

Стільник - це сітка, створена на основі штучного стільника [6], сітка складається з каналів, які можуть рухатись вгору та вниз для фазування та дефазації порожнин сітки. Ці канали автоматизовані за допомогою механізму у верхній частині сітки (рис. 1).

© Троянчук Б.В., Маркіна Л.М.

Кожен канал прикріплений до розподільного валу, який обертається залежно від приводу. Коли сітка дефазована, видобуток меду відбувається самопливом, а також ця процедура нешкідлива для бджіл. Важливо зауважити, що як тільки мед потрапляє на дно стільника, він потрапляє в один канал, який прямує безпосередньо до контейнера для меду. Цей контейнер також автоматизований за допомогою датчиків.

У верхній частині контейнера прикріплений один датчик, який автоматично визначає, чи ємність заповнена. Коли настає остання умова, сітка закривається, тому мед перестає стікати вниз. Також встановлюється сигнал тривоги, який повідомляє пасічнику про те, що ємність з медом заповнена і готова до зміни.

З іншого боку, стільник забезпечений системою регулювання температури. Він складається з датчика температури, системи охолодження, системи опалення та мікроконтролера. Система контролю спрямована на регулювання внутрішньої температури стільникового середовища між 25 ° C і 30 ° C, на основі досліджень, пов'язаних з температурними умовами, про які повідомляється в [7]. Контролер запускає систему охолодження та зупиняє систему опалення, коли досягається верхня гранична контрольна температура.

Контейнер для зберігання є обмеженим доступом для бджіл, який розділений на дві секції. Перший розділ розглядає обладнання для температурної системи, а другий розділ передбачає продовольчі ресурси для бджіл, коли це потрібно.

По-перше, щоб системи охолодження та опалення не впливали на структуру бджіл, ці системи розташовані з одного боку контейнера для зберігання. Тепловий вплив цих систем непрямий, тому бджоли ніколи не контактують з ними.

По-друге, якщо цикли врожаю не є регулярними (тобто відсутні продовольчі ресурси), тоді контейнер для зберігання відкривається для бджіл. Вони можуть подорожувати з стільників до цієї ємності. На стороні харчових ресурсів контейнера автоматизований клапан забезпечує достатню кількість їжі для бджіл.

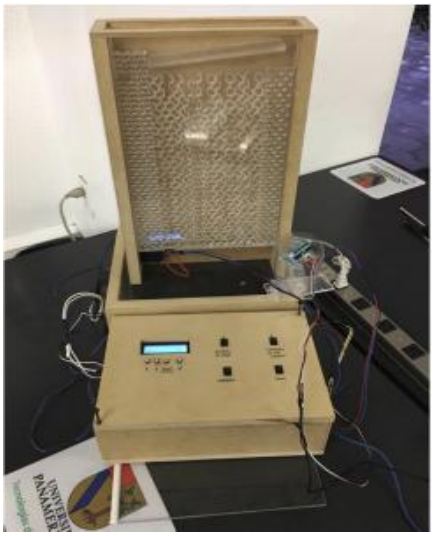


Рисунок 2. Реалізація прототипу автоматизованого вулика.

Впровадження прототипу. Для підтвердження пропозиції було розроблено функціональний прототип, як показано на рис.2. Це масштабований прототип, і для політики щодо тварин на даному етапі проекту бджоли не розглядалися. Для соти виготовили одну рамку (замість звичайних 10 рам), щоб довести дефазацію сітки. Для системи регулювання температури система опалення була реалізована з підсвічуванням, а система охолодження - з невеликим вентилятором, а використовувався датчик температури LM35. Рис.2. Прототип реалізації автоматизованого вулика. для цілей моніторингу.

© Троянчук Б.В., Маркіна Л.М.

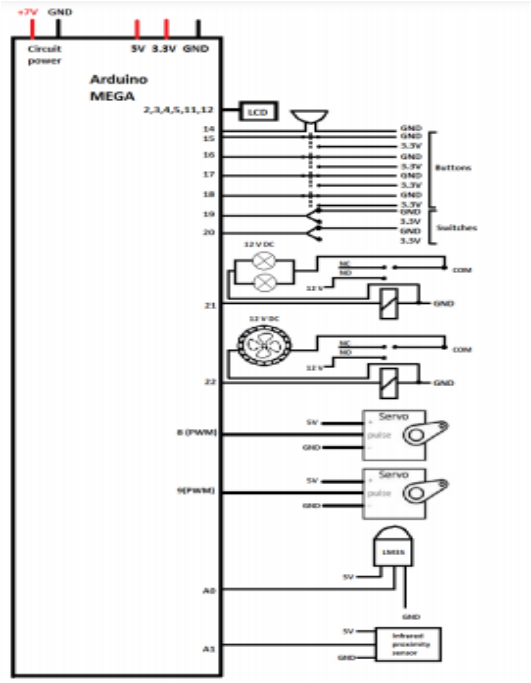


Рисунок 3. Схема електричної та електронної системи автоматизованого вулика.

Як мікроконтролер повної системи використовувався Arduino MEGA. Електрична та електронна система автоматизованого вулика показана на рис.3.

Як зазначалося, користувальницький інтерфейс був реалізований за допомогою ПК-дисплея, матриці кнопок та перемикачів. Цей інтерфейс має на меті вибрати температурний режим і вручну увімкнути / вимкнути світло та вентилятор.

Крім того, дві лампочки, що використовуються для системи опалення та невеликий вентилятор для системи охолодження. Також були підключені два датчики: датчик температури LM35 та інфрачервоний датчик наближення Sharp GP2D12 для вимірювання рівня меду в контейнері. Два серводвигуни були прикріплені до плати Arduino для управління розподільним валом стільника та доступу до продовольчих ресурсів у контейнері для зберігання.

2. На I Міжнародній науково-практичній конференції з бджільництва, апітерапії та медоваріння: «Сучасне бджільництво: проблеми та глобальні виклики» Нєдов Роман, мешканець міста Дніпро, представився програмістом, а не бджолярем. Він розповів про свою ідею - «Автоматизацію контролю за вагою пасіки». Для наочності продемонстрував електронні ваги у вигляді прямокутної дошки зі чотирма датчиками по кутам, живлення подається від акумулятора (без додаткового живл. працює до двох тижнів). Прилад знімає показання ваги з вулика. Кожен датчик розрахований на 50 кг, всього можливо зважити 200 кг, допустима похибка ± 25 грам. До датчиків підключається блок мікроелектроніки на 5 В. Додається GSM (фр. *Groupe Spécial Mobile*) модуль, яка має змогу відправляти зібрані дані (наприклад: вагу, температуру, вологість) на телефон у виді повідомлення. Роман підкреслив, що є додаткові переваги: по-перше: датчик можна поставити на контроль верхньої кришки, по-друге: додати модуль GPS (англ. *Global Positioning System*) та передавати координати розташування пасіки, в разі її переміщення.

Контроль за вагою предстає перед користувачами сигналізацією при різкій змінні ваги, яка увідомляє повідомленням на смартфоні. Створений веб-сайт, в якому пасічник вводить логін та пароль на якому є всі дані з датчиків, параметри можна змінювати (частота оновлення даних).
Після викачування меду в сезон, пасіка переходить на зимування. Під час якої, необхідний більший контроль за показниками, а також відстеження рою. В якій частині вулика температура тепліша чи холодніша, і в яку сторону його розвернути.[8].

3.Автоматизація електропривода медогонки з двигуном постійного струму. В сучасних умовах господарювання у 95% випадків бджолярі здійснюють відкачку меду з використанням власної фізичної сили для приводу медогонки. Існуючі електроприводи медогонок неефективні і призводять до неякісного відкачування меду.

Вибираємо центрифугу «Медогонка РЕП» на чотири рамки, з оборотно-хордовими касетами, ремінним приводом та баком з нержавіючої сталі. Визначаємо фізико-хімічні параметри меду для подальшого визначення динамічних характеристик і нижньої межі діапазону регулювання частоти

© Троянчук Б.В., Маркіна Л.М.

обертання (температуру, вологість, в'язкість). Для меду вологістю 18,5% і температура 30°С встановлені наступні діапазони частот обертання по етапах: 1-ий – від 80 до 90 об/хв; 2-ий – від 100 до 120 об/хв; 3-ий – від 160 до 180 об/хв. Для 4-х рамкової медогонки з нержавіючої сталі та автоматичними рамками «Дадан» процес відкачування меду за вибраною медогонкою відбувається в три етапи. 1-ий – відкачування, на малій швидкості першої сторони рамки, через заданий проміжок часу двигун зупиняється, вмикається реверс, касети повертаються; 2-ий – відкачування з другої сторони рамки, спочатку на малій швидкості, а потім без зупинки на високій, зупинка; 3-ій – вмикається реверс, касети перевертаються для відкачування решти меду та повної осушки першої сторони на високій швидкості. Двигун зупиняється за допомогою динамічного гальмування.

На кафедрі автоматизованих електромеханічних систем була розроблена електрична схема керування електроприводом медогонки з двигуном постійного струму, яка передбачає ручний та автоматичний режим роботи. [9].

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Після проведеного огляду існуючих систем автоматизації, можна зробити наступні висновки:

1. Два перших рішення реалізовують автоматизацію безпосередньо вуликів, які мають наступні переваг: контролювати параметри мікроклімату можна буквально з телефону, відсутній контакт з вуликами, зменшення втрат бджіл, а також вартість контролера, який забезпечує функціонування даних систем автоматизації, що теж відіграє важливу роль при масовому використанні.
2. Третій варіант автоматизації демонструє способу керування електроприводом центрифуги, що підвищує продуктивність пасіки та зменшує ймовірність пошкодження рамки.

Кожна система автоматизації також має і недоліки: догляд за станом датчиків, терміни придатності та точність виміру, не компетентність людини, яка контролює процес. Врахувавши всі переваги та недоліки існуючих систем автоматизації ми прийшли до висновку, що для забезпечення ефективної роботи та збільшення продуктивності пасіки, необхідно розробити таку систему керування, яка б компенсувала всі недоліки розглянутих систем з застосуванням більш нових методів, а саме елементи нечіткої логіки. Даний напрямок дозволить більш детально проаналізувати, дослідити та усунути наявні проблеми.

Список бібліографічного опису:

1. UA 111009, МПК (2016.01), A01K 47/04 (2006.01). Штучний медовий стільник, вулик і система вуликів. Публікація відомостей про видачу патенту: 10.03.2016, Бюл.№ 5
2. Мегедь О.Г., Поліщук В.П. Бджільництво. К.: Вища школа. 1987. 336 с., ст.302, ст.185-186.
3. Скоромна О.І., Разанова О.П. Технологія виробництва продукції бджільництва: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Вінниця, 2020. 408 с., ст.23-26.
4. Інструкція щодо попередження та ліквідації хвороб і отруєнь бджіл розроблена відповідно до статті 12 Закону України "Про ветеринарну медицину", Закону України "Про бджільництво", Положення про Державний департамент ветеринарної медицини, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 1997 року № 1277 п.2.
5. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник.-К.:Либідь, 1997.-544с. ст.5.
6. Лисиченко М.Л., Хандола Ю.М., Середа А.І., Назаренко О.Ю. Автоматизація електропривода медогонки з двигуном постійного струму. Науковий вісник ТДАТУ. Харків: В7, Т1. ст.23-29 .

References.

1. C. Anderson and S. Anderson, "Apiculture (us patent)," USPatent Number 20140370781 A1, Application, 2014.
2. D. S. Kridi, C. G. N. de Carvalho, and D. G. Gomes, "Appli-cation of wireless sensor networks for beehive monitoring andin-hive thermal patterns detection," Computers and Electronicsin Agriculture, vol. 127, no. 2016, pp. 221 – 235, 2016.
3. You-tube канал: Intelligent BEEKEEPER https://www.youtube.com/watch?v=2O2CKEDRsVQ&t=5s.

© Троянчук Б.В., Маркіна Л.М.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-12
УДК: 004.05
[1]**Мельник Василь Михайлович,** к. фіз.-мат.н., доцент
https://orcid.org/0000-0001-8282-6639
[2]**Тарасенко Артем Валерійович**
https://orcid.org/0000-0003-4395-3605
[1]**Чернящук Наталія Леонідівна**, д.п.н., професор
https://orcid.org/0000-0002-7962-2181
[1]**Мельник Катерина Вікторівна**, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-9991-582X
[3]**Чухрій Софія Степанівна**, співробітник компанії ТзОВ «Візор-МАК»
[1]Луцький національний технічний університет,
[2]Національний університет "Чернігівська політехніка",
[3]ТзОВ «Візор-МАК».

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РОЗКЛАДУ РУХУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В. Автоматизована система розкладу руху громадського транспорту. В даній роботі змодельовано, створено та реалізовано програмно-технічний комплекс автоматизованого розкладу руху громадського транспорту, розрахованого на українське місто з численністю населення в 200 тис. населення. На основі моделі створений спеціальний програмний додаток для автоматизованої побудови розкладу руху, включаючи всі маршрути та всі рейси виїзду в межах одного маршруту, з урахуванням зовнішніх та внутрішніх параметрів впливу на їх рух в різних ділянках маршруту, добових часових проміжках, з урахуванням пір року, робочого та вихідного днів і інших. В ході реалізації програмно-технічного комплексу в декількох обласних центрах доведено достовірність отриманих розкладів, рентабельну завантаженість маршрутних транспортних засобів, можливість моніторингу руху, реального графіка та ведення історії маршрутів.
Ключові слова: Громадський транспорт, автоматизований графік руху, моніторинг руху, програмно-технічний комплекс.

Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрий С.С., Мельник К.В. Автоматизированная система расписания движения общественного транспорта. В данной работе смоделирован, создан и реализован программно-технический комплекс автоматизированного расписания движения общественного транспорта, рассчитанного на украинский город с численностью населения в 200 тис. населения На основании модели создано специальное программное приложение для автоматизированного построения расписания движения, включая все маршруты и все рейсы выезда в пределах одного маршрута, с учетом внешних и внутренних параметров влияния на их движение в разных участках маршрута, суточных временных промежутках, с учетом времен года, рабочего и выходного дня и других. В ходе реализации программно-технического комплекса нескольких областных центрах доказано достоверность полученных расписаний, рентабельную загруженность маршрутных транспортных средств, возможность мониторинга движения, реального графика и ведение истории маршрутов.
Ключевые слова: Общественный транспорт, автоматизированный график движения, мониторинг движения, програмно-технический комплекс.

Melnyk V., Tarasenko A., Cherniashchuk N., Chukhrii S., Melnyk K. Automated public transport timetable system. In this work, a software and hardware complex for an automated timetable for public transport is modeled, created and implemented for a Ukrainian city with a population of 200 thousand. Based on the model, a special software application was created for an automated timetable construction, including all routes and all departures within the same route, taking into account the external and internal influence parameters on their movement in different sections of the route, daily time intervals, with taking into account the seasons, working days and weekends etc. During the software and hardware complex implementation in several regional centers, there were revealed the reliability of the received schedules, the cost-effective workload of route vehicles, the ability to monitor traffic, the real schedule and the history of routes.
Keywords: Public transport, automated traffic schedule, traffic monitoring, software and hardware complex.

Вступ

В наш час розробка і впровадження смарт-проектів для надання послуг соціального характеру є досить актуальними і займають з практичної точки зору одну із найактуальніших позицій громадського життя. Подібні електронні системи та механізми швидкісного обміну даними для надання різноманітних соціальних послуг та сервісів активно розробляються та досліджуються. Програмно-технічні комплекси таких систем беруть в основу аналіз даних та їх обробку в хмарі [1-3] з застосуванням високошвидкісних сокетів, та механізмів швидкісного обміну повідомленнями. Це стосується області медицини, науки, електронних виробничих систем, систем соціальних послуг і інших сфер. Подібні програмні проекти можуть поширюватися і на транспортну сферу обслуговування, зокрема, на шляхові листи, відслідковування та маршрутизацію транспорту, моніторинг маршрутів, тощо.

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

В країнах ближнього зарубіжжя вже впроваджені і діють проекти [4], які зазнають удосконалень та різного типу модифікацій. Сьогодні у містах України також впроваджені де-які вітчизняні транспортні системи та програмно-технічні комплекси [5-7]. Проте, слід зауважити, що діючі проекти є нестійкими збоку впливу зовнішніх факторів транспортного руху, частих збоїв, недостатньо передбачених параметрів комунікації, а інколи і додають втому та розчарування і самим користувачам. Недоліками здебільшого стають невдалі часові прорахунки, неврахування зовнішніх факторів впливу на активну роботу програмних додатків, зовнішні вторгнення чи недостатньо передбачені технічні сторони проекту, які можуть призводити аж до збоїв в їх роботі.

Однією із розроблених програмно-технічних систем для громадського транспорту є проект «Розклад руху», який і пропонується в даній роботі. В даному проекті розроблені програмні модулі, які створюють сукупність графіків руху громадського транспорту в межах одного маршруту, а також виконують це завдання за всіма можливими визначеними маршрутами в рамках визначеного регіону. Багато уваги в проекті приділяється програмному модулю, який відслідковує відомості про час і послідовність виконання кожного рейсу в межах одного і того ж маршруту, з урахуванням основних параметрів впливу під час переміщення транспортного засобу (ТЗ) від місця відправлення до місця призначення за заздалегідь визначеним маршрутом та чітко встановленим розкладом, а також враховує можливі впливи зовнішніх факторів добового проміжку часу виконання руху по місту. Як відомо, на маршруті існують часові точки (ЧТ), роль яких відіграють зупинки з вказанням часу прибуття/відправлення громадського транспорту в рамках графіку руху за заданим маршрутом. Програмні розрахунки повинні враховувати також і *оборотний рейс* за наміченим маршрутом [8], тобто рух транспорту від початкової до кінцевої зупинки та у зворотному напрямку з поверненням до початкової його зупинки.

Огляд та недоліки діючих систем розкладу руху

Вже сьогодні стає досить зрозумілим, що старі листи та розклади графіків руху (рис. 1), які ще використовують багато водіїв громадського транспорту в межах країни, приносять труднощі під час інтенсивного трафіку, який повинен відслідкувати свій визначений графік на паперовому носії інформації. Інколи це не тільки не сучасно чи вкрай незручно, але і небезпечно, що може стати підставою чи явно спричинити дорожньо-транспортну пригоду.

Рис. 1 – Вигляд екземплярів застарілих графіків руху пасажирського транспорту в одному з обласних центрів, виданих на руки водіям

З іншого боку, транспортний департамент як замовнику перевезень з кількістю жителів середнього українського міста з показником населення в 200 тис. та кількістю діючих одиниць громадського транспорту – 300 автобусів/тролейбусів, повинен створити і видати біля 300 графіків руху на робочі дні та ще таку ж суму – 300 графіків на вихідні дні. Крім того, таких 600 графіків потрібно створити на кожен сезон року, тобто для літнього (відпускного) періоду, осіннього – з 1 вересня, коли діти ідуть в школу, зимового – з урахуванням складнощів руху, та весняного – з урахуванням впливу короткочасних цільових народних потреб в перевезеннях, таких як доїзди на дачні масиви, діючі виставки, кладовища та інші місця. Сюди можна додати ще і відкриття/закриття нових заводів, сезонних фірм, перенесення зупинок і таке інше, що за нашими підрахунками приведе вже до розробки і видання близько 2400 подібних графіків руху в рік.

Виконуючи детальний аналіз можливих графіків руху тільки для робочих днів в межах однієї доби на середнє вітчизняне місто з населенням біля 200 тис. жителів та 300 діючих одиниць транспорту нами було отримано наступні показники, зведені в таблицю 1.

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

Таблиця №1. Аналіз графіків на середнє місто України з населенням в районі 200 тис. жителів та 300 одиниць діючого транспорту протягом робочого дня в межах однієї доби.

№ п/п	Отримані статистичні дані	Один маршрут	Дані, що рахуються	300 одиниць діючого громадського транспорту (ГТ)
1	Зупинок на маршруті	45,42	ГТ зупиняється в роб. день.	45,42 · 8,89 · 300 = 121 137 раз*
2	Кількість оборотних рейсів	8,89	Кількість оборотних рейсів в день.	9,82 · 300 = 2 667
	Кількість ГТ на маршруті	5,9	Оптимальна к-сть маршрутів	300 од. : 5,9 = 50,85 маршрути
3	Середня кількість ЧТ на маршруті	5 891,6	-	-
4	Середня к-сть ЧТ на одиницю ГТ	342,8	К-сть ЧТ в графіках для транспорту в місті	*342,8 * 300 = 102 840 точок.

*Примітка: Дані відрізняються через те, що оборотний рейс [8] ГТ, як правило, починає/завершує не повинністю виконуючи його при виїзді на маршруті чи з'їзді з нього.

Результати, які були отримані під час проведення досліджень на маршруті № 1 м. Чернігів, графік (випуск) № 1 [9], представлені на рисунку 2 у вигляді цілісної таблиці. Зеленим кольором чітко виділені обідні перерви, а синім – час зміни водіїв.

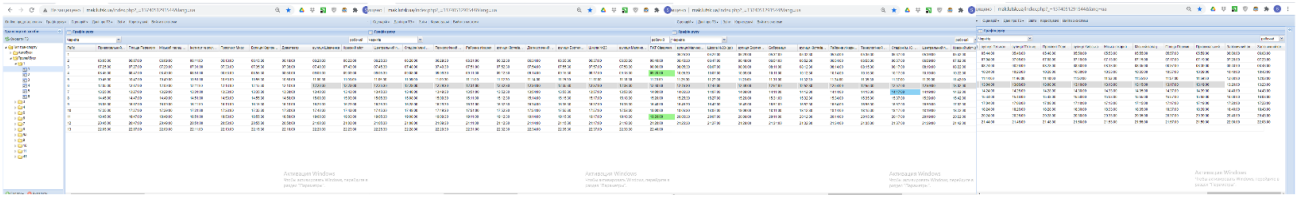


Рис. 2 – Реальні результати досліджень, отримані на маршруті № 1 м. Чернігів

Особливий інтерес представляє те, що у визначеному маршруті № 1 графіка № 1 м. Чернігів в оборотному рейсі наявні 40 зупинок, а оборотних рейсів всього 13. Якщо виконати аналіз прорахунку, віднявши один рейс, тобто 40 зупинок, так як початок/кінець руху не є всюди повними, то отримаємо наступне:

12 оборотних рейсів * 40 зупинок = 480 часових точок (ЧТ) – лише для однієї одиниці ГТ!

Якщо ж до аналізу та розрахунку взяти графіки вихідного дня на кожен річний сезон (вони теж мають робочі/вихідні дні), то це буде досягати більше, ніж 500 000 ЧТ на місто величиною, згадане вище, і без залучення автоматизації та програмних додатків в ручному режимі це просто виснажлива праця... З іншого боку, якщо не створювати графіки руху і не вести над ними аналітику та часові розрахунки, то громадський транспорт міста стає або не рентабельним, або спричиняє вагомі незручності та незадоволення для водіїв та очікуючих пасажирів. В такому разі міські ТЗ стають недовантаженими або перевантаженими, нерівномірно курсуючими та незручними, що суттєво впливає на якість обслуговування пасажирських перевезень.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є створення та реалізація повнофункціональної автоматизованої системи «Розклад руху» міського транспорту у вигляді програмно-технічного комплексу, який давав би можливість автоматизовано створювати розклади руху ГТ з урахуванням всіх мігруючих маршрутів та рейсів в межах кожного маршруту окремо. Створена система також повинна передбачати весь необхідний моніторинг часових показників всіх виїздів і маршрутів, різні види редагування та корекції автоматично створеного розкладу, моделювати і відтворювати його на динамічній карті суміжного міського маршрутного потоку з урахуванням зовнішніх та внутрішніх параметрів впливу на інтегрований рух та можливість внесення необхідних параметричних і ручних поправок.

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

Для досягнення поставленої в дослідженні вихідної мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Програмно та технічно реалізувати систему «Розклад руху громадського транспорту» з можливістю автоматизовано створювати часовий розклад руху всіх діючих маршрутів в межах міста з урахуванням всіх рейсів у кожному маршруті, а також зовнішніх і внутрішніх параметрів впливу на їх курсування, проведення обідніх перерв та перезмінок, з можливістю його редагування та ручної корекції.
2. Забезпечити мобільний додаток та різні види моніторингу часової інформації в кабінах водіїв і на зупинках з метою ведення контролю виконання маршрутів та можливості порівняння історії розкладів руху.
3. Забезпечити моделювання маршрутів ГТ в межах міста та всіх рейсів в кожному маршруті на автоматизовано створеній динамічній карті з метою уникнення накладок на співнапрямлених ділянках руху, забезпечення їх рентабельності та вигідності для пасажирів.
4. Експериментально реалізувати систему автоматизованого розкладу руху ГТ в деяких обласних центрах з метою перевірки і утвердження правильності роботи розробленої автоматизованої системи «Розклад руху» в різні сезони, дні та часові інтервали доби, можливості перевірки її параметризації, редагування (в тому числі і ручного) та роботи програмних модулів.
5. Перевірити роботу програмних модулів, відповідальних за формування щоденних та звітних видів документації.

Алгоритм та особливості автоматизації у створенні розкладу руху

В розробленому програмно-технічному комплексі для міського автоматизованого розрахунку та керування міськими маршрутами в системі «Розклад руху» реалізований алгоритм та важливий програмний модуль, який надає можливість автоматизовано конструювати розклад руху з урахуванням факторів впливу на протікання дорожнього руху маршрутних ТЗ. Для того, щоб створити реальний часовий розклад з урахуванням особливостей алгоритму, законодавчих актів [8-10], реальних даних та різноманітних факторів впливу на протікання дорожнього руху ГТ, необхідно спочатку ввести наступні дані для визначеного маршруту: назви зупинок або ЧТ, за якими буде здійснюватися контроль виконання графіків руху; добові періоди; та кількість передбачених активних одиниць транспорту на кожному з маршрутів; час руху між ЧТ.

Після введення назв усіх ЧТ система запропонує карту для введення географічних координат та інших необхідних для розрахунку параметрів. Створення розкладу на будь-який сезонний період відбувається також автоматично з можливістю його корегування, ручного редагування та автоматичного ведення історії розкладів.

Після забезпечення необхідним обладнанням кожної одиниці ГТ спеціалізованими пультами водія або звичайними планшетами з «Розкладом руху» на базі операційної системи Android (рис. 3) забезпечує водія моніторингом інформації про протікання часового графіку руху та дотримання його на всіх ЧТ.

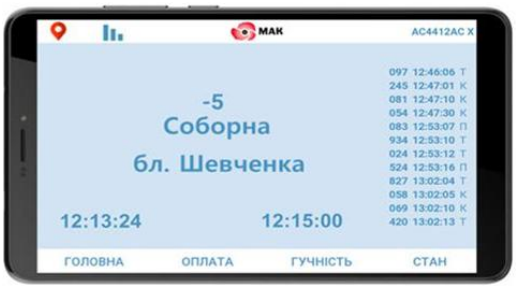


Рис. 3 – Вигляд екрану № 3 з відображенням інформації на пульті водія

Результати та їх обговорення

Автоматизований розрахунок та редагування створеного розкладу руху ГТ

Динамічність структури розробленого програмного модуля «Моделювання та розрахунок розкладу руху» даного програмно-технічного комплексу дозволяє реалізувати наступні можливості:

- оперативно створювати, редагувати та отримувати порівняльну таблицю розкладів руху всіх видів маршрутів, не тільки міських, а і приміських, міжміських чи міжнародних;
- створювати розклади руху з врахуванням часів «пік», виду робочого дня та інших параметрів впливу на протікання руху маршрутних ТЗ на кожен тип дня (робочий, вихідний чи святковий);

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

- створювати розклади руху, враховуючи сезонні подробиці та пори року: літо, осінь, зима та весна:
- переглядати історію розрахованих розкладів за наступними критеріями: минулий, теперішній чи майбутній;
- застосовувати методики розрахунку, які враховують можливість встановлення початку і кінця роботи окремих маршрутних ТЗ на різних ЧТ;
- проводити автоматичний розрахунок та корегування згідно з комплексом законів України про пасажирські перевезення (КЗПП [8]): часових обідів, робочих змін та тривалості нормованого робочого дня;
- застосувати різні методи розрахунку розкладу руху з урахуванням перерви на відпочинок та обід водія в обсязі двох частин, черговості настання обідів для різних рейсів та одному і тому ж маршруті та надання ручного способу їх редагування;
- забезпечувати створення маршрутних паспортів загального користування;
- забезпечувати видачу розрахованого розкладу руху маршруту, в тому числі і на друк, в розрізі зупинок та інтеграцію роздрукованих графіків руху на всі зупинки, які технічно обладнані у відповідності до вимог проекту «Розумна зупинка».

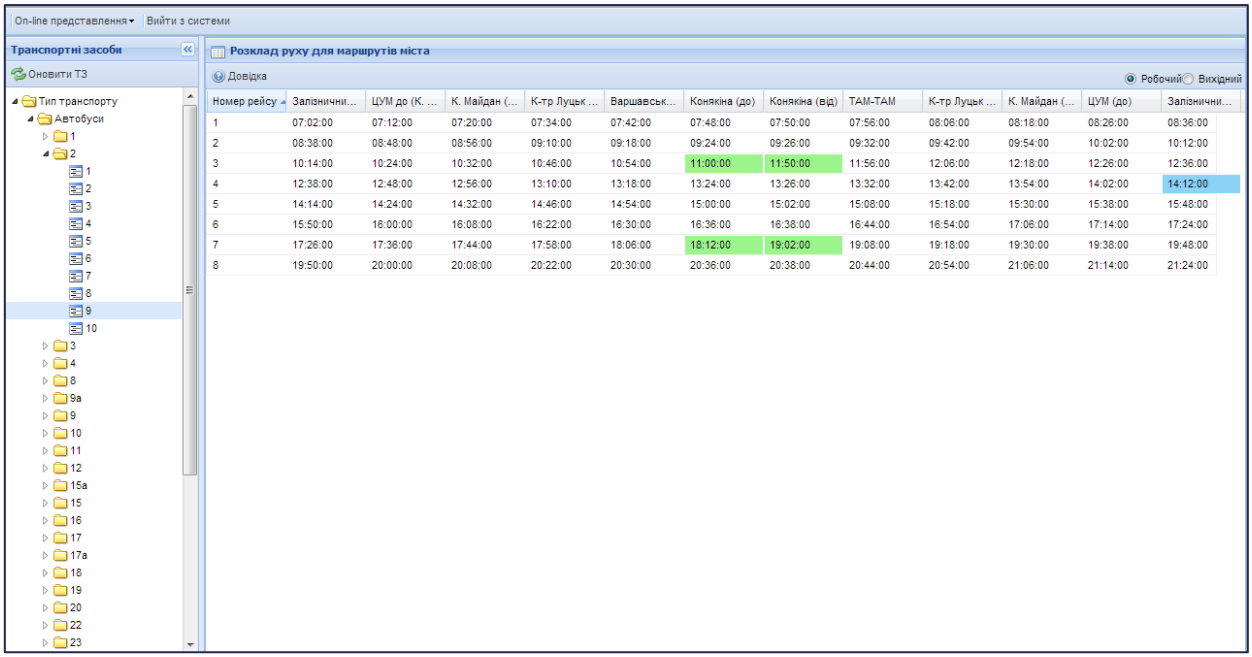


Рис. 4 – Зображення екрану № 4. Двозмінний графік руху маршруту № 2 графік № 9 м. Луцька

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

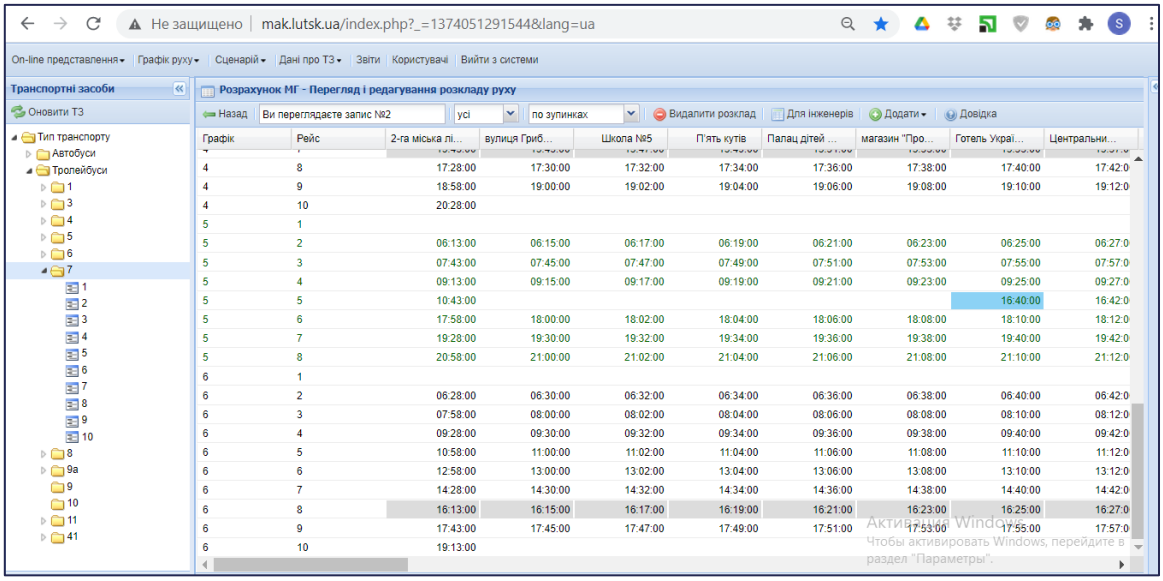


Рис. 5 – Зображення екрану № 5, маршруту № 7 м. Чернігів «Розривний», графік № 5

Особливості моделювання розкладу руху ГТ на мапі

Розрахований і створений розклад руху ГТ в межах визначеного міста завантажується на мапу для моделювання (рис. 6), яке забезпечує: симуляцію руху зразу декількох маршрутів на мапі одночасно наближену до їх практичного курсування в реальному часі, синхронізацію руху різних маршрутів ГТ на загальній (спільній) ділянці траси, корегування швидкісного режиму (графіка руху) під час протікання кожного маршруту в залежності від отриманих даних змодельованого анімованого перегляду.

Даний програмний модуль повинен в цілому забезпечувати ефективне моделювання розкладу руху визначеного маршруту, яке обумовлювало б значне покращення обслуговування пасажирів, значну економію часу на проведення розрахунків, дозволяло б наочне порівняння всіх графіків визначеного маршруту, запобігало ситуації не накладання графіків протікаючих маршрутів в один вузький інтервал часу, зменшенню простоїв ТЗ та економічній збалансованості графіків руху на кожному діючому маршруті в межах міста.

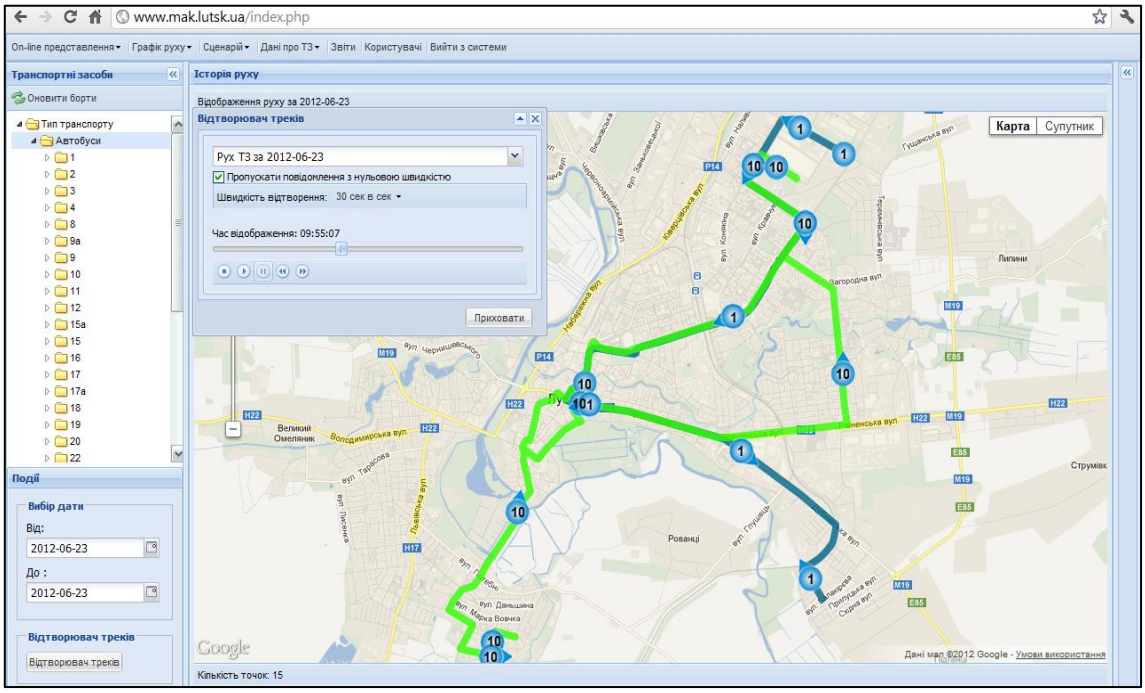


Рис. 6 – Зображення екрану № 6. Симуляція на мапі маршрутів №1 та № 10 м. Луцька

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

Обговорення соціальних функцій

Даний проект та його напрацювання знаходяться за веб-адресою http://mak.lutsk.ua/. Найвагомішою функцією даного програмно-технічного комплексу є функція автоматичного розрахунку розкладу руху з можливістю редагування, корекції, параметризації та іншими її можливостями, які, в свою чергу, відіграють вагомий вплив на весь інтерфейс функцій, розрахованих як для користувача, тобто пасажира, так і для виконання запланованих видів контролю і моніторингу. Додаток надає можливість отримувати табличне представлення графіка, виводити створений і відредагований розклад руху за кожним маршрутом та графіками в межах одного сукупного маршруту в загально-доступній формі, де його можна відображати, з відображенням перевізника.

Згідно втілених в даному програмному проекті вимог кольорові маркери ТЗ використовуються для наочної залежності від графіка руху. З метою ведення моніторингу та контролю руху ГТ проект передбачає пошук маршруту на карті руху. Дана можливість була отримана за рахунок проведення детального моделювання транспортного руху та відображення динамічної моделі на карті в межах міста, про що згадувалося вище. На основі такого реалізованого підходу дається можливість знаходження ТЗ на динамічній карті руху та розташування зупинок, завдяки чому можна виявляти недоліки першопочаткового розкладу та вносити необхідні корективи. Тут також можна і контролювати напрямок протікання руху за визначеним маршрутом.

Вагому роль відіграє і суміжний проект «Розумна зупинка», який імпортує деякі дані з даного проекту і налаштовується на суміжну співпрацю з ним. «Розумна зупинка» вноситься як на карту моделі динамічного руху ТЗ так і може технічно втілюватися (розміщуватися) і безпосередньо на вулиці. Проект дозволяє виводити швидкість ТЗ на кожному відрізку маршруту та виводити державний знак реєстрації.

Програмно-технічний комплекс «Розклад руху» інтегрує в собі мобільний додаток на базі системи Android, який дозволяє виконувати моніторинг даних, необхідних безпосередньо для водія на розміщений в кабіні дисплей. Даний програмний комплекс дозволяє також автоматичне оголошення зупинок та їх віддалене завантаження. В якості інших функцій проект надає, наприклад, необхідні дані про наявність спеціального оснащення в ТЗ для малоспроможних людей. За сукупними даними проекту «Розклад руху» передбачається формування близько 150 видів звітності та необхідної документації та її мережевим поширенням.

Споріднені роботи

До споріднених робіт з даним проектом найперше слід віднести зазначену нами вище роботу [4], яка реалізована в місті Люблін (Польща). Даний проект не надає можливості гнучкого автоматичного створення розкладу руху та його табличного представлення, розрахованого для ГТ за маршрутами та безпосередньо для кожного графіка в межах окремого маршруту. Даний проект також виконує відображення мапи в Google Maps для розв'язання питань та поправок в маршрутизації. Програма також не може виконувати такі функції, як пошук маршруту на карті, відслідковування точності руху в ЧТ, наведених на ній, а також точки оголошення зупинок та контроль швидкості ТЗ.

Функції автоматичного створення розкладу руху та його табличного представлення, відображення перевізника, пошуку маршруту на карті, точки контролю графіка руху, оголошення зупинок та інші, на наш погляд, важливі функції відсутні і в інших споріднених роботах [5-7]. Зокрема, в роботах [6,7] також відсутні мобільні розробки у вигляді додатків для виконання функцій моніторингу на маршрутах безпосередньо в ГТ.

Загальним недоліком відзначених проектів також є відсутність функції помітки ТЗ, діючого на маршруті, для малоспроможних людей (інвалідів), контроль дотримання графіка руху на ТЗ та інших, які сьогодні є досить необхідними в електронному моніторингу транспортної інформації міста. В деяких із перечислених робіт відсутні необхідні формування електронної звітності та документації.

Висновки

В даній роботі було успішно побудовано і технічно реалізовано автоматизовану систему «Розклад руху громадського транспорту», яка надає можливість в залежності від введених зовнішніх і внутрішніх параметрів впливу на їх курсування автоматизовано створювати часовий розклад руху всіх діючих маршрутів та всіх рейсів у межах кожного маршруту зокрема в межах міста, з урахуванням проведення обідніх перерв, перезмінок, та можливістю його програмного і ручного редагування.

Система забезпечує мобільний додаток для різних видів моніторингу часової інформації в кабінах водіїв і на зупинках в суміжності з паралельним проектом «Розумна зупинка» з метою ведення контролю протікання маршрутів та можливості створення історії розкладів руху.

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

Даною системою забезпечується і динамічна модель протікання маршрутів ГТ в межах міста та всіх рейсів в межах кожного маршруту на автоматизовано створеній карті, яка слугує для візуального відображення маршрутизації в місті, уникнення часового накладання маршрутів на співнапрямлених ділянках руху, що забезпечує їх рентабельність курсування та вигідність ГТ для користувачів.

Дана система експериментально реалізована і досліджена в деяких обласних центрах. На основі отриманих експериментальних даних перевірено правильність її роботи в залежності від заданих зовнішніх та внутрішніх параметрів впливу на протікання міських маршрутів, врахування різні річних сезонів, днів та часових інтервалів доби. Система дозволяє перевстановлення параметрів з метою оновлення раніше сформованого розкладу руху, його автоматичного та ручного редагування.

В ході практично проведених експериментів перевірено роботу програмних модулів, відповідальних за збір даних та формування щоденних і звітних видів документації. В даному проекті з легкістю можна додати будь-яку необхідну функцію на будь-якому кроці функціонування даної автоматизованої системи.

Подяки

Робота виконана на базі науково-дослідної лабораторії «Smart-КІБ» та ТзОВ «Візор-МАК» м. Луцьк. Сердечно дякуємо директору ПП «Візор», Степану Чухрію, за фінансову підтримку, технічну реалізацію та проведені практичні дослідження в рамках даного проекту в багатьох обласних центрах України, якому і належить авторське право.

Дану систему можна придбати в приватному підприємстві «Візор», або використовувати шляхом оренди програмного забезпечення.

Список бібліографічного опису

1. V. Melnyk, N. Bahnyuk, K. Melnyk, O. Zhyharevych, N. Panasyuk. Implementation of the simplified communication mechanism in the cloud of high performance computations. East-European journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv. – 2017. – № 2/2/86. – p. 24-32. – DOI: 10.15587/1729-4061.2017.98896
2. Melnyk V.M., Melnyk K.V., Zhyharevych O.K. High production of java sockets (HPJS) for health clouds in science. // Інженерія програмного забезпечення. Національний авіаційний університет. – Київ. – 2015. – Т.19, № 3. – С. 36-40.
3. Багнюк Н.В., Мельник В.М., Мельник К.В., Топчевська К.Е. Аналіз хмарних систем управління серверами. // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – Луцьк. – 2016, №22. – с. 62-66.
4. Zarzad transportu miejskiego w Lubline. Electronic resource, Access mode: http://www.sip.ztm.lublin.eu/.
5. Транспорт Тернополя. Електронний ресурс, Режим доступу: http://detransport.com.ua/.
6. Транспорт Івано-Франківська та інших міст за вибором. Електронний ресурс, Режим доступу: https://city.dozor.tech/ua/iv-frankivsk/city.
7. Новини Житомира. Транспорт. Електронний ресурс, Режим доступу: https://zt-news.org.ua/index.php?do=static&page=map_transport.
8. Розклад руху громадського транспорту. Портал відкритих даних. Електронний ресурс, Режим доступу: https://data.gov.ua/pages/835-recm-transport-schedule.
9. Що таке розклад руху громадського транспорту у Чернігові? Громадський простір. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.prostir.ua/?news=scho-take-rozklad-ruhu-hromadskoho-transportu-u-chernihovi.
10. Урядовий портал. ПРАВИЛА надання послуг пасажирського автомобільного транспорту. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/npas/93701422.

References

1. V. Melnyk, N. Bahnyuk, K. Melnyk, O. Zhyharevych, N. Panasyuk. Implementation of the simplified communication mechanism in the cloud of high performance computations. East-European journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv. – 2017. – № 2/2/86. – p. 24-32. – DOI: 10.15587/1729-4061.2017.98896
2. Melnyk V., Melnyk K., Zhyharevych O. High production of java sockets (HPJS) for health clouds in science. // Programming Engineering. National Aviation University. – Kyiv. – 2015. – V.19, № 3. – p. 36-40.
3. N. Bahniuk, V. Melnyk, K. Melnyk, K. Topchevska. Analysis of cloud server management systems. // Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production". – Lutsk. – 2016, №22. – p. 62-66.
4. Zarzad transportu miejskiego w Lubline. Electronic resource, Access mode: http://www.sip.ztm.lublin.eu/.
5. Transport of Ternopil. Electronic resource, Access mode: http://detransport.com.ua/.
6. Transport of Ivano-Frankivsk city and other cities of your choice. Electronic resource, Access mode: https://city.dozor.tech/ua/iv-frankivsk/city.
7. News of Zhytomyr. Transport. Electronic resource, Access mode: https://zt-news.org.ua/index.php?do=static&page=map_transport.
8. Public transport schedule. Public data portal. Electronic resource, Access mode: https://data.gov.ua/pages/835-recm-transport-schedule.
9. What is the schedule of public transport in Chernihiv? Public space. Electronic resource, Access mode: https://www.prostir.ua/?news=scho-take-rozklad-ruhu-hromadskoho-transportu-u-chernihovi.
10. Government portal. RULES for the provision of passenger road transport services. Electronic resource, Access mode: https://www.kmu.gov.ua/npas/93701422.

© Мельник В.М., Тарасенко А.В., Чернящук Н.В., Чухрій С.С., Мельник К.В.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-13
УДК 004.42
Микитенко Сергій Сергійович, магістрант,
Орлова Марія Миколаївна, к.т.н., доцент.
https://orcid.org/0000-0002-6617-4631
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОНАННЯ ГРАНИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ НА ПРИСТРОЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Микитенко С.С., Орлова М.М. Виконання граничних обчислень на пристроях Інтернету Речей. Технології граничного обчислення стрімко розвиваються та поступово витісняють традиційні архітектури хмарних обчислень. В статті розглянуто та проаналізовано основні структури організації граничних обчислень, детально розглянуті основні проблеми пристроїв Інтернету Речей, що потребують зовнішніх обчислювальних потужностей. Розглянуто умови, за яких обчислення можна перенести безпосередньо на сам пристрій або на інші пристрої Інтернету Речей, використовуючи їх в якості граничного серверу. Протестовано швидкість виконання операції матричного множення, яка є необхідною для машинного навчання, на пристрої Інтернету Речей, що базується на SoC ESP8266. Розглянуті можливі напрямки подальшої еволюції граничних обчислень.
Ключові слова: граничні обчислення, Інтернет Речей, машинне навчання, ESP8266, матричне множення, пропускна спроможність мережі інтернет.

Микитенко С.С., Орлова М.М. Исполнение граничных вычислений на устройствах интернета вещей. Технологии предельного вычисления стремительно развиваются и постепенно вытесняют традиционные архитектуры облачных вычислений. В статье рассмотрены и проанализированы основные структуры организации предельных вычислений, подробно рассмотрены основные проблемы устройств интернета вещей, требующих внешних вычисления мощностей. Рассмотрены условия, при которых вычисления можно перенести непосредственно на само устройство или на другие устройства интернета вещей, використавши их в качестве предельного сервера. Протестировано скорость выполнения операции матричного умножения, необходимой для машинного обучения, на устройстве интернета вещей, что базируется на SoC ESP8266. Рассмотрены возможные направления дальнейшей эволюции предельных вычислений.
Ключевые слова: предельные вычисления, интернет вещей, машинное обучение, ESP8266, матричное умножение, пропускная способность сети интернет.

Mykytenko S.S., Orlova M.M. Edge Computing on the Internet of Things devices. Edge computing technologies are evolving rapidly and are gradually replacing the traditional cloud computing architectures. This article considers and analyzes the main structures of the organization of edge computing, discusses in detail the main problems of the Internet of Things devices that require external computing power. Discussed conditions under which calculations can be transferred directly to the device or to other devices of the Internet of Things, using them as edge servers. The speed of matrix multiplication operation, which is necessary for machine learning, was tested on the Internet of Things devices based on SoC ESP8266. Considered possible directions of further evolution of edge computing.
Keywords: edge computing, internet of things, machine learning, ESP8266, matrix multiplications, internet bandwidth.

Вступ.

Розвиток технологій за останні роки призводить до все більшого навантаження на всесвітню мережу Інтернет, основний об'єм якого створюється інтернет додатками, трафік яких проходить великі відстані, і часто може навіть оброблятися на іншому континенті. Одним з можливих варіантів вирішення цієї проблеми є використання технології граничних обчислень, що приходить на зміну традиційним хмарним обчисленням, згідно з якою вводяться додаткові, периферійні сервери, що обробляють дані системи клієнта в максимальному наближенні до його географічного положення, зменшуючи таким чином навантаження на глобальну мережу [1]. Вже зараз близько 10% даних підприємств обробляються поза традиційним централізованим центром обробки даних. До 2025 року очікується, що цей показник досягне 75% [2].

Постановка наукової проблеми.

Постійне зростання трафіку в мережі Інтернет стає все більш важливою проблемою у світі. Це не тільки призводить до збільшення вартості роботи систем, підключених до мережі Інтернет, але й ставить під загрозу приватність користувачів через велику кількість можливостей перехопити трафік користувачів на шляху до серверів обробки даних. В майбутньому буде приділятися все більше уваги системам, обчислення в яких відбувається безпосередньо наближено до географічного положення користувачів, оскільки це зменшує небезпеку втрати конфіденційних даних користувачів через зменшений шлях передачі даних, а також зменшує потребу у нових шляхах передачі даних, тим самим зменшуючи загальні витрати і навантаження на навколишнє середовище. Все більше постачальників хмарних сервісів переносять обчислення як найближче до користувачів, будуючи все більше локальних дата центрів, або пропонують користувачам придбати приватний граничний сервер, що буде обробляти

© Микитенко С.С., Орлова М.М.

дані безпосередньо в локальній мережі користувача і відправляти на сервери компанії тільки мінімум даних. Але при цьому збільшується вразливість таких систем до атаки всередині локальної мережі. У зв'язку з цим, в статті запропоновано один з варіантів рішення цієї проблеми шляхом зменшення розміру даних, що пересилаються кінцевими пристроями до граничного серверу, а також проаналізована можливість перенесення виконання деяких обчислень на інші пристрої Інтернету Речей, що знаходяться в тій самій мережі.

Метою роботи є підвищення ефективності системи за рахунок зменшення часу передачі та обробки інформації на пристроях Інтернету Речей за рахунок реалізації граничних обчислень.

Термінологія.

Edge Computing (Граничні Обчислення) – парадигма розподілених обчислень, що здійснюються наближено до кінцевих пристроїв. Цей тип обчислень дозволяє скоротити час мережевого відгуку, а також збільшує загальну пропускну спроможність мережі за рахунок зменшення маршруту передачі [3].

Internet of Things (Інтернет Речей) – мережа, що складається з фізичних пристроїв, що містять вбудовані мережеві модулі та програмне забезпечення, яке реалізує передачу і обмін даних в автономному режимі за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку [4].

Machine Learning (Машинне навчання) – підгалузь штучного інтелекту галузі інформатики. Алгоритми машинного навчання можуть приймати рішення або створювати прогнози, які не були явно запрограмованими, за рахунок побудови моделі на основі зразкових даних [5].

Аналіз досліджень.

Аналіз сучасної літератури [6], [7], [8] дозволив сформувати дві основні структури побудови граничних обчислень, а саме: коли граничний сервер знаходиться на території постачальника послуг, максимально наближені до кінцевого користувача, що наведено на рисунку 1a, та коли граничний сервер знаходиться в локальній мережі, що представлено на рисунку 1b. Додатково можна виділити випадок, коли розрив зв'язку між пристроєм та граничним сервером може призвести до небезпечних наслідків, як, наприклад, у випадку системи керування рухомими об'єктами. У цій ситуації важлива частина обчислень переноситься на так званий граничний пристрій [1], [9], що вбудовується безпосередньо в цей пристрій Інтернету Речей, як показано на рисунку 1c, при цьому менш важливі дані продовжують оброблятися на граничному сервері.

Граничний обчислювальний пристрій, вбудований безпосередньо в пристрій Інтернету Речей, забезпечує максимальну безпеку даних і унеможливлює помилки через розрив з'єднання, але така схема вимагає значних витрат. Використання одного граничного обчислювального серверу для виконання обчислень всіх пристроїв Інтернету Речей в локальній мережі дозволяє значно знизити вартість такої системи, а сучасні алгоритми шифрування [10] забезпечують достатній рівень безпеки та ресурсоємності для більшості сценаріїв використання. Найкращим з економічної точки зору є використання спільного граничного сервера, що знаходиться поза локальної мережі, що за допомогою сучасних технологій віртуалізації [11] дозволяє одночасно використовуватися різними користувачами, зберігаючи при цьому не значний час відгуку. Але така модель збільшує небезпеку втрати або перехоплення інформації зловмисниками і також збільшує навантаження на канали мережі, так само як і традиційна серверна модель у випадку значної віддаленості модуля клієнта від найближчого граничного серверу.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Одним із варіантів подальшого розвитку структури граничних обчислень є використання вільних обчислювальних ресурсів пристроїв Інтернету Речей, які знаходяться в тій самій мережі, що і пристрій, який виконує великий обсяг обчислень. Оскільки одним з основних сценаріїв використання зовнішніх обчислень пристроями Інтернету Речей є виконання алгоритмів машинного навчання [3], [7], а однією з найбільш поширених операцій, що входять в процес машинного навчання є матричне множення [12], оцінимо співвідношення часу передачі даних між модулями та часу виконання операції матричного множення над переданими даними.

© Микитенко С.С., Орлова М.М.

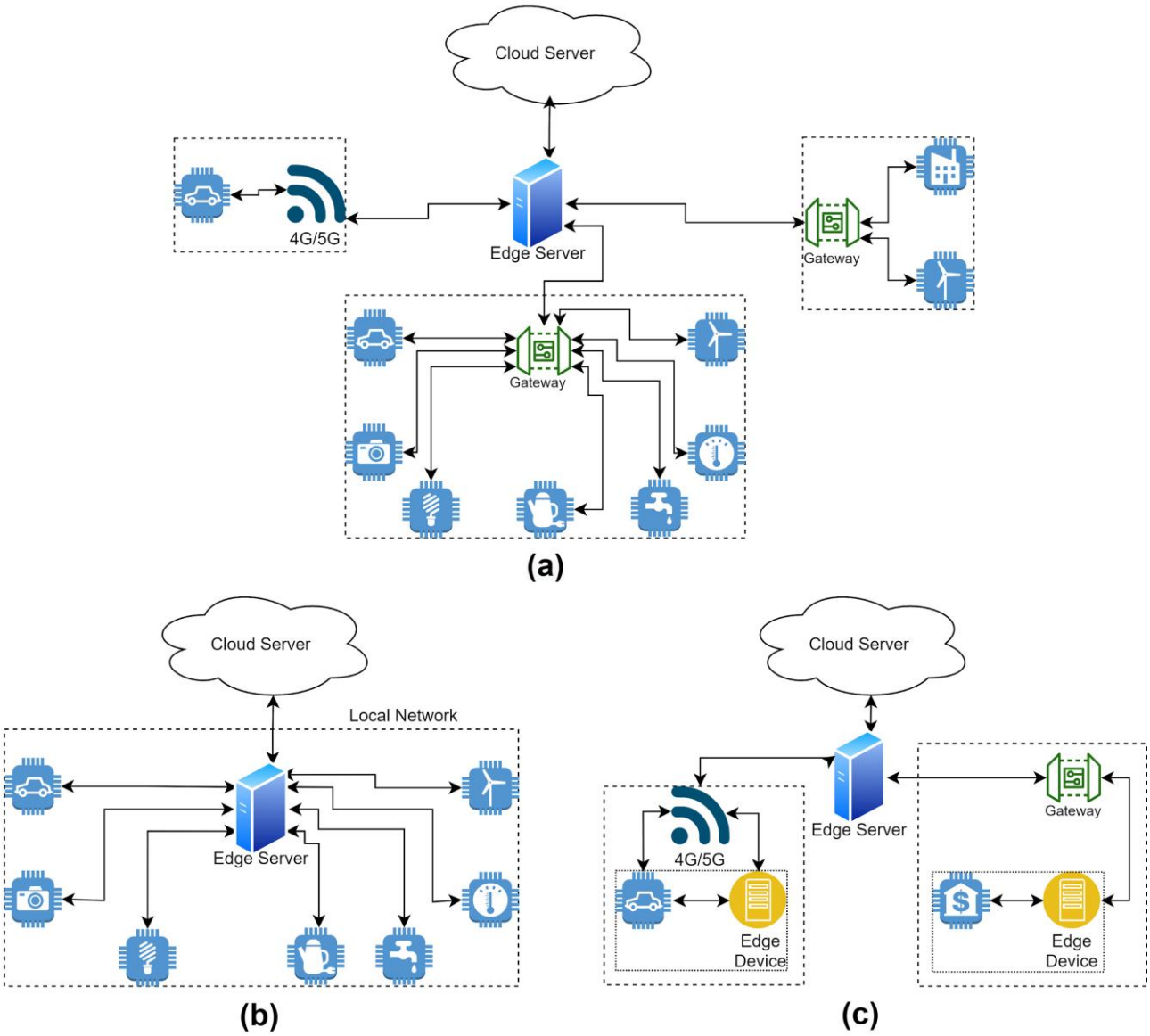


Рис. 1. Структура системи граничних обчислень. a) граничний сервер знаходиться поза локальної системи користувача і використовується одночасно декількома організаціями, що знаходяться географічно неподалік один від одного; b) граничний сервер знаходиться безпосередньо в локальній системі користувача; c) пристрій містить додатковий спеціальний обчислювальний блок, що виконує частину обчислень безпосередньо на місці.

Найпростіша запропонована схема граничних обчислень, що містить дві плати ESP8266, одна з яких виконує функції сервера, а інша – клієнта, представлена на рисунку 2. Для визначення ефективності виконання обчислень проаналізуємо час передачі даних між модулями та час виконання обчислень над цими даними. Оскільки використання безпроводового з'єднання через порт Wi-Fi вносить затримку при передачі даних, плати для тестування додатково з'єднанні через фізичний порт GPIO16 для отримання сигналів про початок та кінець передачі даних з мінімальною затримкою. Для перегляду результатів тестування на екрані комп'ютера, головну плату під'єднано до комп'ютера через USB порт, що розпізнається системою як COM5.

Проаналізуємо ефективність згідно послідовності тестування наведеної на рисунку 3, що полягає в отриманні сервером даних від клієнтської системи, виконання операції матричного множення над отриманими даними та повернення результату модулю клієнта. Час передачі фіксується від отримання сигналу на порт GPIO16 про початок передачі від клієнта до отримання останнього байту від клієнта і від початку передачі результатів обчислень клієнту до отримання сигналу підтвердження на порт GPIO16 про кінець передачі від системи клієнта. Оскільки програма працює в безкінечному циклі, тестування продовжується, доки мікроконтролери підключені до джерела живлення.

© Микитенко С.С., Орлова М.М.

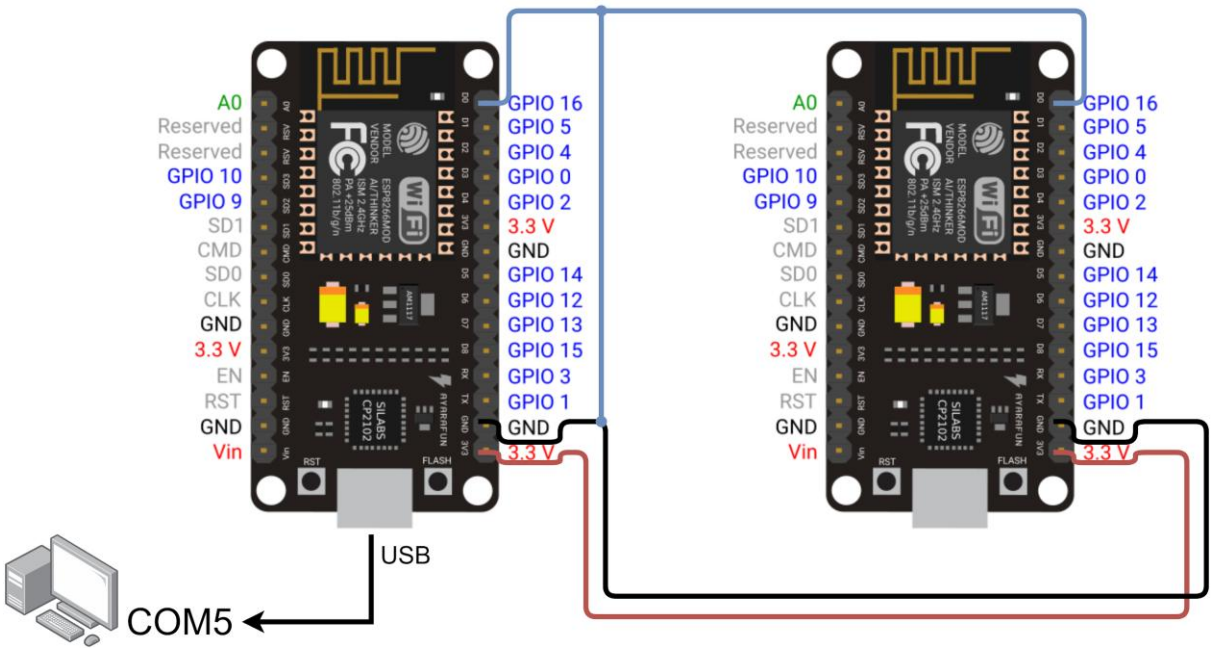


Рис. 2. Схема підключення системи з двох плат ESP8266 для тестування.

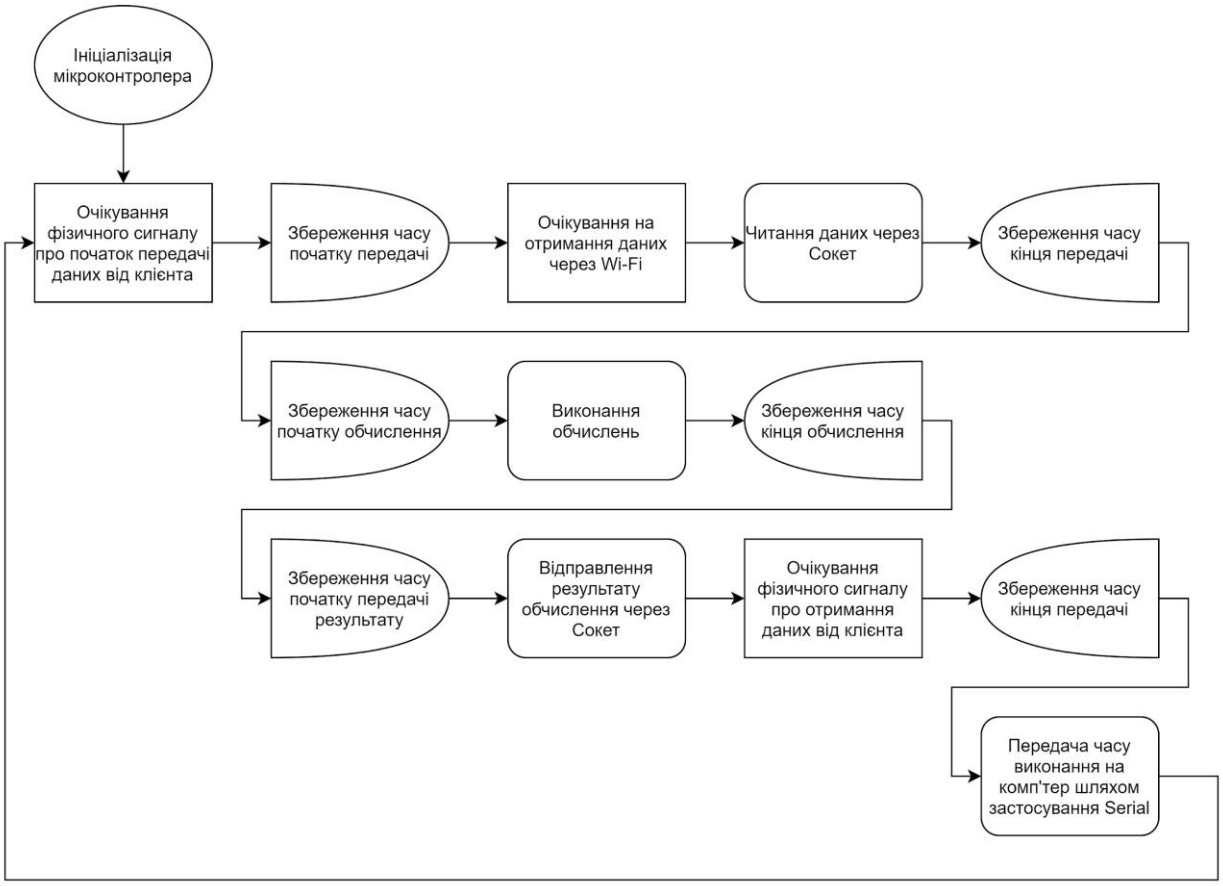


Рис. 3. Послідовність виконання тестування

Обмін інформації між цими двома платами виконується за допомогою мережевих протоколів стеку TCP/IP. Додатково від клієнта до сервера, разом з двома випадково-згенерованими матрицями даних, передається програмний заголовок довжиною шість байтів, з яких чотири байти визначають розмірності двох матриць даних, які обробляються, один байт визначає код операції та один байт – розмірність даних. Сервер повертає клієнту результат матричного множення у вигляді однієї матриці даних та заголовку довжиною в три байти, що складається з двох байтів, які відповідають за розмірність матриці даних, та одного байту для визначення розмірності даних.

© Микитенко С.С., Орлова М.М.

На рисунку 4 наведено результати тестування запропонованої структури при виконанні матричного множення 4-байтних цілочисельних даних різної розмірності.

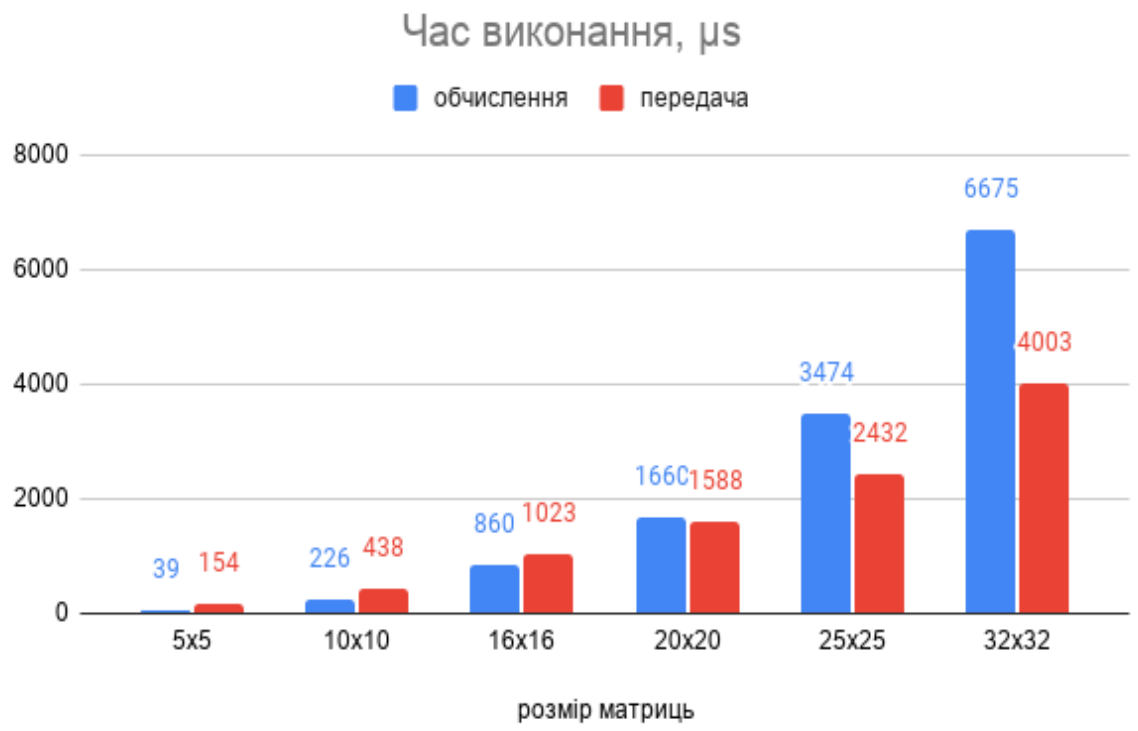


Рис. 4. Тестування виконання операцій матричного множення для цілочисельних 4-байтних даних на платі ESP8266.

За результатами тестування видно, що для плати ESP8266 передавати матричні дані розмірністю менше ніж 20x20 4-байтних слів є контрпродуктивно, оскільки час передачі таких даних буде більшим, ніж час їх обчислення на самому пристрої. При цьому, якщо обчислювати такі дані безпосередньо на пристрої, можна досягти більш високого рівня безпеки. Але час обчислення збільшується експоненціально в порівнянні з часом передачі даних, тому для даних, більших за 20x20 слів, є сенс розподіляти задачу між двома пристроями, адже тоді вдастся досягти значного прискорення.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що час передачі даних змінюється майже лінійно, і для більших наборів даних зростає в 4 рази при збільшенні розмірності даних в два рази, а час обчислення матриці зростає щонайменше у 6 разів при збільшенні розмірності матриці даних у два рази. Виходячи з цього, маємо, що час обробки зображення камери розмірністю 128x128 4-байтних слів, буде становити щонайменше 240300 мікросекунд, а час передачі цілих матриць буде становити 64048 мкс. Тоді, якщо розділити це завдання між двома пристроями, кожен з яких буде виконувати множення матриць розмірністю 64x128 слів на матрицю розмірністю 128x128 слів отримаємо загальний час виконання 162849 мкс, таким чином зменшуючи час виконання операції системою на 32%.

Але через обмежену кількість оперативної пам'яті на цих платах, обробка зображення розрядністю 128x128 4-байтних слів може виконуватися тільки в потоковому режимі і буде потребувати розробки спеціального алгоритму розподілення навантаження з урахуванням потужності та завантаженості пристроїв. Іншою проблемою є те, що така система може виконувати щонайбільше 6 таких операцій за секунду, що обмежує швидкість обробки зображення з камери до менш ніж одного кадру за секунду [12]. Проте кількість оброблюваних кадрів може бути збільшено за рахунок оптимізації алгоритмів, наприклад, шляхом зменшення кількості кольорів зображення або зменшення роздільної здатності зображення, що може бути недоречним для певних застосувань.

В загальному випадку розроблена система з двох плат ESP8266 не може повноцінно виконувати розпізнавання зображень за алгоритмами машинного навчання, і потребує задіяння граничного пристрою або граничного сервера з більшими обчислювальними потужностями, проте досягаючи зменшення часу роботи на 32% при задіяні двох пристроїв, має потенціал для самостійного виконання

© Микитенко С.С., Орлова М.М.

нескладних задач машинного навчання.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

В роботі проведено аналіз основних моделей функціонування граничних обчислень, запропонована структура, яка дозволяє уникнути використання обчислювальних потужностей граничних пристроїв та серверів за рахунок виконання паралельної обробки на платах мало задіяних пристроїв Інтернету Речей. Проведено тестування апаратної складової пристроїв Інтернету Речей низької потужності для самостійного виконання граничних обчислень. За рахунок використання додаткового обчислювального засобу вдалось досягнути приросту швидкості виконання операцій до 32% для великих наборів даних, проте для наборів даних низької розрядності, виконання операцій безпосередньо на одному пристрої показало кращі результати, оскільки задіяння системи для передачі даних в мережі виявилось більшим ніж час виконання операцій.

Проведене в роботі дослідження підтвердило необхідність використання граничних пристроїв або серверів для виконання загальних завдань машинного навчання на малопотужних пристроях Інтернету Речей. Проте згідно результатів обчислень, частину завдань можна перенести безпосередньо на пристрій Інтернету Речей за умови оптимізації вхідних даних або для завдань, які можуть виконуватися повільно. Також дослідження показало ефективність використання більш ніж одного пристрою для виконання операції матричного обчислення над великими об'ємами даних.

Таким чином, враховуючи отримані результати, доведена доцільність виконання частини обчислень безпосередньо на малопотужних пристроях Інтернету Речей без залучення граничних пристроїв та серверів, проте для більш потужних пристроїв, ніж ті, що були розглянуті в цій роботі, необхідно провести додаткові дослідження.

Список бібліографічного опису

1. What Is Edge Computing : URL: https://www.ibm.com/cloud/what-is-edge-computing. (дата звернення: 13.03.2021).
2. What Edge Computing Means for Infrastructure and Operations Leaders : URL: https://www.ibm.com/cloud/what-is-edge-computing. (дата звернення: 17.03.2021).
3. Garbouj H. Edge Computing Demystified: Understand the status and the future of Edge Computing / Houssem Garbouj. – 2018.
4. Kovar D. Internet Of Things Applications: Introduction To Internet Of Things: Industrial Internet Of Things / Delana Kovar. – 2021.
5. Hurley R. Data Science: What You Need to Know About Data Analytics, Data Mining, Regression Analysis, Artificial Intelligence, Big Data for Business, Data Visualization, Database Querying, and Machine Learning / Richard Hurley. – 2019.
6. Tadapaneni, N. R. (2016). Overview and Opportunities of Edge Computing. SSRN Electronic Journal. doi:10.2139/ssrn.3656806
7. Mannanuddin, K., Aluvala, S., Sneha, Y., Kumaraswamy, E., Sudarshan, E., & Mahender, K. (2020). Confluence of Machine Learning with Edge Computing for IoT Accession. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 981. doi:10.1088/1757-899x/981/4/042003
8. Hassan, N., Gillani, S., Ahmed, E., Yaqoob, I., & Imran, M. (2018). The Role of Edge Computing in Internet of Things. IEEE Communications Magazine, 56(11), 110-115. doi:10.1109/mcom.2018.1700906
9. Cisco: What Is Edge Computing : URL: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/computing/what-is-edge-computing.html (дата звернення: 18.03.2021).
10. Гринюк, С., & Поліщук, М. (2020). Використання технології шифрування інформації для безпечної передачі в мережі. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (39), 122-126. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-21
11. Мельник, В., Мельник, К., Кузьмич О., Багнюк, Н., & Кравець О. (2020). Дослідження покращення внутрішніх та зовнішніх параметрів швидкодії зв'язку на кластері комунікуючих віртуальних машин. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (39), 162-174. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-28
12. Jelixton P. Deep Dive into Linear Algebra for Data Science & Machine Learning DL / Jelixton Publications. – 2020.
13. ESP8266 Wi-Fi MCU : URL: https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266. (дата звернення: 18.03.2021).

References

1. What Is Edge Computing. (n.d.). Retrieved March 13, 2021, from https://www.ibm.com/cloud/what-is-edge-computing
2. What Edge Computing Means for Infrastructure and Operations Leaders. (2018). Retrieved March 17, 2021, from https://www.gartner.com/smarterwithgartner/what-edge-computing-means-for-infrastructure-and-operations-leaders/
3. Garbouj, H. (2018). Edge Computing Demystified: Understand the status and the future of Edge Computing.
4. Kovar, D. (2021). Internet Of Things Applications: Introduction To Internet Of Things: Industrial Internet Of Things.
5. Hurley, R. (2019). Data Science: What You Need to Know About Data Analytics, Data Mining, Regression Analysis, Artificial Intelligence, Big Data for Business, Data Visualization, Database Querying, and Machine Learning.
6. Tadapaneni, N. R. (2016). Overview and Opportunities of Edge Computing. SSRN Electronic Journal. doi:10.2139/ssrn.3656806
7. Mannanuddin, K., Aluvala, S., Sneha, Y., Kumaraswamy, E., Sudarshan, E., & Mahender, K. (2020). Confluence of Machine Learning with Edge Computing for IoT Accession. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 981. doi:10.1088/1757-899x/981/4/042003
8. Hassan, N., Gillani, S., Ahmed, E., Yaqoob, I., & Imran, M. (2018). The Role of Edge Computing in Internet of Things. IEEE Communications Magazine, 56(11), 110-115. doi:10.1109/mcom.2018.1700906

© Микитенко С.С., Орлова М.М.

9. Cisco: What Is Edge Computing? (2020). Retrieved March 18, 2021, from https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/computing/what-is-edge-computing.html
10. Hryniuk, S., & Polishchuk, M. (2020). Use information encryption technology for secure network transmission. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (39), 122-126. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-21
11. Melnyk, V., MelnykK., KuzmychO., Bahniuk, N., & Kravets, O. (2020). Internal and external communication performance improving research on a cluster of communicated virtual machines. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (39), 162-174. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-28
12. Publications, J. (2020). Deep Dive into Linear Algebra for Data Science & Machine Learning DL.
13. ESP8266 Wi-Fi MCU. (n.d.). Retrieved March 18, 2021, from https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266

© Микитенко С.С., Орлова М.М.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-14
УДК 378.147.001.89:796:004
Миронюк Лілія Павлівна, кан. ф.-м. наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-4822-659X
Ройко Лариса Леонідівна, кан. пед. наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-7318-0925
Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДГОТОВЦІ БАКАЛАВРІВ ФАКУЛЬТЕТУ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ, СПОРТУ ТА ЗДОРОВ'Я

Миронюк Л. П., Ройко Л. Л. Використання засобів інформаційно-комунікаційних технологій у підготовці студентів факультету фізичної культури, спорту та здоров'я. У статті проаналізовано особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій у дисциплінах професійного та загального циклів підготовки фахівців фізичної культури і спорту Волинського національного університету імені Лесі Українки.
Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології**,** інформаційні технології в галузі знань, фізична культура і спорт, Office 365.

Миронюк Л. П., Ройко Л. Л. Использование средств информационно-коммуникационных технологий в подготовке бакалавров факультета физической культуры, спорта и здоровья. В статье проанализированы особенности применения информационно-коммуникационных технологий в дисциплинах профессионального и общего циклов подготовки специалистов физической культуры и спорта Волынского национального университета имени Леси Украинки.
Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, информационные технологии в области знаний, физическая культура и спорт, Office 365.

Myroniuk L. P., Royko L. L. Use of information and communication technologies in the preparation of students of the Faculty of Physical Culture, Sports and Health. The article analyzes the peculiarities of the use of information and communication technologies in the disciplines of the professional and general cycles of training of specialists in physical culture and sports of Lesya Ukrainka Volyn National University.
Keywords: information and communication technologies, information technologies in the field of knowledge, physical culture and sports, Office 365.

Постановка наукової проблеми. Соціально-економічний прогрес розвинених країн характеризується інформатизацією всіх сфер людської діяльності, у тому числі і професійної. В освіті, як складовій частині, інформатизація передбачає систему методів, процесів та програмно-технічних засобів, інтегрованих з метою збору, обробки, зберігання, розповсюдження і використання її на користь споживачів [7]. Наявність в освітніх програмах курсів, пов'язаних з інформаційними технологіями, надає студентам можливості отримання інформації щодо комп'ютерної грамотності не тільки у своїй професійній діяльності, але і у всіх сферах життя суспільства, що допомагає поглибленню професійних знань, наукового та культурного світогляду.

В умовах сьогодення стає очевидним, що будь який напрямок спортивної індустрії неможливий без застосування засобів сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Перед вищими навчальними закладами постає завдання підготовки фахівців, здатних орієнтуватися у просторі наукової інформації та сучасних інформаційних технологіях. З цією метою на факультеті фізичної культури, спорту та здоров'я Волинського національного університету імені Лесі Українки у цикл загальної підготовки навчального плану бакалавра другого року навчання включено навчальну дисципліну «Інформаційні технології в галузі знань».

Аналіз досліджень. Дослідженню питань інформатизації освіти нині приділяється значна увага. Зокрема, І. Булах, М. Жалдак, Г. Козлакова, А. Коломієць, О. Лядська [8] вивчали використання інформаційно-комунікаційних технологій у професійній діяльності; В. Безпалько, О. Довгялло, М. Кадемія, О. Качан [6], І. Мархель, І. Підласий – психолого-педагогічні основи застосування комп'ютерних технологій у закладах вищої освіти; Р. Гуревич, П. Дмитренко, Н. Корсунська, В. Олійник, О. Собаєва, П. Таланчук – організацію і впровадження дистанційної освіти тощо.

Питанням впровадження інформаційних технологій у навчальний процес вищих навчальних закладів фізкультурного профілю присвятили свої праці: В. Ашанін, В. Бізін, В. Бубнов [2], Є. Блещунова, В. Гамалій, Т. Дорофєєва [1], Т. Івчатова [4], С. Єрмаков, Р. Клопов [7], І. Заневський, М. Маліков, В. Шаповалова.

Поділяємо думку О. Ільків [5], О. Пришляка, В. Матвіїва, що жодна інша навчальна дисципліна не використовує міжпредметні зв'язки так широко, як «Інформаційні технології в галузі знань». Саме у процесі викладання цього курсу формується інформаційна культура та грамотність майбутніх фахівців.

© Миронюк Л. П., Ройко Л. Л.

Метою статті є аналіз особливостей застосування інформаційно-комунікаційних технологій у дисциплінах професійного циклу підготовки фахівців фізичної культури і спорту.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Авторами статті було проаналізовано навчальний план бакалавра спеціальності «017 Фізична культура і спорт» (галузь знань 01 «Освіта»; освітня програма (спеціалізація) «Фізична культура і спорт"; кваліфікація – тренер з виду спорту, інструктор-методист спортивно-масової роботи / тренер з виду спорту, інструктор-методист фітнесу і туризму / тренер з виду спорту, інструктор-методист; форма навчання – денна; термін навчання – 3 роки 10 міс., на базі повної загальної середньої освіти), згідно якого студенти вивчають наступні навчальні дисципліни:

➢ *цикл професійної підготовки:* «Гімнастика та методика її викладання», «Рухливі ігри та методика їх викладання», «Спортивно-педагогічне вдосконалення з видів спорту», «Плавання та методика його викладання», «Туризм», «Біомеханіка»; «Теорія спорту», «Фітнес», «Спортивні ігри та методика їх викладання», «Легка атлетика та методика її викладання», «Основи масажу»;

➢ *цикл загальної підготовки*: «Україна у європейському історичному та культурному контекстах», «Іноземна мова (за професійним спрямуванням)», «Творчий феномен Лесі Українки», «Анатомія людини», «Психологія фізичної активності», «Фізіологія людини», «Історія фізичної культури та олімпійський спорт», «Основи громадянського суспільства та політичних знань», «Основи медичних знань та БЖД», «Українська мова (за професійним спрямуванням)», «Філософія», «Інформаційні технології в галузі знань», «Основи менеджменту, маркетингу та адміністрування у сфері ФВ та спорту», «Теорія і методика фізичного виховання», «Сучасні методи дослідження в олімпійському та професійному спорті», «Спортивна педагогіка».

Як показує досвід, використання інформаційно-комунікаційних технологій у дисциплінах професійного циклу бакалаврів фізичної культури і спорту можна здійснити:

– акцентуючи увагу студентів на тому, що інформаційні технології у фізичній культурі застосовуються у широкому спектрі напрямів (навчальному процесі; спортивних тренуваннях; як засіб автоматизації процесів обробки результатів змагань та наукових досліджень; при організації моніторингу фізичного стану та здоров'я тих, хто займається; у спортивному менеджменті; рекламній, видавничій і підприємницькій діяльності у сфері фізичної культури й спорту);

– демонструючи студентам конкретні приклади задач, розв'язання яких значно спрощується з використанням відповідних програмних засобів;

– пропонуючи студентам у якості індивідуальних домашніх завдань підготовку презентацій про сучасні мобільні додатки, новітні гаджети, які можуть бути використані на заняттях спортом;

– розповідаючи студентам про різні дистанційні курси навчання.

Волинський національний університет імені Лесі Українки має власний університетський портал – Office 365 (рис. 1.), де у кожного студента та викладача є свій обліковий запис, доступ до якого можна здійснити навіть зі своїх мобільних пристроїв. Це значно полегшує навчання студентів саме спеціальності «Фізична культура і спорт», які досить часто не мають можливості бути присутніми на парах через участь у різноматнітних змаганнях та тренуваннях.

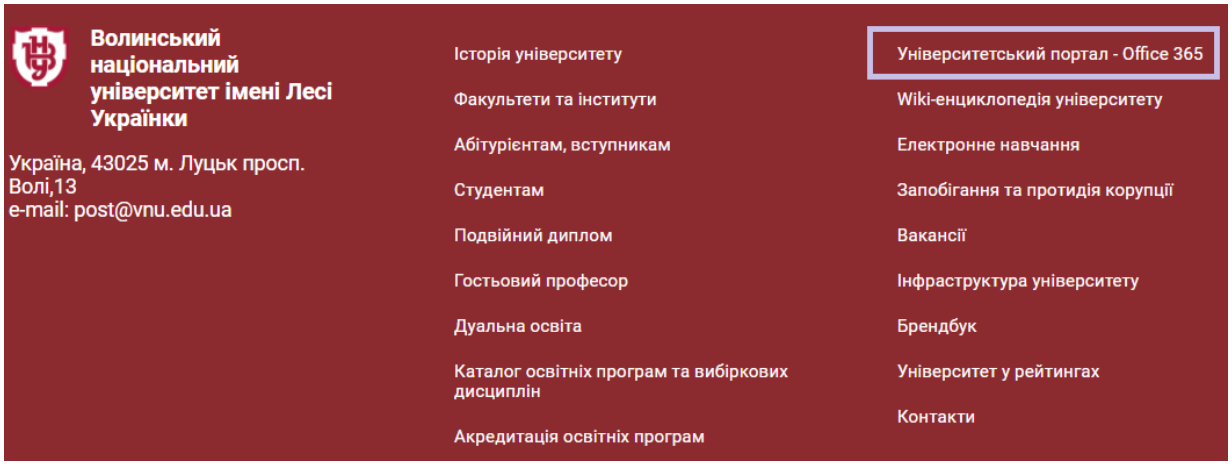


Рис. 1. Фрагмент зображення сторінки входу в університетський портал Office365

Microsoft Office 365 for Education має надійний комплекс інструментів для здійснення освітньої діяльності студентів та викладачів як в умовах стаціонарного навчання, так і дистанційного.

Пошта Outlook дає можливіть надсилати листи, навіть якщо електронна адреса отримувача невідома, достатньо лише вказати його ім'я та обрати із запропонованого списку студентів чи

© Миронюк Л. П., Ройко Л. Л.

викладачів університету. Викладач має можливість створювати відповідні групи, що економить час при надсиланні завдань чи вказівок (рис. 2).

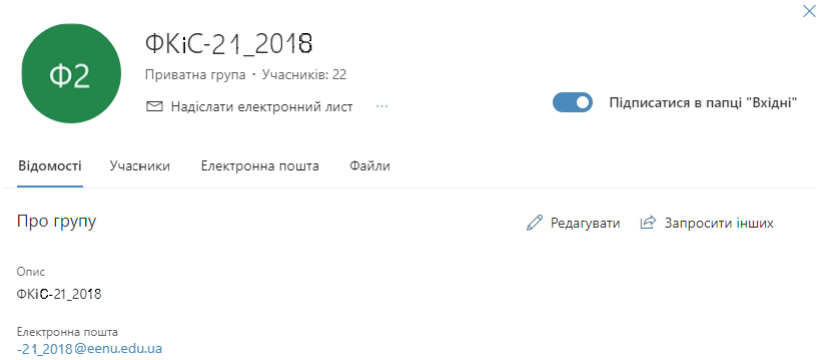


Рис. 2. Фрагмент зображення в Outlook групи «ФКіС-21»

Тестові завдання для підсумкового контролю знань, який проводиться у вигляді контрольної роботи, створені за допомогою надбудови Microsoft Forms. У день її написання кожен студент отримує відповідне посилання в Outlook на Forms [9].

Очевидно, що Word стане для студентів у нагоді при підготовці рефератів, курсових робіт.

З метою підвищення рівня зацікавленості навчальною дисципліною «Інформаційні технології в галузі знань» студентам пропонується як індивідуально-дослідне завдання створення презентації PowerPoint на тему «Спеціальні мобільні додатки в спорті». Студенти успішно справляються з завданням та опрацьовують інформацію про різноманітні додатки – RunKeeper; Nike; miCoach; Sworkit Lite; Fleetly; Крокомір; FatSecret тощо. Деякі студенти виявляють бажання підготувати презентації про фітнес-браслети, інші – про дистанційні тренування.

Уміння виконувати обчислення за допомогою табличного процесора Excel допоможе розв'язувати задачі, пов'язані з певними розрахунками. Зокрема, завдання з навчальної дисципліни «Біомеханіка» можуть бути досить швидко виконані, якщо студенти скористаються Excel. Нижче наведено приклади застосувань математичних та статистичних функцій в Excel Office 365.

1. За даними показника «Довжина гомілки» 40; 41,5; 45; 40; 44; 46; 39; 43; 54; 43 знайти числові характеристики вибірки:

a) вибіркове середнє $\bar{x}$ (середнє арифметичне);

b) вибіркову дисперсію $s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}$;

c) вибіркове середнє квадратичне відхилення $s = \sqrt{s^2}$;

d) коефіцієнт варіації $V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$;

e) похибку репрезентативності $m = \frac{s}{\sqrt{n}}$.

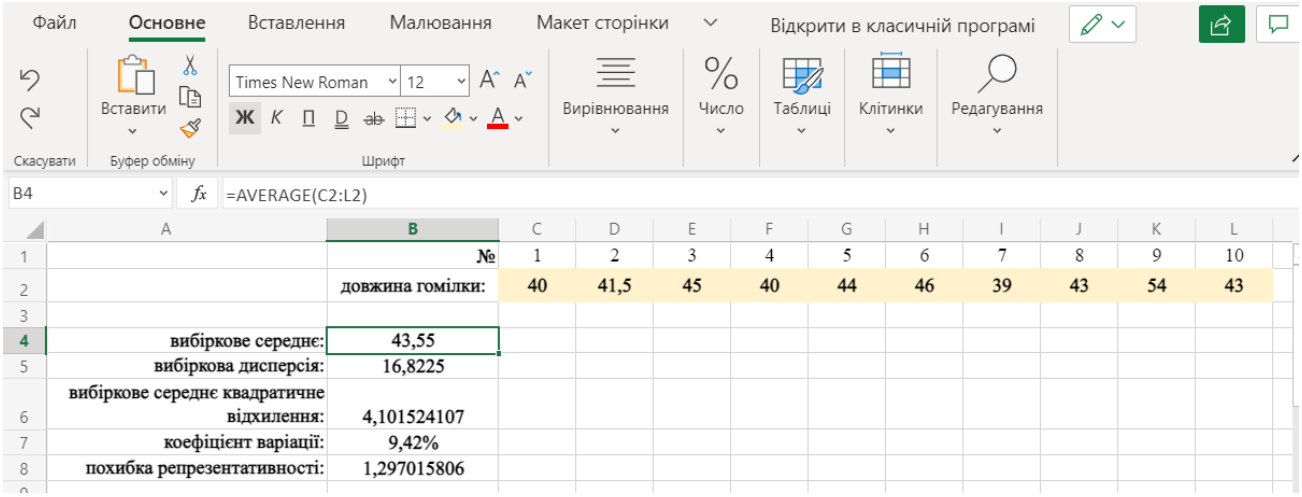
Замість громіздких формул та обчислень варто скористатись відповідними функціями Excel (рис. 3.):

– для обчислення вибіркового середнього: **AVERAGE** (в інших версіях Excel, наприклад, Excel 2003: **СРЗНАЧ)**;

– для обчислення вибіркової дисперсії: **VARPA** (в інших версіях Excel, наприклад, Excel 2003: **ДИСП)**;

– для обчислення вибіркового середнього квадратичного відхилення: **SQRT** (в інших версіях Excel, наприклад, Excel 2003: **КОРЕНЬ**).

© Миронюк Л. П., Ройко Л. Л.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2		довжина гомілки:	40	41,5	45	40	44	46	39	43	54	43
3												
4	вибіркове середнє:	43,55										
5	вибіркова дисперсія:	16,8225										
6	вибіркове середнє квадратичне відхилення:	4,101524107										
7	коефіцієнт варіації:	9,42%										
8	похибка репрезентативності:	1,297015806										

Рис. 3. Розв'язання завдання з «Біомеханіки» в Excel Office 365

Аналогічні обчислення студенти можуть виконати для показників «Довжина стопи» та «Довжина нижньої кінцівки» за даними:

23; 25; 26; 27; 27; 24; 26; 26; 26; 26,5 – для стопи;

98,5; 105; 108; 109; 110; 100; 105; 100; 124; 116 – для нижньої кінцівки.

2. Визначити, чи значний зв'язок між довжиною стегна та обсягом шиї за такими даними відповідних показників:

39; 44; 44; 45; 43; 42; 40; 50; 39; 48 – для стегна

52,5; 52; 54; 61; 60; 49; 50; 55; 63; 63 – для шиї,

обчислити коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{\frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n}}{\sigma_x \cdot \sigma_y},$$

та зробити висновок про ступінь зв'язку, враховуючи наступну теоретичну інформацію:

$r = 0$ – відсутній зв'язок;

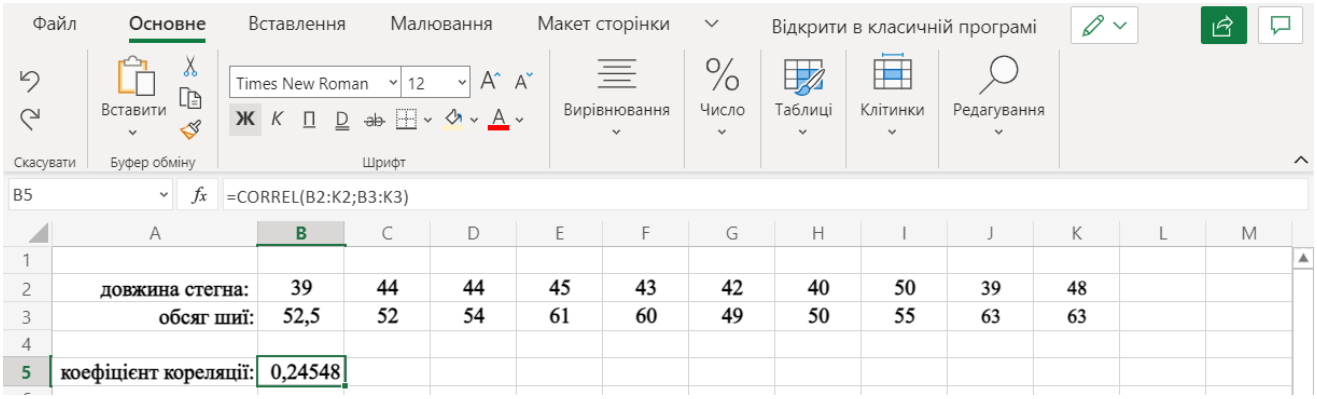
$r = 0 \div |0{,}3|$ – дуже слабкий зв'язок;

$r = |0{,}3| \div |0{,}5|$ – слабкий зв'язок;

$r = |0{,}5| \div |0{,}7|$ – значний зв'язок;

$r = |0{,}7| \div |0{,}99|$ – сильний зв'язок.

Замість громіздких формул та обчислень варто скористатись функцією **CORREL** (в інших версіях Excel, наприклад, Excel 2003: **КОРРЕЛ**) (рис. 4.).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	довжина стегна:	39	44	44	45	43	42	40	50	39	48		
3	обсяг шиї:	52,5	52	54	61	60	49	50	55	63	63		
4													
5	коефіцієнт кореляції:	0,24548											

Рис. 4. Розв'язання завдання з «Біомеханіки» в Excel Office 365

Оскільки $r \approx 0{,}25$, то зв'язок дуже слабкий.

Аналогічні обчислення студенти можуть виконати для визначення зв'язку між обсягом передпліччя та обсягом талії за такими даними відповідних показників:

21; 20; 28; 28; 32; 24; 30; 35; 27; 30 – для передпліччя;

71; 69; 75; 76; 80; 70; 78; 77; 70; 91– для талії.

Знання баз даних Access допоможе збирати й упорядковувати різного роду інформацію (наприклад, про учасників змагань).

© Миронюк Л. П., Ройко Л. Л.

При опрацюванні теми «Розробка матеріалів засобами Microsoft Publisher» студенти факультету фізичної культури, спорту та здоров'я, використовуючи шаблони програми, створюють буклети (з інформацією про спортивні змагання, матчі, турніри, чемпіонати, бої, досягнення відомих спортсменів); промо-буклети для тематичних заходів, візуалізацію навчально-наукового матеріалу; листівки; календарі; грамоти тощо.

Студенти також ознайомлені і працюють з хмарними додатками Google: Classroom, Drive, Docs, Calendar, Gmail тощо.

Корисним для бакалаврів факультету фізичної культури, спорту та здоров'я є хмарний сервіс WolframAlpha, доступ до якого здійснюється через посилання http://www.wolframalpha.com у браузері (без реєстрації користувача), а англомовний інтерфейс базується на використанні рядка для введення запитів.

Даний сервіс можна застосовувати для побудови різного роду графіків, зображень, поверхонь.

За допомогою вкладинки «Personal health» сервісу WolframAlpha студенти можуть ознайомлюватися з даними про харчування та потужними калькулятори для схуднення, обчислювати та порівнювати поживні речовини у звичайних продуктах харчування та фірмових продуктах; підраховувати калорії, спалені сотнями різних видів діяльності, з урахуванням віку, ваги та статі.

Наприклад, якщо ввести в рядок для запитів «swimming» і задати наступні параметри:

– час: 30 хв;
– швидкість: 2 км/год;
– стать: ч;
– вага: 80 кг,

то отримаємо інформацію про метаболічні властивості та частоту пульсу плавця (рис. 5).

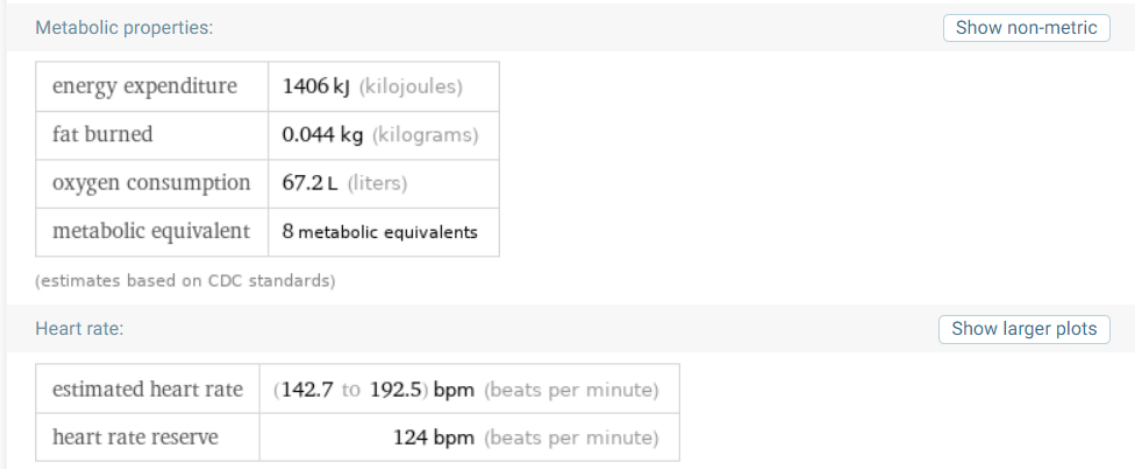


Рис. 5. Фрагмент зображення даних, отриманих базою знань WolframAlpha

Крім знаходження зазначених характеристик, WolframAlpha знаходить й інші, а також ілюструє порівняльну характеристику для чоловіків та жінок, з урахуванням їх віку (рис. 6).

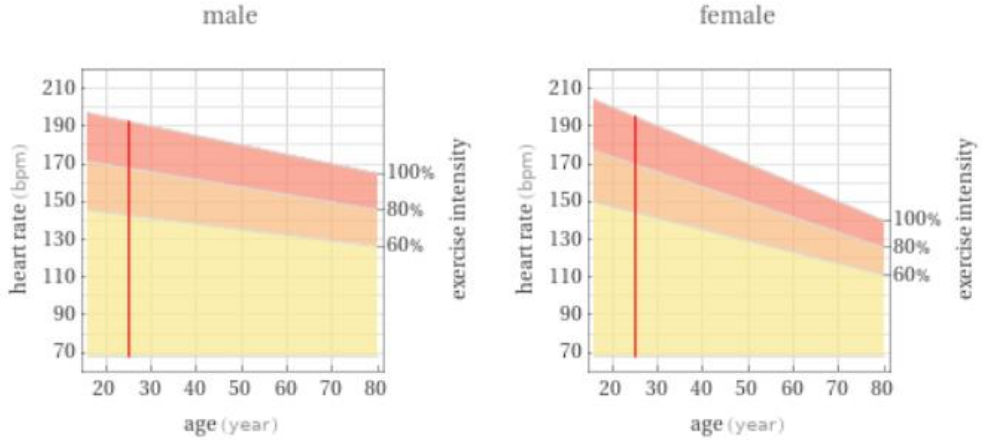


Рис. 6. Фрагмент зображення порівняльної характеристики, отриманих базою знань WolframAlpha

Варто наголосити студентам, що при вивченні навчальної дисципліни «Іноземна мова (за професійним спрямуванням)» та підготовці до здачі заліків чи екзаменів вони можуть скористатися

© Миронюк Л. П., Ройко Л. Л.

програмними засобами вивчення іноземної мови («Triple Play Plus»; «English Platinum 2000»; «Інтенсивний курс англійської мови», «Кращий курс англійської мови» тощо); комп'ютеризованими курсами («Reward», «ElanTes», «Edusof» та ін.); мовними центрами дистанційного та онлайн навчання, скайп уроками (Студія іноземних мов «FREE WAY online school»; Школа іноземних мов UNIVERSE CENTER; Центр вивчення іноземних мов по Skype «SkyLingua»; Лінгвістичний центр «Світ Іноземних Мов»; Онлайн-школа англійської мови «Englishgrad» тощо).

При вивченні навчальної дисципліни «Фітнес» студентам варто навести приклади комп'ютерних програм, які використовуються у сфері оздоровчого фітнесу. Серед них можна відмітити [3] такі, що

– слугують для організації самостійних занять: «Yourself Fitness» (Respondesign in.), «Open Fitness», «Фітнес для жінок» (розробник – Д. Луценко);

– є електронними щоденниками тренувального процесу: «Exlib» (Norsk Video Digitech AS);

– є програмами, що забезпечують діагностику, профілактику та зміцнення здоров'я на основі коригування способу життя і проведення заходів по оздоровленню: «Здоров'я сім'ї» (розробник – І. Дроздюк);

– є програмами вдосконалення організації занять із використанням засобів фітбол-тренінгу: «Fitball training» (розробник – О. Лядська) [8].

При вивченні теми «Створення Веб-сайту» майбутні фахівці фізичної культури і спорту ознайомлюються з основними прийомами, які необхідні для створення Веб-сайтів та Веб-сторінок, засвоюють методологію та технологію оформлення інтерфейсу Веб-сторінок. Створення студентами власної Веб-сторінки засобами HTML (*HyperText Markup Language*) дозволяє закріпити поняття про мову розмітки гіпертексту HTML та способи виконання дій з командами-тегами для створення Веб-сторінок, з якими документ визначений та структурований.

Процес підвищення інтересу до спорту і включення молоді у фізкультурно-спортивну діяльність, на сьогодні, можна забезпечити створенням on-line уроків за участю переможців різного роду змагань. Як засвідчують дослідження, інтерес до спортивних сайтів постійно зростає. На перші позиції виходять інтернет-технології, котрі дозволяють створення ефективних систем програмно-методичного, ресурсного забезпечення фізкультурної освіти населення.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Використання інформаційно-комунікаційних технологій у професійній підготовці майбутніх фахівців фізичної культури і спорту є рушієм інноваційних процесів у вищій фізкультурній освіті. Знання, вміння та навички отримані при вивченні дисципліни «Інформаційні технології в галузі знань», мають стати початком для застосування сучасних інформаційних технологій при вивченні загальних, професійно-орієнтованих і спеціальних дисциплін у процесі авдиторної та самостійної роботи студентів. Даний навчальний курс, завдяки ретельно дібраному викладачем матеріалу, розширює кругозір студентів, допомагає краще розуміти інші навчальні дисципліни.

Серед перспектив досліджень у цьому напрямку варто виділити створення методичних матеріалів, посібників, курсів лекцій, збірників задач, що враховували б професійну спрямованість студентів з використанням інформаційно-комунікаційних технологій.

Список бібліографічного опису

1. Ажиппо О. Ю., Дорофєєва Т. І. Використовування комп'ютерних технологій в системі педагогічного контролю у спорті. Теорія та методика фізичного виховання. 2007. № 11. С. 3–6.

2. Бубнов В. Формування інформаційної культури майбутніх фахівців фізичного виховання, спорту та рекреації. Молода спортивна наука України : зб. наук. пр. в галузі фіз. культури та спорту. Л., 2004. Вип. 8. т. 4. С. 43–46.

3. Гончарова Н, Денисова Л., Усиченко В. Використання сучасних інформаційних технологій у сфері оздоровчого фітнесу. Фізична культура, фізичне виховання різних груп населення: збірник наукових праць. 2012. №2(18). С. 163–166.

4. Івчатова Т. В. Інформаційні технології у фізичному вихованні студентської молоді. Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. Науковий журнал. Харків, 2010. №9. С. 30–33.

5. Ільків О., Пришляк О., Матвіїв В. Міжпредметні зв'язки як один із факторів формування інформаційної культури майбутніх фахівців фізичної культури та спорту. Молода спортивна наука України: зб. наук. пр. з галузі фіз. виховання, спорту і здоров'я людини / за заг. ред. Євгена Приступи. Львів, 2013. Вип. 17, т. 4. С. 71–77.

6. Качан О. А. Упровадження інноваційних технологій у фізкультурно-оздоровчу та спортивну діяльність закладів освіти: навчально-методичний посібник. Слов'янськ: Витоки, 2017. 138 с.

7. Клопов Р. В. Сучасний стан готовності майбутніх фахівців з фізичного виховання та спорту до застосування інформаційних технологій у професійній діяльності. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах. 2013. Вип. 33. С. 567–573.

8. Лядська О. Ю. Застосування комп'ютерної програми «Fitball training» для удосконалення організації фізкультурно-оздоровчих занять з жінками першого зрілого віку із застосуванням футболу. Фізична культура, фізичне виховання різних груп населення. Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. 2010. 12. С. 76–80.

© Миронюк Л. П., Ройко Л. Л.

9. Мамчич Т. І., Миронюк Л. П., Ройко Л. Л. Досвід використання інформаційно-комунікаційних технологій при викладанні математичних дисциплін в умовах дистанційного навчання. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». ЛНТУ, 2020. №39, С. 70–77.

References

1. Azhyppo O. Yu., Dorofieieva T. I. Vykorystovuvannia kompiuternykh tekhnolohii v systemi pedahohichnoho kontroliu u sporti. Teoriia ta metodyka fizychnoho vykhovannia. 2007. № 11. S. 3–6.
2. Bubnov V. Formuvannia informatsiinoi kultury maibutnikh fakhivtsiv fizychnoho vykhovannia, sportu ta rekreatsii. Moloda sportyvna nauka Ukrainy : zb. nauk. pr. v haluzi fiz. kultury ta sportu. L., 2004. Vyp. 8. t. 4. S. 43–46.
3. Honcharova N., Denysova L., Usychenko V. Vykorystannia suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii u sferi ozdorovchoho fitnesu. Fizychna kultura, fizychne vykhovannia riznykh hrup naselennia: zbirnyk naukovykh prats. 2012. №2(18). S. 163–166.
4. Ivchatova T. V. Informatsiini tekhnolohii u fizychnomu vykhovanni studentskoi molodi. Pedahohika, psykholohiia ta medyko-biolohichni problemy fizychnoho vykhovannia i sportu. Naukovyi zhurnal. Kharkiv, 2010. №9. S. 30–33.
5. Ilkiv O., Pryshliak O., Matviiv V. Mizhpredmetni zviazky yak odyn iz faktoriv formuvannia informatsiinoi kultury maibutnikh fakhivtsiv fizychnoi kultury ta sportu. Moloda sportyvna nauka Ukrainy: zb. nauk. pr. z haluzi fiz. vykhovannia, sportu i zdorovia liudyny / za zah. red. Yevhena Prystupy. Lviv, 2013. Vyp. 17, t. 4. S. 71–77.
6. Kachan O. A. Uprovadzhennia innovatsiinykh tekhnolohii u fizkulturno-ozdorovchu ta sportyvnu diialnist zakladiv osvity: navchalno-metodychnyi posibnyk. Sloviansk: Vytoky, 2017. 138 s.
7. Klopov R. V. Suchasnyi stan hotovnosti maibutnikh fakhivtsiv z fizychnoho vykhovannia ta sportu do zastosuvannia informatsiinykh tekhnolohii u profesiinii diialnosti. Pedahohika formuvannia tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh. 2013. Vyp. 33. S. 567–573.
8. Liadska O. Yu. Zastosuvannia kompiuternoi prohramy «Fitball training» dlia udoskonalennia orhanizatsii fizkulturno-ozdorovchykh zaniat z zhinkamy pershoho zriloho viku iz zastosuvanniam futbolu. Fizychna kultura, fizychne vykhovannia riznykh hrup naselennia. Pedahohika, psykholohiia ta medyko-biolohichni problemy fizychnoho vykhovannia i sportu. 2010. 12. S. 76–80.
9. Mamchych T. I., Myroniuk L. P., Roiko L. L. Dosvid vykorystannia informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii pry vykladanni matematychnykh dystsyplin v umovakh dystantsiinoho navchannia. Naukovyi zhurnal «Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo». LNTU, 2020. №39, S. 70–77.

© Миронюк Л. П., Ройко Л. Л.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-15
УДК 004.5
Міскевич Оксана Іванівна, асистент
https://orcid.org/0000-0002-5009-2391
Каган Іван Володимирович, студент
Рожко Олександр Антонович, студент
Луцький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ТЕСТУЮЧИХ ПРОГРАМ ПРИ ВИБОРІ НОУТБУКА ДЛЯ НАВЧАННЯ

Міскевич О.І., Каган І.В., Рожко О.А. Як обрати оптимальний ноутбук для навчання. У статті розглянуто вибір ноутбука для навчання. На які критерії потрібно звертати увагу в першу чергу, починаючи від напрямку навчання та поставленими задачами і закінчуючи технічними характеристиками. Освітлено основні моменти покупки вживаної техніки на популярних платформах та розглянуто як правильно перевірити ноутбук під час отримання. Описано по одному варіанту ноутбуків кожного класу.
Ключові слова: ноутбук для навчання, вибір ноутбука, основні критерії вибору персонального комп'ютера, основні технічні характеристики ноутбука.

Мискевич О.И., Каган И.В., Рожко А.А. Как выбрать оптимальный ноутбук для учебы. В статье рассмотрен выбор ноутбука для учебы. На какие критерии нужно обращать внимание в первую очередь, начиная от направления обучения и поставленными задачами и заканчивая техническими характеристиками. Освещены основные моменты покупки подержанной техники на популярных платформах и рассмотрены как правильно проверить ноутбук при получении. Описано по одному варианту ноутбуков каждого класса.
Ключевые слова: ноутбук для обучение, выбор ноутбука, основные критерии выбора персонального компьютера, основные технические характеристики ноутбука.

Miskevych O.I., Kahan I., Rozhko O. How to choose the optimal laptop for learning. The article discusses how to choose a laptop for learning. What criteria should be paid attention to in the first place, starting from the field of study and objectives and ending with the technical characteristics. Highlights the purchase of used equipment on popular platforms and considered how to properly check the laptop upon receipt. One variant of laptops of each class is described.
Key words: laptop for training, choice of laptop, basic criteria for choosing a personal computer, basic technical characteristics of a laptop.

Постановка проблеми.

Під час вступу у вищий навчальний заклад перед кожним майбутнім здобувачем освіти постає питання, який персональний комп'ютер обрати для себе? Який ноутбук кращий, скільки він коштує та в яких випадках варто переплатити за характеристики? На які важливі технічні характеристики потрібно звертати увагу та які є критерії для вибору? Що краще вибрати та за які кошти? Як не помилитися з вибором щоб в результаті не розчаруватися в придбаній техніці? Який бренд кращий серед усіх та якого виробника краще обрати?

Насамперед потрібно розуміти для яких саме завдань ви хочете купити ноутбук: програмування, дизайн, моделювання, розробка ігор або ж просто друк у різних текстових редакторах. Від цих параметрів вже і буде залежати наступний критерій вибору. Наприклад для моделювання та дизайну потрібні ноутбуки з потужними процесорними та графічними ресурсами, а для набору тексту буде досить і максимально бюджетного та простого варіанту. Дуже важливим критерієм є не тільки характеристики, а й компактність девайсу. Якщо ви тендітна дівчина, думаю вам навряд сподобається носити з собою «машину», вага якої буде не менше 2.5-3 кілограмів. Також не на останньому місці знаходиться час роботи від акумулятора, так як постійно носити з собою блок живлення та невчасно шукати розетку не до вподоби кожному. Так як персональний комп'ютер – це засіб з яким буде постійний зоровий контакт, потрібно звернути увагу на зовнішній вигляд апарату. На ноутбуці з гарним стилем та сучасним дизайном праця буде значно приємніша.

Викладення основного матеріалу

До цього ми розглядали потребу ноутбука як щось більш теоретичне і описували всі нюанси того чи іншого аспекту під час вибору робочої машини для конкретного напрямку в навчанні – від самих простих сценаріїв використання і до більш складних. Зараз же пора розглянути і іншу сторону, більш технічну та складну, саме ту яка більшою мірою і буде визначати основні технічні особливості специфікації пристрою, адже наше завдання – підібрати оптимально потужний ноутбук для конкретних завдань.

Спершу слід розглянути основні складові ноутбука, але не ті, про які ви можете почути зазвичай, а дещо інакші, виокремлені особисто нами. І так, згідно до нашої ідеології, є кілька основних

© Міскевич О.І., Каган І.В., Рожко О.А.

речей на котрі варто звернути увагу, до таких ми відносимо – розмір, вагу, акумулятор (фактичний час роботи від нього), екран, процесор, відеокарту, оперативну пам'ять, об'єм та тип накопичувачів. При цьому в певних випадках буде доцільно залишити себе, для прикладу, без відеокарти, адже є випадки коли вона по суті не потрібна. То ж давайте розглянемо кожну з цих умовних складових окремо.

Почнемо з габаритів – розмірів та ваги. Ноутбуки на ринку представлені в багатьох моделях, з різною діагоналлю, до основних можна віднести 13, 14, 15.6, 17.3 дюйма. Звісно зараз не рідкість і 16 дюймові моделі, але вони мінімально відрізняються від 15.6 дюймів. Розмір діагоналі значно впливає на зручність роботи за пристроєм, але чим більший ноутбук – тим складніше його носити з собою, в той же час – 13-дюймові можуть здаватись надто маленькими, тому тут найкраще зупинитись на 14 або 15.6-дюймових моделях. Це буде балансом між зручністю та компактністю.

Визначившись з розмірами, переходимо до наступного пункту – акумулятор. В випадках, коли ви постійно носите ноутбук з собою, ємність акумулятора важливий елемент, зазвичай достатньо буде близько 3-4 годин роботи від акумулятора для того, щоб вам вистачало його на день користування. І доволі добре, що більшість сучасних моделей підходять під цей параметр, саме через це зупинятись на цьому не будемо, але ще повернемось до питання ємності трошки пізніше.

Наступний компонент – екран. Тут не можливо виділити щось конкретне, але з особистого досвіду краще за все підходять FullHD, IPS панелі з достатнім запасом яскравості, ми вважаємо що мінімально підходящий варіант – 200 кд/$м^2$. Такі екрани збалансовані по ціні та своїх властивостях. Все що вище – краще. Все що нижче може викликати дискомфорт при користуванні.

Процесор. Найбільш важливий аспект при виборі моделі, адже від потужності процесора і залежить комфорт повсякденного користування. Більшість сучасних 4-ядерних процесорів забезпечують достатній комфорт повсякденного користування, але все ж моделі з багатопоточністю будуть дивитись краще. Якщо ж розглядати більш старі покоління процесорів – більшість з них також підходять, але якщо ви розглядаєте вживані варіанти то певні нюанси при виборі все ж присутні [1].

Відеокарта. Найменш важливий пункт для більшості. Зважаючи на низьку необхідність саме для навчання можна зупинятись на ноутбуках з вбудованим в процесор відеоядром, або ж на відеокартах початкового рівня, до таких можна віднести відеокарти серії Nvidia MX, Nvidia GTX 1050. Якщо ж дивитись в сторону вживаних варіантів то рекомендуємо варіанти не нижче дев'ятої серії від компанії Nvidia. Обирати ноутбуки на відеокартах AMD не рекомендуємо, адже часто з ними виникають нюанси при роботі [3].

Оперативна пам'ять. Тут все максимально просто – для комфорту достатньо 8 Гб в двоканальному режимі, хоча 16 звісно ж краще. Щодо стандартів пам'яті різниці особливої немає, як DDR3 так і DDR4 працюють чудово і справляться з всіма поставленими задачами. Щодо накопичувачів то наполегливо рекомендуємо обирати швидкісні M2 SSD накопичувачі, найкраще стандарту NVME. Так склалось що Windows 10 на жорстких дисках надто повільно працює і це факт, з яким треба змиритись, жодні методи оптимізації системи не дозволяють досягти навіть близької швидкості в порівняні з SSD. Об'єм – хоча б 256 Гб, менше буде не вистачати. Проте, якщо ви накопичуєте ще якісь файли то варто подумати і про додатковий жорсткий диск в ролі файлового сховища.

Ми в більшій чи меншій мірі познайомились з аспектами технічних характеристик, зараз же пропоную розглянути кілька можливих варіантів початкового та середнього цінового рівня, які будуть оптимально підходити для користування і принесуть лише позитивні емоції. Слідуючи вище написаній інструкції ми відсортували можливі моделі на одному з найбільших інтернет магазинів. Якщо відкинути не популярні та мало відомі бренди, ми отримаємо приблизну ціну від 15-16 тисяч гривень для початкових моделей та близько 20 тисяч для моделей середнього рівня потужності.

І так, на початковому рівні наш вибір зупинився на Lenovo IdeaPad 5, а саме моделі 14ARE05 (81YM00F2RA), в основі якої лежить чотирьох ядерний AMD Ryzen 3 4300U з 8 Гб DDR4 пам'яті та 14-дюймовим Full HD IPS екраном. А батарея на 56.5 Вт/год в поєднані з низько вольтажним процесором дають достатній запас автономності. Це добре збалансована модель з хорошими характеристиками та корпусом з металу та пластику. До того ж модель свіжа тому в майбутньому можна очікувати зниження ціни, що зробить його ще привабливішим.

Наступний варіант – більш дорогий і підходить для задач середнього рівня. Ми обрали модель HP Laptop 15s-eq1003ua (1U9R9EA). Ціна на нього на момент написання статі була акційною та становила 18999, стандартна ціна – 21999. По характеристиках тут все куди цікавіше. Процесор вже шести ядерний – Ryzen 5 4500U. Оперативної пам'яті 16 Гб, а SSD накопичувач на 512 Гб. Екран такий же Full HD, IPS, проте вже 15.6 дюймів. Акумулятор слабший, але в приємливому діапазоні.

© Міскевич О.І., Каган І.В., Рожко О.А.

Інтегрована відеокарта Vega 6, по потужності близька до мобільної GTX 1050, та обходить MX 350, то ж з більшістю завдань справиться повністю.

Щодо моделей високого рівня, то з ними значно простіше, більшість мають 16 Гб оперативної пам'яті та обладнані SSD диском на 512 Гб. Ціна на них теж вища – від 26 тисяч. Ми обрали Asus ROG Strix G15 G512LI-HN058 (90NR0381-M01630). Доволі довга назва, проте дуже цікаві характеристики і всього за 26 999. І дійсно, за дану суму ми отримуємо один з кращих на ринку варіантів в поєднанні з якістю компанії Asus. Модель обладнана по першому слову техніки – тут вже і 144 Гц екран і потужна відеокарта – GTX 1650 Ti на 4 Гб відеопам'яті. Процесор не відстає – платформа обладнана чотирьох ядерним, восьми поточним i5 10300H. Об'єм пам'яті стандартний для такої ціни – 16 Гб оперативної пам'яті та 512 Гб SDD.

Ми розглянули кілька нових варіантів які повинні повністю покрити весь обсяг необхідних завдань і навіть серед цих трьох моделей кожен знайде щось підходяще для нього. Проте, варто зауважити, що моделі розглянуті вище хоча і поділенні на три класи, але в ціновій політиці всі вони лежать вище середнього цінового діапазону, адже навіть 15 тисяч це вже доволі багато. Саме тому нам слід розглянути і вживані ноутбуки, вони є чудовим варіантом для того, щоб заощадити декілька тисяч гривень, або ж шансом для того, щоб за ту ж суму отримати значно вищу потужність.

Тут долучаються дешевші моделі з процесорами значно старішими. Рекомендації щодо вибору моделі практично не змінюються в порівнянні з наведеними вище. Єдине вимоги до чого змінюються це процесор. Оптимальними варіантами в даному випадку будуть лише процесори Intel Core i5 або ж Core i7. Якщо ваш вибір – низьковольтний процесор (такі легко розпізнати по приставці -U в кінці та 15 Вт теплопакету) то придивлятись варто процесори не нижче 7 покоління. Для прикладу, як чудовий варіант, можна навести i7 7500U. Якщо будете обирати процесори з стандартним теплопакетом (близько 45 Вт), вимоги будуть дещо нижчі. Тут вже можна дивитись і на процесори 6 покоління, та і навіть моделей по типу Intel Core i7 4720HQ буде цілком достатньо. Отож, підводячи підсумок ми визначили, що вибір вживаних моделей, по-перше, дозволяє купити модель значно дешевше, де ціни будуть починатись вже з 8-9 тисяч гривень, а, по-друге, значно розширюється вибір доступних до купівлі варіантів.

При виборі вживаних ноутбуків більшість з нас звернуться до відомих платформ онлайн-оголошень. І хоча давати рекомендації щодо безпечної купівлі товару не доречно, адже про них всі або знають, або можуть прочитати, але про те як не прогадати і не опинитись в сервісі з щойно придбаним пристроєм ми точно повинні розказати. Текст написаний нижче передбачає, що вив же обрали достатньо надійного продавця, вибрали ноутбук та замовили його.

Що ж необхідно робити коли ноутбук прийде в поштове відділення? Підготуйте флешку з необхідним переліком програмного забезпечення, яке з високою імовірністю вбереже вас від не якісного товару. До найбільш необхідних програм ми відносимо такі:

1) Aida64

Допоможе вам переглянути детальну інформацію про комп'ютер та його стан. Зокрема – рівень зносу акумулятора. І тут варто зауважити – він не повинен бути вище 20%. До речі, цей нюанс краще одразу обговорити з продавцем. Окрім цього через Aida ви можете запустити стрес-тест системи, щоб перевірити чи не перегрівається процесор та чи немає тротлінгу. Ще одна важлива можливість – тест дисплею, щоб перевірити його на биті пікселі або засвіти [2].

© Міскевич О.І., Каган І.В., Рожко О.А.

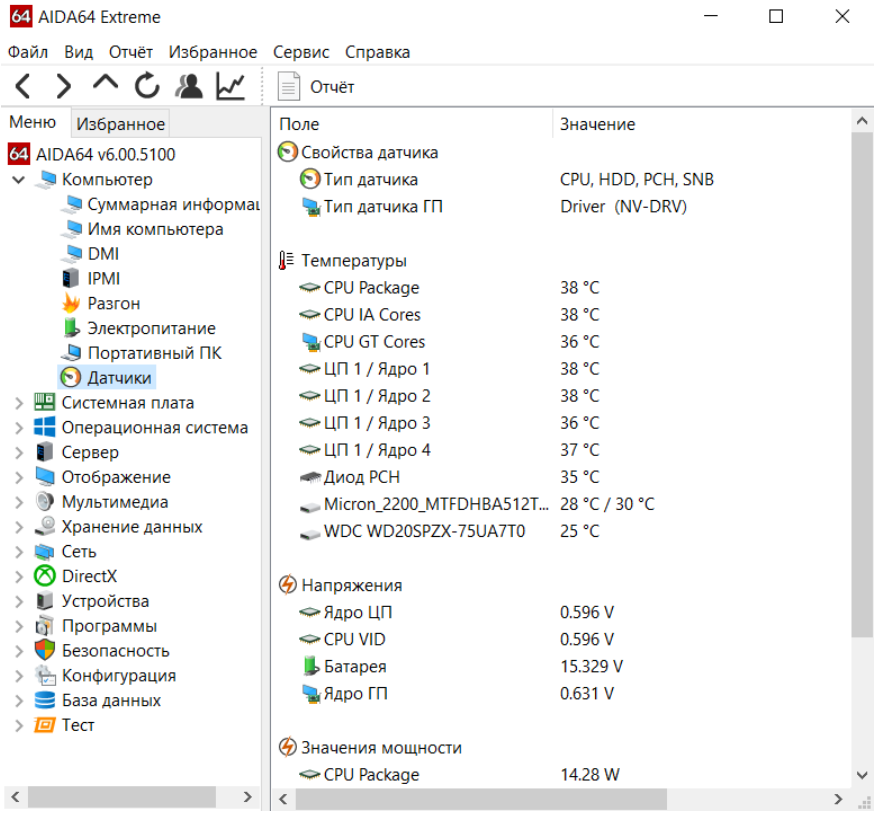


Рисунок 1 – Тестуюча програма Aida64

2) FurMark

Чудовий застосунок для тесту відеокарти. Допоможе перевірити відеокарту на працездатність та відсутність артефактів. Всі тести рекомендуємо проводити при підключені до зарядки. Достатньо 5 хвилин для кожного тесту, щоб побачити більшість вагомих нюансів. Також рекомендуємо мати на флешці звуковий файл щоб перевірити, чи працюють динаміки. Не забудьте перевірити диспетчер пристроїв на наявність помилок [2].

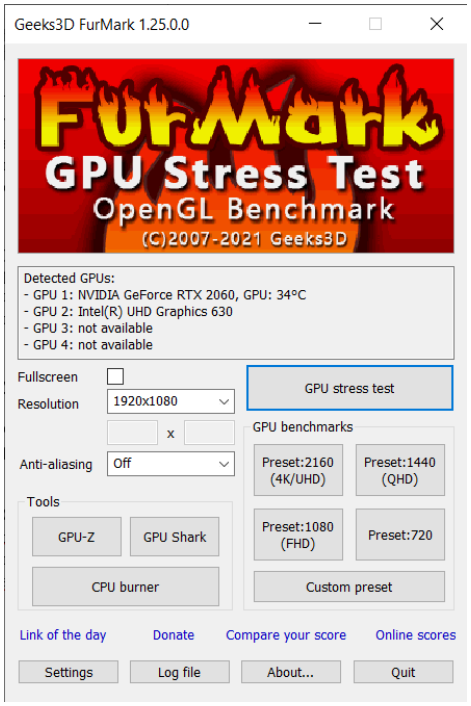


Рисунок 2 – Тестуюча програма FurMark

© Міскевич О.І., Каган І.В., Рожко О.А.

3) Crystal Disk Info

Найбільш популярний додаток для тестування запам'ятовуючих пристроїв. В ньому можна знайти детальну інформацію про стан жорских дисків або швидкісних накопичувачів: починаючи від кількості запусків HDD та закінчуючи загальним часом роботи та кількістю несправних секторів на поверхні накопичувача [2].

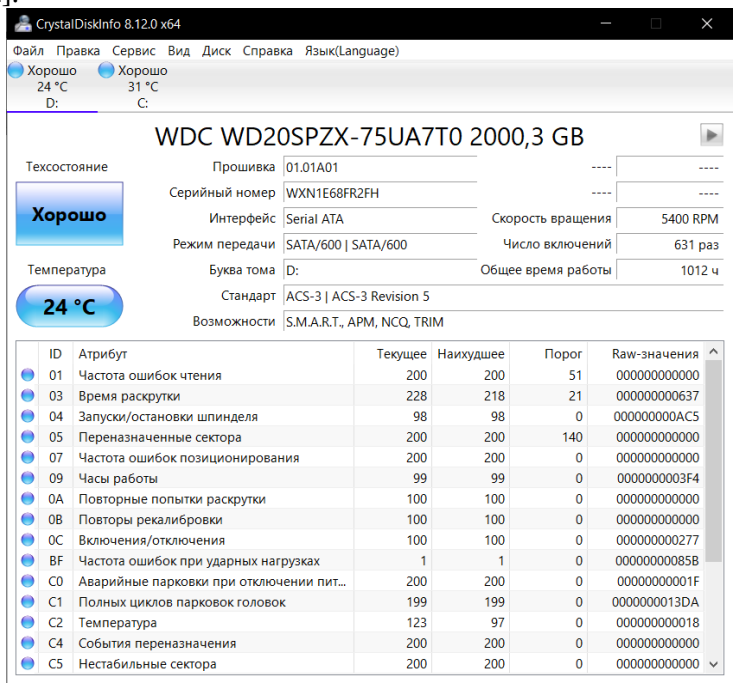


Рисунок 3 – Тестуюча програма Crystal Disk Info

Важливий елемент – зовнішній огляд. Проведіть оцінку стану корпусу, на фото легко приховати нюанси – будьте впевнені, що вони точно відсутні. До того ж хороший стан корпусу буде вказувати на бережне користування, що безперечно є плюсом. Перевірте всі usb-роз'єми за допомогою флешки. Не завадять і навушники для перевірки відповідного роз'єму. Якби це дивно не звучало - уважно послухайте ноутбук, вентилятори повинні працювати чітко, без зайвих звуків.

Наведені вище пункти повинні допомогти вам при перевірці вживаного ноутбука. Вони перевіряють всі можливі до огляду аспекти і при виявлені будь яких неочікуваних проблем краще відмовтесь від покупки, збережіть власні кошти.

Висновки

Вибір ноутбука для навчання це не легке завдання, але цілком можливе навіть для того, хто не дуже розуміється в цьому напрямку. Головне що потрібно зробити – це визначити для яких завдань вам потрібен даний засіб. Якщо це лише друк у текстових редакторах, то досить буде і ноутбуку з нижнього (дешевого) цінового сегменту. Якщо це розробка програмного забезпечення або дизайнерські роботи – потрібен ноутбук середньої цінової категорії і вже якщо ви хочете займатися моделюванням або розробкою ігор, то вам потрібен ноутбук високої цінової категорії. Вже далі вибір зводиться до того, що ви визначаєте другорядні характеристики, наприклад розмір дисплею або ємність акумулятора.

Список бібліографічного опису

1. Христинець, Н., Чернящук, Н., Міскевич, О., Повстяна, Ю., & Довгонюк, М. (2020). Технології апаратної віртуалізації мікропроцесорів Intel . Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (40), 158-163.
2. Міскевич О., Багнюк , Н., Христинець , Н., & Марчевська О. (2020). Автоматизація виявлення дефектної продукції методами машинного навчання . Комп'ютерно-Інтегровані Технології: Освіта, Наука, Виробництво, (39), 175-180
3. Христинець , Н., Михалик А., & Міскевич О. (2020). Продуктивність технології CrossFire X при навантаженні відеоадаптерів мікропроцесорів AMD. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (39), 213-217.

References

1. Khrystynets, N., Cherniashchuk, N., MiskevychO., Povstiana, Y., & Dovgonyuk, M. (2020). Technology of hardware virtualization of microprocessors Intel . Computer-integrated technologies: education, science, production, (40), 158-163.
2. Miskevych O., Bahniuk , N., Khrystinets , N., & Marchevska , O. (2020). Automation of defective products detection by machine learning methods. Computer-integrated technologies: education, science, production, (39), 175-180.
3. Khrystynets , N., Mikhalyk A., & Miskevych O. (2020). Performance of CrossFire X technology when loading microprocessor video adapters on the AMD. Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production, (39), 213-217

© Міскевич О.І., Каган І.В., Рожко О.А.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-16
УДК 004.9:51-74
[1]**Падалко Анатолій Михайлович,** кандидат фіз.-мат. наук, доцент
https://orcid.org/0000-0001-8030-5493
[2]**Падалко Ніна Йосипівна,** кандидат педагогічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0003-3600-5711
[2]**Падалко Катерина Анатоліївна,** студентка
[1]**Подоляк Володимир Миколайович,** кандидат технічних. наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-8521-1258
[1]Луцький національний технічний університет, , м. Луцьк, Україна
[2]Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ВИКОРИРИСТАННЯ СИСТЕМИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М. Використання системи диференціальних рівнянь для математичного моделювання електричних машин постійного струму. У статті проаналізована прикладна математична задача застосування диференціальних рівнянь для математичного моделювання двигунів постійного струму в додатку Simulink середовища MATLAB.
Ключові слова: диференціальні рівняня, математичне моделювання, математичні задачі, електричні двигуни, Simulink.

Падалко А. М., Падалко Н. И., Падалко К.А., Подоляк В. М. Использование системы дифференциальных уравнений для математического моделирования электрических машин постоянного тока. В статье проанализирована прикладная математическая задача применения дифференциальных уравнений для математического моделирования двигателей постоянного тока в приложении Simulink среды MATLAB.
Ключевые слова: дифференциальне уравненя, математическое моделирование, математические задачи, электрические двигатели, Simulink.

Padalko A.M., Padalko N.I., Padalko K.A., Podoliak V.M. The use of a system of differential equations for mathematical modeling of direct current electric machines. The article analyzes the applied mathematical problem of applying differential equations for mathematical modeling of DC motors in the Simulink application of the MATLAB environment.
Key words: differential equations, mathematical modeling, mathematical problems, electric motors, Simulink.

Постановка наукової проблеми. Електричні машини постійного струму знайшли найширше застосування в промисловості і побуті, отже **актуальним** завданням є пошук оптимальних режимів роботи електродвигунів постійного струму.

Математична задача опису електромагнітних і електромеханічних процесів в електичних двигунах розв'язується за допомогою їсистем диференціальних рівнянь.

Метою статті є омотримання розв'язку математичної задачі з моделювання двигуна постійного струму за допомогою системи диференціальних рівнянь.

Відповідно до мети було поставлено завдання здійснити розробку і дослідження комп'ютерної їмоделі двигуна постійного струму.

Для оптимізації розв'язку математичної задачі едектропостачання пропонуємо використати додаток Simulink середовища MATLAB.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

В двигуні постійного струму з паралельним ється збудженням (є рис. 1) обмотка збудження ввімкнена паралельно якорю. В цьому випадку $\overline{u}_a = \overline{u}_в = \overline{u}$.

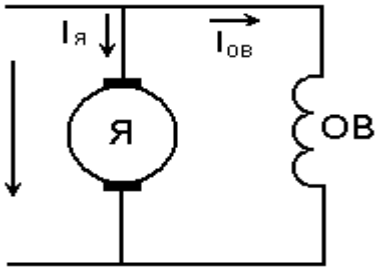


Рис. 1. Схематичне зображенн двигуна постійного струму з паралельним їзбудженням

© Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М.

Електромагнітні і електромеханічні процеси в цьому двигуні можуть бути описані за є допомогою такої системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \bar{u} = T_в \dfrac{d\bar{i}_в}{dt} + \bar{i}_в \\ \bar{u} = T_a \dfrac{d\bar{i}_a}{dt} + \bar{i}_a + \bar{\Phi}_в \bar{\omega}_m \\ T_m \dfrac{d\bar{\omega}_m}{dt} = \bar{\Phi}_в \bar{i}_a - \bar{M}_H \\ \bar{\Phi}_в = c'_ф \bar{i}_в \end{cases} \qquad (1)$$

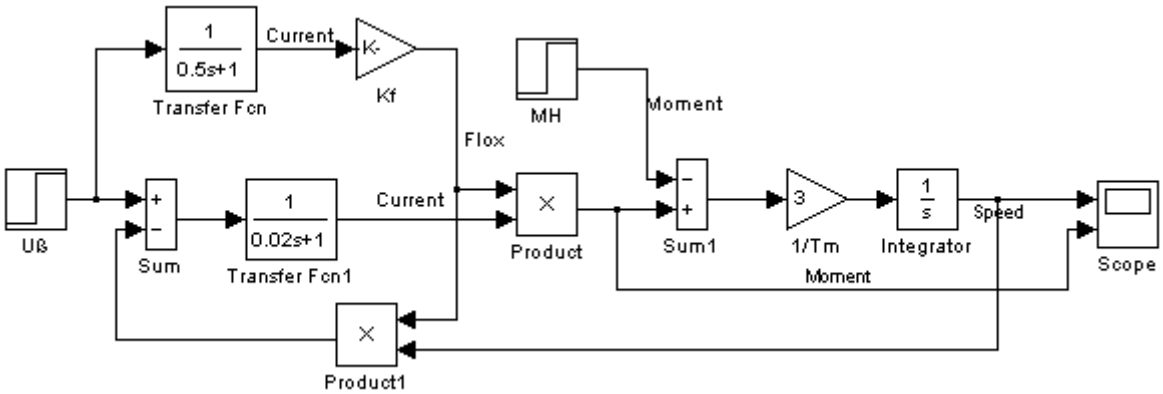


Рис. 2. Модель двигуна ємо постійного струму з паралельним збудженням

Результати математичного моделювання можна побачити на рис. 3. Вони показують, що перехідний процес в такому двигуні за регулюваннямдещо затягується в порівнянні з двигуном з незалежним ї збудженням.

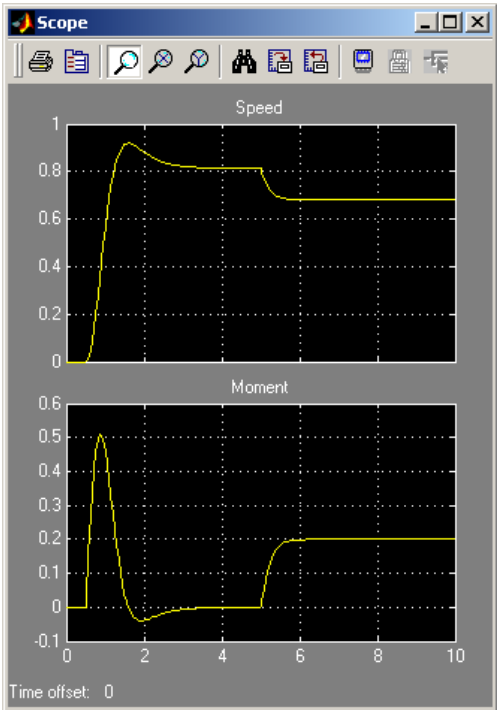


Рис. 3. Результати математичної задачі едектропостачання для двигуна постійного струму з паралельним ї збудженням

© Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М.

Дослідження механічних характеристик двигуна постійного струму з паралельним збудженням проводилося на моделі поданій на рис. 4. Механічна характеристика представлена на рис.5.

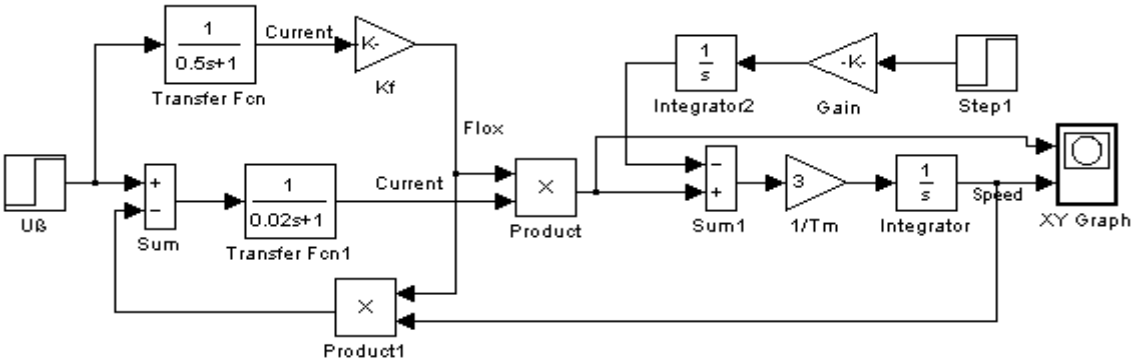


Рис.4. Модель для дослідження механічних характеристик

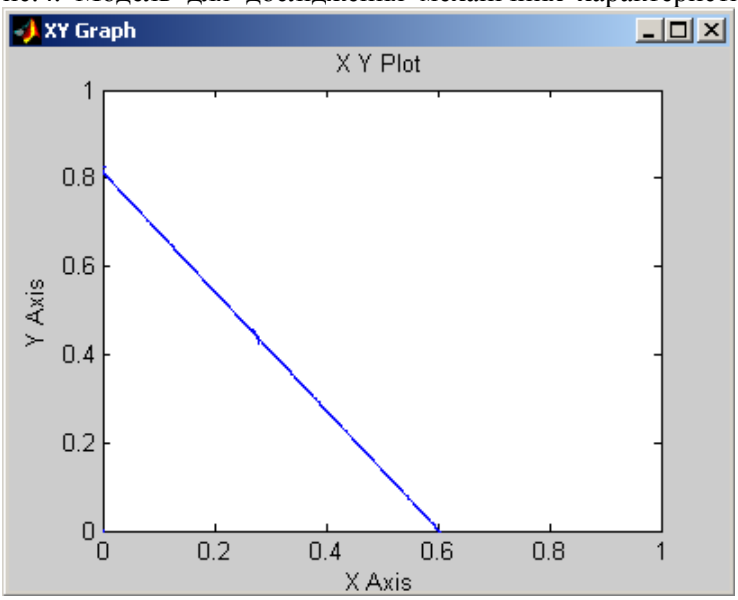


Рис. 5. Механічні характеристики двигуна з паралельним збудженням

Результати математичного є моделювання дозоляють стверджувати, що двигун постійного струму з паралельним збудженням розвиває менший пусковий момент і має більшу швидкість холостого ходу в порівнянні з двигуном з незалежним збудженням.

На рис. 6 ї схематично показаний двигун постійного струму з послідов- ним збудженням.

Диференціальні рівняння, ї що описують роботу двигуна постійного струму з послідовним збудженням, мають вигляд:

– рівняння рівноваги напруги $u = (L_a + L_в)\dfrac{di}{dt} + (r_a + r_в)i + e_a$,

де $e_a = c\omega_m \Phi_в$, а $\Phi_в = c_ф i$

– рівняння рівноваги моментів $J\dfrac{d\omega_m}{dt} = M - M_H$,

де $M = c_м i\, \Phi_в$

© Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М.

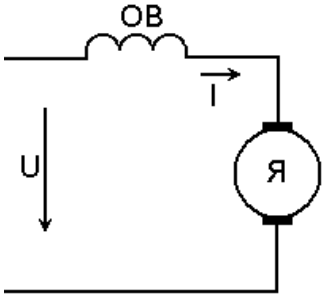


Рис. 6. Схема двигуна постійного струму з послідовним збудженням

Введенням базових значень ємо змінних $U_{ном}$, $\Phi_{ном}$, $\omega_{о\ ном} = U_{ном}/c\cdot\Phi_{ном}$, $M_{к.ном} = c_м\Phi_{ном}U_{ном}/(r_а+r_в)$ подані вище рівняння зводяться до безрозмірного виду:

$$\begin{cases} \bar{u} = T\dfrac{d\bar{i}}{dt} + \bar{i} + c_1\bar{i}\cdot\bar{\omega}_m \\ T_m\dfrac{d\bar{\omega}_m}{dt} = c_1\overline{i^2} - \overline{M}_H \end{cases} \qquad (2)$$

де $T = \dfrac{L_a + L_в}{r_a + r_в}$ $c_1 = \dfrac{U_{ном}}{(r_a + r_в)\cdot I_{ном}}$ – параметри двигуна.

Модель двигуна, побудована за системою диференціальних рівнянь (2) подана на рис. 7. Спостерігаємо стрибок регулювання в момент 0,5 с і стрибок збудження в момент 5с.

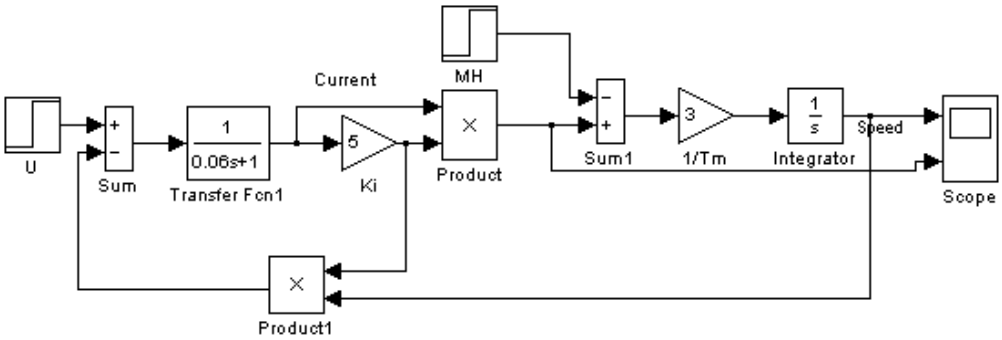


Рис. 7. Модель двигуна постійного струму з послідовним збудженням

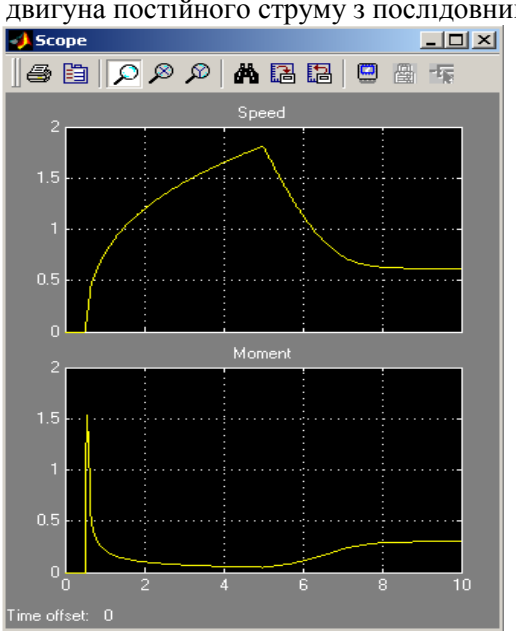


Рис. 8. Результати математичного моделювання двигуна постійного струму з послідовним збудженням

© Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М.

Перехідні процеси (рис.8) свідчать про те, що під час пуску момент двигуна з послідовним збудженням значно перевищує момент двигуна з незалежним збудженням і двигуна з паралельним збудженням. Ця перевага двигуна з послідовним збудженням використовується тягових (підйомно-транспортних) електроприводах. Проте в двигунах з послідовним збудженням при збільшенні навантаження спостерігається значне зниження швидкості.

Для дослідження механічної характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням була побудована модель, що представлена на рис. 9. Результати математичного моделювання відображені на рис.10. Механічна характеристика двигуна постійного струму з послідовним збудженням є нелінійною.

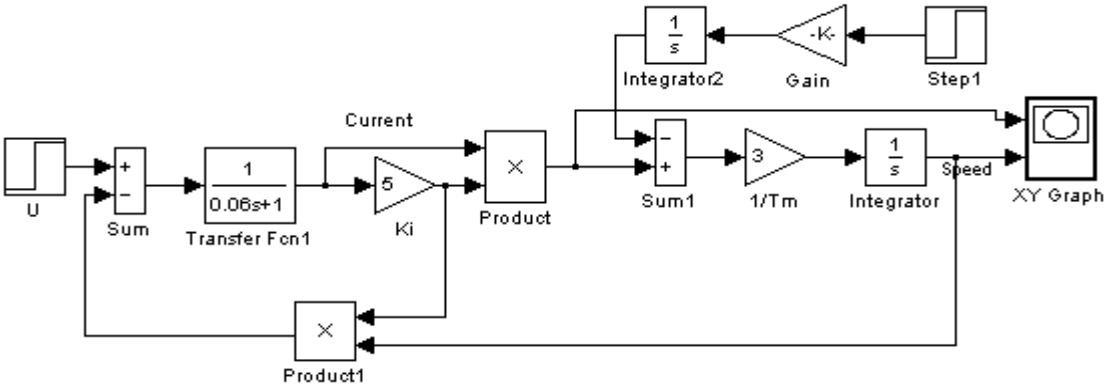


Рис. 9. Модель для дослідження механічних характеристик

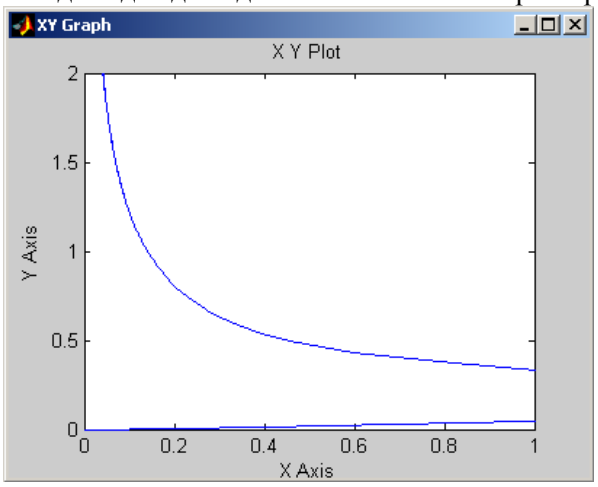


Рис.10. Механічна характеристика двигуна з послідовним збудженням

Висновки

З використанням диференціальних рівняннь розроблено математичні моделі двигунів постійного струму з різними способами підключення обмотки збудження: незалежного збудження, паралельного збудження, та послідовного збудження. Створені моделі дають можливість отримати основні характеристиками, за якими оцінюються робочі властивості двигунів: електромеханічну, моментну, механічну.

Аналізуючи модель у цілому і використовуючи вимірювальні засоби, що надає Simulink, можна визначити втрати в двигуні у всіх перерахованих режимах, розрахувати еквівалентні струми, моменти і потужності і перевіряти правильність вибору двигуна.

Доведено, що в режимі пуску момент двигуна з послідовним збудженням значно перевищує момент двигуна з незалежним збудженням і двигуна з паралельним збудженням. В двигунах послідовного збудження електромагнітний момент має нелінійну (квадратичну) залежність від струму якоря.

© Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М.

Результати математичного моделювання підтверджують теоретичні викладки про те, що при одних і тих само перевантаженнях по моменту струм і спожита потужність для двигунів послідовного збудження змінюються в меншій мірі, ніж для двигунів паралельного збудження.

Рекомендовано використання цих двигунів в пристроях, де потрібні великі моменти при пуску і де спостерігаються часті перевантаження по моменту, наприклад, в тягових (підйомно-транспортних) електроприводах.

Двигуни паралельного і незалежного збудження мають жорстку механічну характеристику і тому можуть бути використаними в системах електроприводу, де необхідно мати приблизно сталу швидкість.

Список бібліографічного опису

1. Падалко Н. Й., Падалко А.М., Шишкін П.В. SIMULINK-моделі енергоефективних режимів роботи двигунів постійного струму з різними способами підключення обмотки // Студентський науковий вісник. Серія "Природничі та технічні науки". Науковий збірник. Випуск 29. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018 – с. 307-315.
2. Падалко А.М., Падалко Н. Й., Поприч Ю.А. Математичне моделювання вентильної електричних машин та апаратів засобами Simulink/ XXXIX університетська студентська науково-технічна конференція ЛНТУ ,,Україна сьогодні: інтеграція освіти і науки"(технічний напрямок), квітень 2016.-Луцьк 2016.-С.236-237.
3. Падалко А.М, Сніжко В. В. Оптимізація роботи вентильної машини за допомогою Simulink моделей// Студентський науковий вісник. Серія "Природничі та технічні науки". Науковий збірник. Випуск. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2019 – с. 307-315.

References

1. Padalko N.I., Padalko A.M., Shyshkin P.V. SIMULINK-models of energy-efficient operating modes of DC motors with different ways of connecting the winding // Student Scientific Bulletin. Series "Natural and technical sciences". Scientific collection. Issue 29. - Lutsk: IVV Lutsk NTU, 2018 - p. 307-315. (in Ukraininan)
2. Padalko A.M., Padalko N.I., Poprich Yu.A. Mathematical modeling of valve electric machines and devices by means of Simulink / XXXIX University student scientific and technical conference LNTU "Ukraine today: integration of education and science" (technical direction), April 2016-Lutsk 2016-C.236-237. (in Ukraininan)
3. Padalko AM, Snezhko VV Optimization of valve machine operation using Simulink models // Student Scientific Bulletin. Series "Natural and technical sciences". Scientific collection. Release. - Lutsk: IVV Lutsk NTU, 2019 - p. 307-315. (in Ukrainian)

© Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-17
УДК 004.415.3
Пех Петро Антонович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-6327-3319
Войтко Володимир, студент
Луцький національний технічний університет

ПРОГРАМНО-ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАБЛИЖЕНОГО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ ЗАСОБАМИ MATLAB

Пех П. А., Войтко В. М. Програмно-демонстраційний комплекс для наближеного розв'язування систем нелінійних рівнянь засобами Matlab. В статті запропоновано комплекс програм мовою Matlab для наближеного розв'язування систем нелінійних рівнянь. Програмно реалізовані графічний метод визначення значень початкових наближень коренів, методи Ньютона та ітерацій уточнення коренів. Наведено код програми розв'язування систем нелінійних рівнянь методом Ньютона.
Ключові слова: Matlab, система нелінійних рівнянь, метод Ньютона, метод ітерацій, наближені обчислення

Пех П. А., Войтко В. М. Программно-демонстрационный комплекс для приближенного решения систем нелинейных уравнений средствами Matlab. В статье предложен комплекс программ на языке Matlab для приближенного решения нелинейных уравнений. Программно реализованы аналитический и графический методы отделения корней уравнений, методы хорд, касательных, половинного деления и итераций уточнения корней. Приведены код программы метода хорд.
Ключевые слова: нелинейные уравнения, метод хорд, метод касательных, метод половинного деления, метод итераций.

Pekh Petro, Voitko Volodymyr. Software-demonstration complex for approximate solution of systems of nonlinear equations by means of Matlab. The article offers a complex of programs in the Matlab language for the approximate solution of nonlinear equations. Analytical and graphical methods for separating the roots of equations, methods of chords, tangents, half divisions and iterations of root refinement are implemented in software. The code of the program of the chord method is given.
Keywords: Matlab, system of nonlinear equations, Newton's method, iteration method, approximate calculations

Постановка задачі. Наближене розв'язування систем нелінійних рівнянь передбачає [1,3-6]. по-перше, графачного визначення початкових наближень коренів системи рівнянь, і, по-друге, уточнення грубих значень коренів системи рівнянь до заданої точності. З цією метою використовують низку методів, серед яких – методи Ньютона, ітерацій та інші.

Завдання нашого дослідження було розроблення, відлагодження та тестування комплексу програм для автоматизації процесу наближеного розв'язування систем нелінійних рівнянь.

Мета дослідження полягає у розробленні мовою Matlab програмно–демонстраційного комплексу для вирішення задачі наближеного розв'язування систем нелінійних рівнянь.

Новизна дослідження полягає у вирішенні задачі наближеного розв'язування систем нелінійних рівнянь за допомогою Matlab [2].

Основна частина. Нами розроблено комплекс, який складається з програм: графічного визначення грубих значень коренів системи нелінійних рівнянь з допомогою функції `plot()` `Graph_Plot`; графічного відокремлення коренів системи нелінійних рівнянь з допомогою функції ez`plot()` `Graph_Ezplot`; обчислення із заданою точністю коренів системи нелінійних рівнянь методом ітерацій `Iteration_Meth`; обчислення із заданою точністю коренів системи нелінійних рівнянь методом Ньютона `Newton_Meth`.

Програми комплексу розроблялися на базі трьох систем нелінійних рівнянь. Зокрема, перша система має вигляд

$$\begin{cases} sin(x-0.5)-y=1.6; \\ 2x-cos2y=0.1. \end{cases} \quad (1)$$

друга система має вигляд

$$\begin{cases} y-e^{x}=-1; \\ x-e^{-y}=0.1. \end{cases} \quad (2)$$

третя система має вигляд

$$\begin{cases} \sin(2x-y)-1.2x=0.4; \\ 0.8x^2-1.5y^2=1. \end{cases} \quad (3)$$

Кожна з цих систем нелінійних рівнянь були розв'язані як з використанням програми `Graph_Plot`, розробленої на базі функції `plot()`(рис. 1), так із використанням програми `Graph_Ezplot`, розробленої на базі функції ez`plot()`(рис. 2).

© Пех П. А., Войтко В. М.

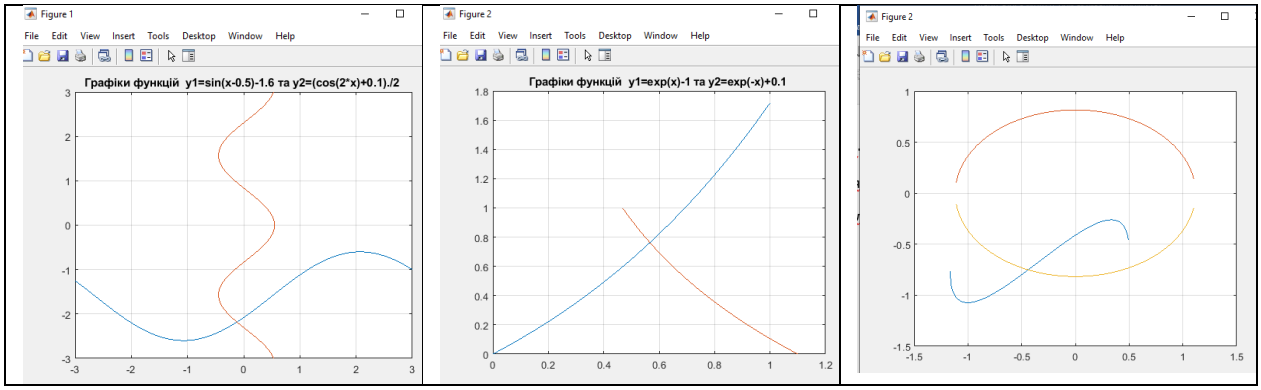


Рисунок 1 – Графічне розв'язування систем двох нелінійних рівнянь (1-3) за допомогою функції `plot()`

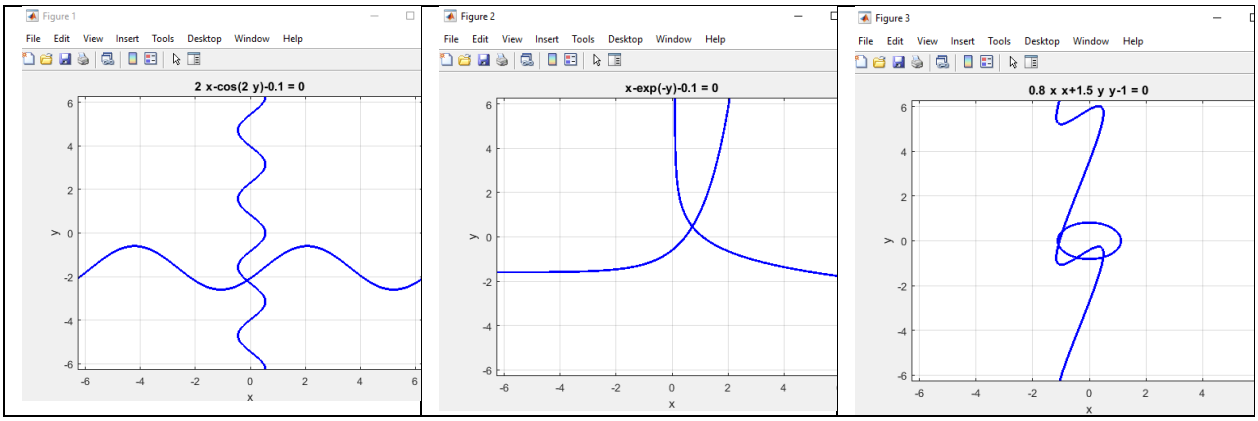


Рисунок 2 – Графічне розв'язування систем двох нелінійних рівнянь (1-3) за допомогою функції `ezplot()`

В результаті графічного розв'язування систем нелінійних рівнянь були визначені грубі наближення коренів кожної з них. Зокрема для системи (1) він має такий вигляд:

$$\begin{cases} x_0 = -0.2; \\ y_0 = -2.2. \end{cases} \quad (4)$$

для системи (2) він має такий вигляд:

$$\begin{cases} x_0 = 0.55; \\ y_0 = 0.75. \end{cases} \quad (5)$$

для системи (3) він має такий вигляд:

$$\begin{cases} x_0 = -0.4; \\ y_0 = -0.7. \end{cases} \quad (6)$$

Далі були розроблені програми для уточнення коренів системи нелінійних рівнянь. Код програми уточнення коренів двох систем нелінійних рівнянь методом Ньютона наведено на рис. 3. Стрічки з 1 по 88 забезпечують розв'язування системи рівнянь $\begin{cases} sin(2x - y) - 1.2x = 0.4; \\ 0.8x^2 - 1.5y^2 = 1, \end{cases}$ а стрічки з 89 по 140 – розв'язування системи рівнянь $\begin{cases} sin(x - 0.5) - y = 1.6; \\ 2x - cos2y = 0.1, \end{cases}$

Метод Ньютона для системи двох нелінійних рівнянь може бути записаний у такому вигляді:

© Пех П. А., Войтко В. М.

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \frac{\Delta X_k}{J_k}; \\ y_{k+1} = x_k + \frac{\Delta Y_k}{J_k};; \\ x_0 = a;\ \ y_0 = b; \\ k = 0,1,2,\ldots \end{cases} \quad (7)$$

Знаходимо необхідні величини, що входять у формулу (7), для першої системи нелінійних рівнянь.

$$f(x,y) = sin(2x - y) - 1.2x - 0.4;$$
$$g(x,y) = 0.8x^2 + 1.5y^2 - 1.$$
$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = 2\,cos(2x - y) - 1.2\,;$$
$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = -\,cos(2x - y)\,;$$
$$\frac{\partial g(x,y)}{\partial x} = 1.6x;$$
$$\frac{\partial g(x,y)}{\partial y} = 3y;$$
$$J = (2\,cos(2x - y) - 1.2) * (3y) - (1.6x) * (-\,cos(2x - y));$$
$$\Delta X = -\big((sin(2x - y) - 1.2x - 0.4) * (3y) - (0.8x^2 + 1.5y^2 - 1) * (-\,cos(2x - y))\big);$$
$$\Delta Y = -\big((2\,cos(2x - y) - 1.2) * (0.8x^2 + 1.5y^2 - 1) - (1.6x) * (sin(2x - y) - 1.2x - 0.4)\big).$$

Уточнення розв'язку першої системи методом Ньютона виконується операторами, записаними у стр стрічках з 1 по 88. Результати розрахунків наведені у табл. 1. Розв'язок першої системи рівнянь методом Ньютона має вигляд $x_3 = -0.43906$; $y_{35} = -0.75090$. Перевірка цих значень підстановкою їх у кожне з рівнянь системи дала такий результат: $f(x_k, y_k) = f(-0.43906, -0.75090) = 7 * 10^{-13}$; $g(x_k, y_k) = g(-0.43906, -0.75090) = 2 * 10^{-11}$.

Таблиця 1 – Результати уточнення коренів першої системи нелінійних рівнянь за методом Ньютона

k	xk	yk
0	-0,40000	-0,70000
1	-0,44123	-0,75267
2	-0,43906	-0,75091
3	-0,43906	-0,75090

Знаходимо необхідні величини, що входять у формулу (7), для другої системи нелінійних рівнянь.

$$f(x,y) = \sin(x - 0.5) - y - 1.6;$$
$$g(x,y) = 2x - cos2y - 0.1.$$
$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \cos(x - 0.5)\,;$$
$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = -1;$$
$$\frac{\partial g(x,y)}{\partial x} = 2;$$
$$\frac{\partial g(x,y)}{\partial y} = 2sin2y;$$
$$J = (\cos(x - 0.5)) * (2sin2y) - (2) * (-1);$$
$$\Delta X = -\big((\sin(x - 0.5) - y - 1.6) * (2sin2y) - (2x - cos2y - 0.1) * (-1)\big);$$
$$\Delta Y = -\big((\cos(x - 0.5)) * (2x - cos2y - 0.1) - (2) * (\sin(x - 0.5) - y - 1.6)\big).$$

Результати розрахунків уточнення кореня другої системи нелінійних рівнянь наведені у табл. 2. Розв'язок другої системи рівнянь має вигляд $x_3 = -0.12091$; $y_{35} = -2.18177$. Перевірка цих значень підстановкою їх у кожне з рівнянь системи дала такий результат: $f(x_k, y_k) = f(-0.12091, -2.18177) = 3 * 10^{-15}$; $g(x_k, y_k) = g(-0.12091, -2.18177) = 1 * 10^{-13}$.

© Пех П. А., Войтко В. М.

```
function Newton_Meth
% Завдання 1. Дано систему нелінійних рівнянь:
% sin(2x-y)-1.2x=0.4;
% 0.8x^2+1.5y^2=1
% Розвязати цю (першу) систему методом Ньютона.
% Етап 1. Визначення початкових наближень коренів
% системи нелінійних рівнянь графічним методом
X=[];
Y1=[];
x=-1.4/1.2:0.01:0.6/1.2; % Вектор аргументів першої функції (вектор x)
y1=2*x-asin(1.2*x+0.4); % Обчислення значень другої функції (вектор y1)
X=[X x];
Y1=[Y1 y1];
X1=[];
Y2=[];
Y3=[];
% Вектор аргументів другої функції (вектор x1):
x1=-1/sqrt(0.8)+0.01:0.01:1/sqrt(0.8)-0.01;
y2=sqrt((1-0.8*x1.^2)/1.5); % Обчислення значень другої функції (вектор y2)
y3=-sqrt((1-0.8*x1.^2)/1.5); % Обчислення значень третьої функції
X1=[X1 x1];
Y2=[Y2 y2];
Y3=[Y3 y3];
plot(x,y1,x1,y2,x1,y3);
grid on
Z1=[X;Y1];
fm1=fopen('f1.txt','w'); % Відкриття файла fm1 для запису
fprintf(fm1,'%12.3f   %12.8f  \n',Z1); % Запис матриці Z1 у файл fm1
fclose(fm1); % Задкриття файла fm1
disp('Функція  y(x)=2*x-asin(1.2*x+0.4))');
disp('          x          y1     ');
type f1.txt % Друк вмісту текстового файла f1.txt на диску
X1=[X1 x1];
Y2=[Y2 y2];
Y3=[Y3 y3];
plot(x,y1,x1,y2,x1,y3);
grid on
Z2=[X1;Y2;Y3];
fm2=fopen('f2.txt','w'); % Відкриття файла fm2 для запису
fprintf(fm2,'%12.3f   %12.8f %12.8f \n',Z2); % Запис матриці Z2 у файл fm2
fclose(fm2); % Задкриття файла fm2
disp('Функції y2=sqrt((1-0.8*x1.^2)/1.5) та y2=-sqrt((1-0.8*x1.^2)/1.5)');
disp('      x1          y1      y2');
type f2.txt % Друк вмісту текстового файла f2.txt на диску
% Етап 2. Уточнення коренів першої системи методом Нютона.
k=0; % Поточне значення номера ітерації
xk=-0.4; % Наступне значення змінної x
yk=-0.7; % Наступне значення змінної y
epsilon=0.001; % Задана точність обчислення коренів системи
xp=0; % Попереднє значення змінної x
yp=0; % Попереднє значення змінної y
K=[k];
X1=[xk];
Y1=[yk];
while ((abs(xk-xp)>epsilon) | (abs(yk-yp)>epsilon))
    k=k+1; % Поточне значення номера ітерації
    xp=xk; % Попереднє значення змінної x
    yp=yk; % Попереднє значення змінної y
    f=sin(2*xp-yp)-1.2*xp-0.4; % Значення функції f(x,y)
    g=0.8*xp.^2+1.5*yp.^2-1; % Значення функції g(x,y)
    fx=2*cos(2*xp-yp)-1.2; % Значення частинної похідної функції f(x,y)по x
    gx=1.6*xp; % Значення частинної похідної функції g(x,y)по x
    fy=-cos(2*xp-yp); % Значення частинної похідної функції f(x,y)по y
    gy=3*yp; % Значення частинної похідної функції g(x,y)по y
    jak=fx*gy-gx*fy; % Якобіан системи рівнянь
    jax=-(f*gy-g*fy); % Перший допоміжний визначник
    jay=-(fx*g-gx*f); % Другий допоміжний визначник
    hx=jax/jak; % Приріст змінної x
    hy=jay/jak; % Приріст змінної y
    xk=xp+hx % Наступне значення змінної x
```

Рисунок 3 – Програма уточнення коренів системи нелінійних рівнянь методом Ньютона (початок)

© Пех П. А., Войтко В. М.

```
71 -        yk=yp+hy % Наступне значення змінної y
72 -        K=[K k];
73 -        X1=[X1 xk];
74 -        Y1=[Y1 yk]
75 -    end
76 -    Z3=[K;X1;Y1];
77 -    fm3=fopen('f3.txt','w'); %Відкриття файла fm3 для запису
78 -    fprintf(fm3,'%12.0f   %12.8f %12.8f \n',Z3); % Запис матриці Z3 у файл fm3
79 -    fclose(fm3); % Задкриття файла fm3
80 -    disp('Уточнення розвязку першої системи нелінійних рівнянь:');
81 -    disp('        k         xk         yk');
82 -    type f3.txt % Друк вмісту текстового файла f3.txt на диску
83 -    disp('Значення функ  f=sin(2*xk-yk)-1.2*xk-0.4 та  g=0.8xk.^2+1.5*yk^2-1');
84 -    disp('після підстановки у них уточнених значень коренів системи:')
85 -    f=sin(2*xk-yk)-1.2*xk-0.4
86 -    g=0.8*xk.^2+1.5*yk^2-1
87 -    w=input('Натисніть на яку-небудь клавішу, щоб вийти з програми...');
88
89      % Завдання 2. Дано систему нелінійних рівнянь
90      % sin(x-0.5)-y=1.6
91      % 2x-cos2y=0.1
92      % Розв'язати цю (другу) систему нелінійних рівнянь методом Ньютона.
93      % Етап 1. Визначення початкових наближень коренів
94      % системи нелінійних рівнянь графічним методом.
95 -    X=[];
96 -    Y1=[];
97 -    x=-3:0.1:3;
98 -    y1=sin(x-0.5)-1.6; % Обчислення значень першої функції
99 -    X=[X x];
100 -   Y1=[Y1 y1];
101 -   X=[];
102 -   Y1=[];
103 -   Y2=[];
104 -   y2=(cos(2*x)-0.1)./2;  % Обчислення значень другої функції
105 -   X1=[X x];
```

Рисунок 3 – Програма уточнення коренів системи нелінійних рівнянь методом Ньютона (кінець)

Таблиця 2 – Результати уточнення коренів другої системи нелінійних рівнянь за методом Ньютона

k	xk	yk
0	-0,20000	-2,20000
1	-0,11989	-2,18295
2	-0,12091	-2,18177
3	-0,12091	-2,18177

Програма обчислення із заданою точністю коренів системи нелінійних рівнянь методом ітерацій `Iteration_Meth` розроблена аналогічно.

Висновок. В даній статті запропоновано комплекс програм мовою Matlab, за допомогою яких розв'язується задача наближеного розв'язування систем нелінійних рівнянь. Наведено код програми методу Ньютона та результати її тестування. Комплекс програм може бути як для розв'язування інженерно-технічних задач, так і в навчальних цілях.

Список бібліографічного опису.

1. Бахвалов, М.С. Чисельні методи: Підручник / М.С. Бахвалов, М.П. Жидков, Г.М. Кобельков. - М.: Біном. ЛЗ, 2011. - 636 с.
2. Дьяконов В.П. Matlab і Simulink для радіоінженерів. – М.: «ДМК-Пресс», 2011. -976 с.
3. Залізняк, В.Є. Чисельні методи. Основи наукових обчислень: Підручник і практикум для академічного бакалаврату / В.Є. Залізняк. - Люберці: Юрайт, 2016. - 356 с.
4. Чисельні методи / Під ред. Лапчика М.П. - М.: Academia, 2017. - 608 с.
5. Лабораторний практикум з програмування мовою С /С++ // навчальний посібник для студ. тех. спец. закл. вищ. освіти I-IV рівн. акредит. / Пех П.А., С.В. Лавренчук, М.В.Делявський, С.В. Гринюк. – Луцьк : Вежа-Друк, 2020. – 228 с.
6. Лабораторний практикум з дослідження операцій та математичного моделювання // навчальний посібник [для студентів техн. спец. вищ. освіти I-IV рівн. акредит.] / Пех П.А., Чернящук Н.Л., Делявський М.В., Багнюк Н.В., Кузьмич О.І. – Луцьк : Терен, 2020. – 100 с.

© Пех П. А., Войтко В. М.

References.

1. Zaliznyak, V.Ye. Numerical Methods. Fundamentals of scientific calculations: Textbook and workshop for academic bachelor / V.Ye. Zaliznyak. - Люберці: Юрайт, 2016. - 356 с.
2. Numerical methods / Ed. Lapchika MP - M .: Academia, 2017. - 608 p.
3. Laboratory workshop on programming in C / C ++ // textbook for students. those. special lock higher education I-IV level. letter of credit. / Peh PA, S.V. Lavrenchuk, MV Delyavsky, SV Гринюк. - Lutsk: Vezha-Druk, 2020. - 228 p.
4. Laboratory workshop on the study of operations and mathematical modeling // textbook [for technical students. special higher education I-IV level. letter of credit.] / Pekh PA, Chernyashchuk NL, Delyavsky MV, Bagnyuk NV, Kuzmich OI - Lutsk: Teren, 2020. - 100 p.

© Пех П. А., Войтко В. М.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-18
УДК 004.415.3
Пех Петро Антонович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-6327-3319
Дяченко Роман Олегович, студент
Луцький національний технічний університет

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБАМИ MATLAB ПРОГРАМНО-ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ НАБЛИЖЕНОГО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ

Пех П. А., Дяченко Р. О. Розроблення засобами Matlab програмно-демонстраційного комплексу для наближеного розв'язування нелінійних рівнянь. В статті запропоновано комплекс програм мовою Matlab для наближеного розв'язування нелінійних рівнянь. Програмно реалізовано аналітичний та графічний методи відокремлення коренів рівнянь, методи хорд, дотичних, половинного ділення та ітерацій уточнення коренів. Наведено код програми методу хорд.
Ключові слова: нелінійні рівняння, метод хорд, метод дотичних, метод половинного ділення, метод ітерацій

Пех П. А., Дьяченко Р. О. Разработка средствами Matlab программно-демонстрационного комплекса для приближенного решения нелинейных уравнений. В статье предложен комплекс программ на языке Matlab для приближенного решения нелинейных уравнений. Программно реализованы аналитический и графический методы отделения корней уравнений, методы хорд, касательных, половинного деления и итераций уточнения корней. Приведены код программы метода хорд.
Ключевые слова: нелинейные уравнения, метод хорд, метод касательных, метод половинного деления, метод итераций.

Pekh Petro, Diachenko Roman. Development of a software-demonstration complex for approximate solution of nonlinear equations by means Matlab. The article offers a complex of programs in the Matlab language for the approximate solution of nonlinear equations. Analytical and graphical methods for separating the roots of equations, methods of chords, tangents, half divisions and iterations of root refinement are implemented in software. The code of the program of the chord method is given.
Keywords: nonlinear equations, chord method, tangent method, half division method, iteration method

Постановка задачі. Як відомо, процес наближеного розв'язування нелінійних рівнянь передбачає виконання двох етапів [1-3, 5]. На першому етапі відокремлюють корені рівняння, для чого залежно від виду рівняння використовують аналітичний або графічний методи. На другому етапі значення ізольованих на певних інтервалах коренів рівняння обчислюють зі заданою точністю. З цією метою використовують низку методів, серед яких – метод хорд, метод дотичних, метод половинного ділення, метод ітерацій та інші.

Основне завдання нашого дослідження полягало у розробці, відлагодженні та тестуванні комплексу програм для автоматизації процесу наближеного розв'язування нелінійних рівнянь.

Мета дослідження полягає у розробленні мовою Matlab програмно–демонстраційного комплексу для вирішення задачі наближеного розв'язування нелінійних рівнянь.

Новизна дослідження полягає у вирішенні задачі наближеного розв'язування нелінійних рівнянь за допомогою сучасного програмного забезпечення, до якого, безумовно, належать і Matlab [4].

Основна частина. Нами розроблено комплекс, який складається з програм: аналітичного відокремлення коренів алгебраїчних рівнянь Analyt_Meth; графічного відокремлення коренів трансцендентних рівнянь Graph_Meth; обчислення із заданою точністю ізольованого на певному інтервалі кореня нелінійного рівняння методами хорд Chord_Meth, дотичних Tangent_Meth, половинного ділення Half_Div_Meth та ітерацій Iteration_Meth.

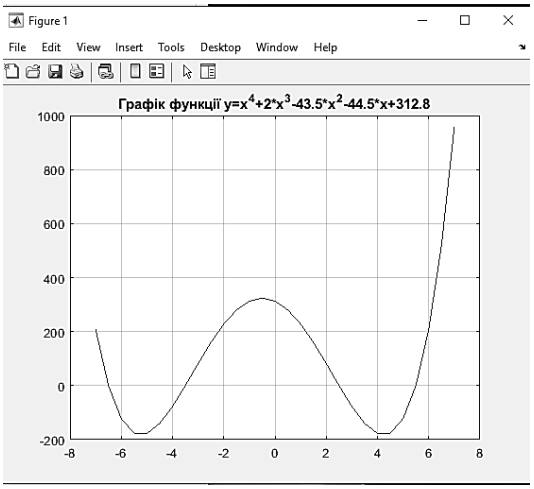
Програма аналітичного відокремлення коренів алгебраїчних рівнянь Analyt_Meth розроблена на прикладах знаходження інтервалів ізоляції коренів рівнянь $f_1(x) = x^4 + 2x^3 - 43.5x^2 - 44.5x + 312.8 = 0$ та $f_2(x) = x^3 + 4.5x^2 - 32.25x - 125.1 = 0$ (рис.1). З цього рисунка видно, що графік функції $f_1(x) = 0$ чотири рази перетинає вісь абсцис, отже, перше рівняння має чотири дійсні корені, а графік функції $f_2(x) = 0$ три рази перетинає вісь абсцис, отже, друге рівняння має три дійсні корені.

Інтервали ізоляції коренів рівняння можна визначити також і за результатами табулювання функції $y = f(x)$ (табл. 1). У першому стовпчику таблиці знаходяться значення аргументів, а в другому – значення функції. Переглядаємо значення другого стовпчика, для того, щоб визначити, на яких саме інтервалах знаходяться корені рівняння. Бачимо, що на інтервалі [-7.0: -6.5] функція $y = f(x)$ змінює знак з плюса на мінус. Це означає, що на цьому інтервалі ізольований перший корінь рівняння. Продовжуючи перегляд стовпчика значень функції, знаходимо решту коренів. Таким чином встановлюємо, що перше рівняння має чотири дійсні корені, які ізольовані на інтервалах[-6.5; -6.0], [-

© Пех П. А., Дяченко Р. О.

4.0; -3.5], [2.5; 3.0] та [5.0; 5.5]. Аналогічно визначаємо, що друге рівняння має три дійсні корені, які ізольовані на інтервалах[-7.0; -6.5], [-3.5; -3.0] та [5.0: 5.5].

Фрагмент коду програми уточнення коренів нелінійних рівнянь методом хорд Chord_Meth наведено на рис. 2. Ця програма демонструє, яким чином уточнюється корінь рівняння $f_1(x) = x^4 + 2x^3 - 43.5x^2 - 44.5x + 312.8 = 0$, який ізольований на інтервалі [-6.5: -6.0], Досліджується поведінка першої та другої похідних відповідних функцій (рис. 3), а далі реалізується метод хорд. Зазначимо, що перша похідна функції дає змогу зробити висновок, чи дійсно на досліджуваному інтервалі ізольований лише один корінь рівняння, а знаки похідних дають змогу обгрунтовано вибрати нульове наближення кореня. Результати уточнення кореня наведені в табл. 3.



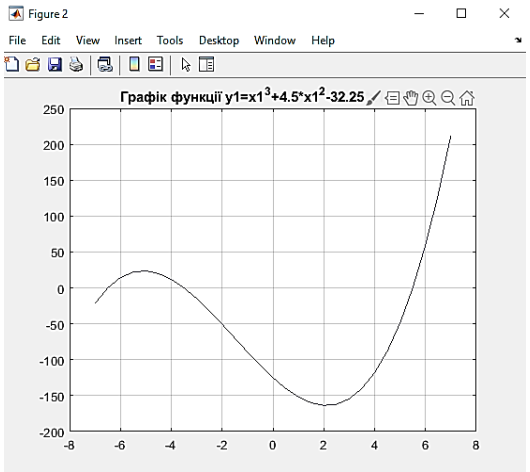


Рисунок 1 – Графіки функцій $f_1(x) = x^4 + 2x^3 - 43.5x^2 - 44.5x + 315.8$ та $f_2(x) = x^3 + 4.5x^2 - 32.25x - 125.1$.

Таблиця 1 – Результати табулювання функцій $f_1(x)$ та $f_2(x)$

x	$f_1(x)$	x	$f_2(x)$
-7.00	210,800	-7.00	-21,850
-6.50	2,988	-6.50	0,025
-6.00	-119,200	-6.00	14,400
-6.50	-173,013	-6.50	22,025
-5.00	-174,200	-5.00	23,650
-4.50	-137,013	-4.50	20,025
-4.00	-74,200	-4.00	11,900
-3.50	2,988	-3.50	0,025
-3.00	84,800	-3.00	-14,850
-2.50	162,988	-2.50	-31,975
-2.00	230,800	-2.00	-50,600
-1.50	282,988	-1.50	-69,975
-1.00	315,800	-1.00	-89,350
-0.50	326,988	-0.50	-107,975
0.00	315,800	0.00	-125,100
0.50	282,988	0.50	-139,975
1.00	230,800	1.00	-151,850
1.50	162,988	1.50	-159,975
2.00	84,800	2.00	-163,600
2.50	2,988	2.50	-161,975
3.00	-74,200	3.00	-154,350
3.50	-137,013	3.50	-139,975
4.00	-174,200	4.00	-118,100
4.50	-173,013	4.50	-87,975
5.00	-119,200	5.00	-48,850
5.50	2,988	5.50	0,025
6.00	210,800	6.00	59,400
6.50	522,988	6.50	130,025
7.00	959,800	7.00	212,650

© Пех П. А., Дяченко Р. О.

```
function Chord_Meth
% Завдання 1. Дано рівняння f(x)= x^4+2*x^3-43.5*x^2-44.5*x+315.8=0.
% Рівняння має чотири корені, ізольовані на таких інтервалах:
% [-6.5; -6.0], [-4.0; -3.5], [2.5; 3.0], [5.0; 5.5].
% Необхідно знайти значення значення перших двох коренів
% методом хорд з точністю epsilon=0.001.
% Уточненюємо методом хорд першоий корінь рівняння f(x)=0,
% ізольований на першому інтервалі[-6.5; -6.0].
% Перш за все потрібно вибрати нульове наближення кореня для методу хорд.
% Для цього будуємо на вказаному інтервалі графік
% функції y1=f1(x)=4*x^3+6*x^2- 87*x-44.5 - перша похідна функції y=f(x)),
% і з'ясовуємо, чи функція зберігає на вказаному інтервалі постійний знак.
a=-6.5;
b=-6.0;
h=0.1;
X1=[];
Y1=[];
for x=a:h:b
    y1=4*x^3+6*x^2- 87*x-44.5;
    X1=[X1 x];
    Y1=[Y1 y1];
end
figure(1)
plot(X1,Y1)
grid on
title('Графік першої похідної на інтервалі ізоляції кореня');
Z1=[X1;Y1];
fmem1=fopen('f1.txt','w'); %Відкриття файла fmem1 для запису
fprintf(fmem1,'%12.3f   %12.8f \n',Z1); % Запис матриці Z1 у файл fmem1
disp('Результати табулювання першої похідної на інтервалі [-6.5; -6.0]:');
disp('          x           y1');
type f1.txt % Друк вмісту текстового файла f1.txt на диску
% Аналізуємо результати табулювання і графік функції
% y1=4*x^3+6*x^2- 87*x-44.5 на вказаному інтервалі [-6.5; -6.0]
% Аналіз отриманих даних показує, що перша похідна функції
% на інтервалі [-6.5; -6.0] зберігає постійний знак - вона від'ємна.
% Отже, на цьому інтервалі рівняння має лише один корінь.
w=input('Натисніть будь-яку клавішу, щоб продовжити');
% Далі будуємо на інтервалі [-6.5; -6.0] графік похідної функції y=f(x)),
% і зясовуємо, чи функція зберігає на інтервалі[-6.5;-6.0] постійний знак.
a=-6.5;
b=-6.0;
h=0.1;
X2=[];
Y2=[;];
for x=a:h:b;
    y2=12*x^2+12*x-87;
    X2=[X2 x];
    Y2=[Y2 y2];
end
figure(2)
plot(X2,Y2)
grid on
title('Графік другої похідної на інтервалі ізоляції кореня');
Z2=[X2;Y2];
fmem2=fopen('f2.txt','w'); %Відкриття файла fmem2 для запису
fprintf(fmem2,'%12.3f   %12.8f \n',Z2); % Запис матриці Z2 у файл fmem2
fclose(fmem2); % Закриття файла fmem2
disp('Результати табулювання другої похідної на інтервалі [-6.5; -6.0]:');
disp('        x             y2');
type f2.txt % Друк вмісту текстового файла f2.txt на диску
% Аналіз отриманих даних показує, що друга похідна функції
% на інтервалі [-6.5; -6.0] зберігає постійний знак - вона додатна.
% Отже, за нульове наближення методу хорд потрібно взяти значення x0=b.
w=input('Натисніть будь-яку клавішу, щоб продовжити');
% Далі визначаємо перший корінь рівняння методом хорд із заданою точністю
epsilon=0.001;
a=-6.5;
b=-6.0;
k=0;
```

Рисунок 2 – Програма уточнення коренів рівняння методом хорд (початок)

© Пех П. А., Дяченко Р. О.

```
71 -   x0=b;
72 -   xk=x0;
73 -   xp=a;
74 -   fa=a^4+2*a^3-43.5*a^2-44.5*a+315.8;
75 -   X3=[k];
76 -   Y3=[xk];
77 -   while abs(xk-xp)>=epsilon
78 -       xp=xk;
79 -       k=k+1;
80 -       f=xp^4+2*xp^3-43.5*xp^2-44.5*xp+315.8;
81 -       xk=xp-(f/(f-fa))*(xp-a);
82 -       X3=[X3 k];
83 -       Y3=[Y3 xk];
84 -   end
85 -   Z3=[X3;Y3];
86 -   fmem3=fopen('f3.txt','w'); %Відкриття файла fmem3 для запису
87 -   fprintf(fmem3,'%12.0f   %12.4f \n', Z3); % Запис матриці Z3 у файл fmem3
88 -   fclose(fmem3); % Закриття файла fmem3
89 -   disp('  Результати послідовного уточнення першого кореня методом хорд:');
90 -   disp('           k           xk');
91 -   type f3.txt % Друк вмісту текстового файла f3.txt на диску
92 -   disp('Перевірка значення першого кореня підстановкою в рівняння:');
93 -   f=xk^4+2*xk^3-43.5*xk^2-44.5*xk+315.8
94 -   w=input('Натисніть будь-яку клавішу, щоб продовжити');
95     % Уточнення методом хорд другого кореня рівняння f(x)=0,
96     % ізольованого на першому інтервалі [-4.0; -3.5].
97     % Перш за все потрібно вибрати нульове наближення кореня для методу хорд.
98     % Для цього будуємо на вказаному інтервалі графік
99     % функції y1=f1(x)=4*x^3+6*x^2- 87*x-44.5 - перша похідна функції y=f(x)),
100    % і з'ясовуємо, чи функція зберігає на вказаному інтервалі постійний знак.
101 -  a=-4.0;
102 -  b=-3.5;
103 -  h=0.1;
104 -  X4=[];
105 -  Y4=[];
176 -  fclose(fmem6); % Закриття файла fmem6
177 -  disp('  Результати послідовного уточнення другого кореня методом хорд:');
178 -  disp('           k           xk');
179 -  type f6.txt % Друк вмісту текстового файла f6.txt на диску
180 -  disp('Перевірка значення другого кореня підстановкою в рівняння:');
181 -  f=xk^4+2*xk^3-43.5*xk^2-44.5*xk+315.8
182 -  disp('Кінець розвязку задачі.');
183 -  w=input('Натисніть будь-яку клавішу, щоб вийти з програми!');
184 -  end
```

Рисунок 2 – Програма уточнення коренів рівняння методом хорд (закінчення)

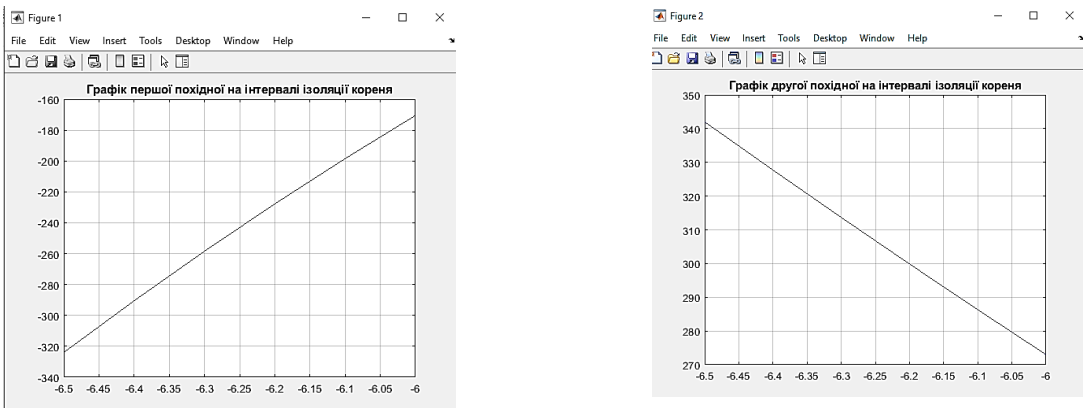


Рисунок 3 – Графіки першої та другої похідних функції $f_1(x) = x^4 + 2x^3 - 43.5x^2 - 44.5x + 315.8$ на інтервалі [-6.5; -6.0].

© Пех П. А., Дяченко Р. О.

Таблиця 3 – Результати уточнення кореня рівняння $x^4 + 2x^3 - 43.5x^2 - 44.5x + 315.8 = 0$, ізольованого на інтервалі $x \in [-6.5;\ -6.0]$, методом хорд.

k	x
0	-6,0000
1	-6,4878
2	-6.4907
3	-6,4907

Висновок. В даній статті запропоновано комплекс програм мовою Matlab, за допомогою яких розв'язується задача наближеного розв'язування нелінійних рівнянь. Наведено код програми методу хорд та результати її тестування.

Список бібліографічного опису.

1. Пех П.А. Методи обчислень та моделювання: Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» денної та заочної форм навчання – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. – 163 с. Формат А4
2. Лабораторний практикум з програмування мовою С /С++ // навчальний посібник для студ. тех. спец. закл. вищ. освіти I-IV рівн. акредит. / Пех П.А., С.В. Лавренчук, М.В.Делявський, С.В. Гринюк. – Луцьк : Вежа-Друк, 2020. – 228 с.
3. Лабораторний практикум з дослідження операцій та математичного моделювання // навчальний посібник [для студентів техн. спец. вищ. освіти I-IV рівн. акредит.] / Пех П.А., Чернящук Н.Л., Делявський М.В., Багнюк Н.В., Кузьмич О.І. – Луцьк : Терен, 2020. – 100 с.
4. Методи обчислень та моделювання. Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійних програм «Комп'ютерна інженерія» та «Кібербезпека» галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» денної та заочної форм навчання/ уклад. П.А. Пех. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. – 162 с. формат А4.
5. Пех П.А., Кравченко М.Б. До питання конструювання класів з конструкторами різного типу // Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво" – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. – Вип. 40. – 2020. – С. 76-83 (0,75 др.арк

References.

1. Laboratory workshop on operations research and mathematical modeling // textbook [for technical students. special higher education I-IV level. letter of credit.] / Pekh PA, Chernyashchuk NL, Delyavsky MV, Bagnyuk NV, Kuzmich OI - Lutsk: Teren, 2020. - 100 p.
2. Methods of calculations and modeling. Lecture notes for students of the first (bachelor's) level of educational and professional programs "Computer Engineering" and "Cybersecurity" in the field of knowledge 12 "Information Technology" specialty 123 "Computer Engineering" full-time and part-time study / way. PAS. Bad luck. - Lutsk: Lutsk NTU, 2020. - 162 p. A4 format.
3. Pekh PA, Kravchenko MB On the issue of designing classes with designers of different types // Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production" - Lutsk: LNTU Publishing House. - Vip. 40. - 2020. - P. 76-83 (0.75 dr.ark

© Пех П. А., Дяченко Р. О.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-19
УДК 519.866
Решетняк Тетяна Вікторівна, старший викладач
https://orcid.org/0000-0001-9025-3877
Нечволода Людмила Володимирівна, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-7584-6735
Крикуненко Катерина Миколаївна, асистент
https://orcid.org/0000-0003-1530-216X
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МАССОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ ОБСЛУГОВУВАННЯМ І РЕМОНТОМ ОБЛАДНАННЯ

Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М. Застосування теорії масового обслуговування для оптимізації управління технічним обслуговуванням і ремонтом обладнання. Представлено використання методів теорії масового обслуговування для оптимізації управління технічним обслуговуванням та ремонтом обладнання. Процеси обслуговування та ремонту обладнання на машинобудівному підприємстві було розглянуто з позиції багатоканальної системи масового обслуговування з чергою. Було використано ЕВМ для автоматизації розрахунку необхідної кількості ремонтних вузлів для мінімізації часу простою обладнання у черзі на ремонт та мінімізації витрат.
Ключові слова: моделювання, система масового обслуговування, обладнання, ремонт, інтенсивність потоку, витрати, верстати, вузли.

Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.Н. Применение теории массового обслуживания для оптимизации управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования. Представлено использование методов теории массового обслуживания для оптимизации управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования. Процессы обслуживания и ремонта оборудования на машиностроительном предприятии были рассмотрены с позиции многоканальной системы массового обслуживания с очередью. Было использовано ЭВМ для автоматизации расчета необходимого количества ремонтных узлов для минимизации времени простоя оборудования в очереди на ремонт и минимизации затрат.
Ключевые слова: моделирование, система массового обслуживания, оборудование, ремонт, интенсивность потока, затраты, станки, узлы.

Reshetniak T.V., Nechvoloda L.V., Krykunenko K.M. Appliyng of queuing theory to optimize the management of maintenance and repair of equipment. The use of queuing theory methods for optimization of equipment maintenance and repair management is presented. The processes of maintenance and repair of equipment at a machine-building enterprise were considered from the standpoint of a multichannel queuing system with a queue. A computer was used to automate the calculation of the required number of repair units to minimize equipment downtime in the queue for repair and minimize costs.
Key words: modeling, queuing system, equipment, repair, flow rate, costs, machine tools, units

Постановка наукової проблеми. Актуальність теми обумовлена тим, що системи масового обслуговування (СМО) виробничих процесів є невід'ємною складовою сучасних промислових підприємств. Прикладами СМО можуть бути підприємства, що займаються виготовленням різних видів продукції, в тому числі і машинобудівні. Кожна з цих систем складається з деякої кількості обслуговуючих вузлів (апаратів обслуговування). Прикладами таких апаратів можуть виступати як робітники, так машини і верстати. Моделювання СМО дозволяє визначити показники функціонування системи, що обслуговує. В майбутньому така інформація буде використовуватися для вибору належного рівня обслуговування.

Дослідивши процеси, що відбуватимуться у виробничій СМО, можна прогнозувати якість роботи системи. Змінюючи параметри системи, можна простежити, як змінюється ефективність обслуговування та прийняти рішення щодо збільшення продуктивності роботи. Таким чином є можливість зробити розрахунок оптимальної кількості апаратів, щоб час простою кожного апарату системи був мінімальний, а час зайнятості – максимальний.

Системами (моделями) масового обслуговування називають математичні моделі систем, які призначені для обслуговування вимог, що надходять через випадкові проміжки часу, причому тривалість обслуговування в загальному випадку також випадкова.

Формально під системою масового обслуговування розуміють складну систему, що формується з одного або декількох джерел запитів (заявок, вимог) для виконання певних дій (обслуговування), декількох приладів обслуговування (ліній обслуговування, каналів обслуговування), що виконують ці дії відповідно до певних правил (дисципліни обслуговування) за запитами, що надійшли в систему. Характерною особливістю СМО є випадковість процесів, що відбуваються, і можливість утворення черги запитів на обслуговування.

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

Теорія масового обслуговування – це математичне дослідження таких систем, до яких у випадкові моменти часу надходять вимоги (ззовні або зсередини системи). Система повинна обслужити вимоги, причому тривалість обслуговування в загальному випадку випадкова.

Природа вимог і їх обслуговування залежить від конкретного виду системи. Якщо під вимогами розуміти, наприклад, відмови елементів системи або верстатів і відповідно під обслуговуванням їх заміну або ремонт, то чисельні завдання надійності можна вирішувати методами теорії масового обслуговування.

В даний час гостро стоїть питання про поліпшення якості технічного обслуговування та ремонту обладнання на крупних підприємствах. Тимчасове (чи постійне) знаходження обладнання у непрацездатному режимі напряму пов'язано зі значними витратами на його утримання та недоотриманням прибутку підприємством в цілому. Така тенденція характерна і для підприємств, що випускають машинобудівну продукцію.

Аналіз досліджень. Розроблення практичних завдань масового обслуговування започаткував співробітник Копенгагенської телефонної компанії данський 11 математик А. К. Ерланг (1878–1929 рр.) у період із 1908 по 1922 роки. У 1909 р. було опубліковано його робота «Теорія ймовірностей і телефонні переговори» та інші, у яких сформульовано перші прикладні завдання телефонії. Ці завдання були пов'язані з необхідністю впорядкувати роботу телефонної мережі й розробити методи оцінювання якості обслуговування споживачів залежно від кількості використовуваних пристроїв. Значний внесок зробив Л. Клейнрок, який використовував теорію СМО для дослідження обчислювальних систем [1].

Питання узагальнення методів вирішення різноманітних завдань за допомогою теорії масового обслуговування досліджував математик О. Я. Хінчин у книзі «Математичні методи теорії масового обслуговування», де вперше сформульовані загальні ідеї і методи такої теорії [10]. Подальший розвиток теорії масового обслуговування пов'язаний з ім'ям відомих математиків Б. В. Гнеденко, І. Н. Коваленко [2], А. М. Колмогорова, Н. П. Бусленка [1] та ін [4-11]. Серед зарубіжних авторів потрібно назвати Д. Кенига, Д. Штойян [3], Д. Кендалла, Дж. Літтла.

Метою статті є оптимізація процесу управління технічним обслуговуванням та ремонтом обладнання машинобудівного підприємства за рахунок використання теорії масового обслуговування.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Ефективне керування процесом виробництва продукції та розподілом оборотного фонду запасних частин, вузлів і агрегатів, що використовуються при ремонті верстатів, має важливе значення.

У загальному вигляді технологічну систему машинобудівного підприємства (до складу якої входять служби ремонту та обслуговування технологічного обладнання) можна розглядати як деякий функціонал, що характеризує ефективність функціонування об'єкта в середовищі. При цьому статистичні властивості такого функціоналу будуть залежати від стану середовища та поточного стану об'єкта. При структурній адаптації процес визначення структури технологічного обладнання, близької до оптимальної, можна подати в наступному вигляді [5]:

$$Re_S = \langle W^*, C(W^*) \rangle = \langle Arg \min_{W \in E_W} Q(W), Arg \min_{C \in E_{C(w)}} Q(C(W)) \rangle, \quad (1)$$

де W – структурні фактори, що змінюються при зміні структури об'єкта адаптації (далі – структура);

C – параметри об'єкта, мінливі при зміні його структури;

E_W – множина допустимих структур W ;

$E_{C(W)}$ – множина допустимих параметрів C, що відповідають структурі W.

При створенні сучасних автоматизованих систем управління підприємством в них повинні бути включені:

– підсистема управління основними фондами;

– підсистема обліку технічного стану обладнання, яка отримує дані від системи диспетчерського контролю;

– підсистема управління технічним обслуговуванням і ремонтом (ТОіР).

Комплексне використання таких підсистем має забезпечувати автоматизацію планування, генерацію мережевих графіків та контроль за реалізацією відповідних заходів з обслуговування та підтримки високого рівня продуктивності технологічного устаткування.

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

Процес технічного переоснащення машинобудівного підприємства може бути представлений у вигляді узагальненої схеми, яка наведена на рисунку 1 [5].

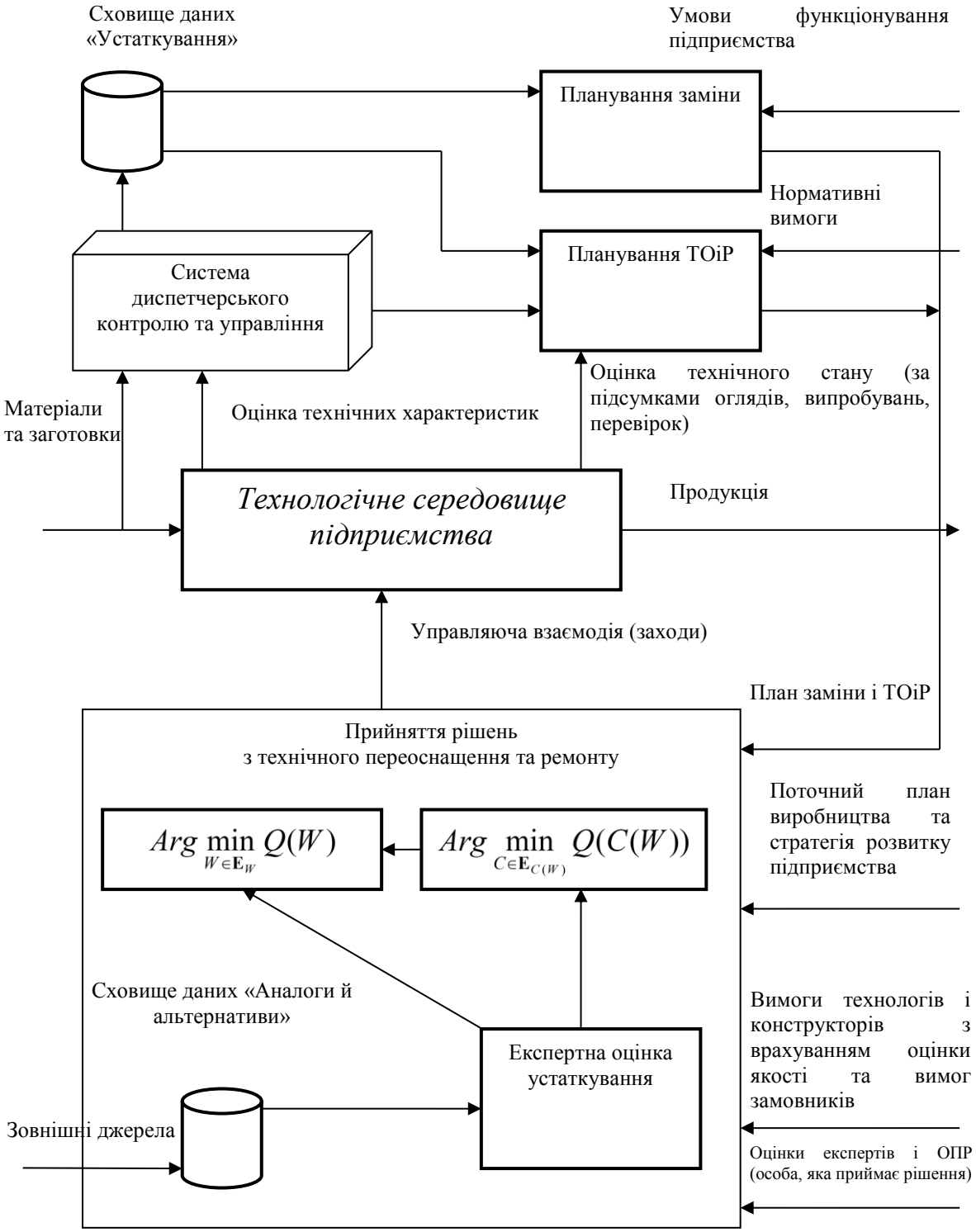


Рис. 1. Узагальнена схема апаратно-програмного комплексу для керування параметрами технологічного середовища

Такий комплекс повинен забезпечувати вибір технічно і економічно обґрунтованого шляху розвитку основних фондів за рахунок вироблення і реалізації керуючих впливів відповідно до результатів структурної адаптації.

Одним із напрямів удосконалення управління процесом адаптації технологічного середовища є оптимізація діяльності підсистеми ТОіР. У загальному вигляді таку підсистему можна розглядати як

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

систему масового обслуговування, а одним з методів вирішення поставленої задачі може служити математичний апарат теорії масового обслуговування.

При аналізі роботи СМО необхідно знати її основі вхідні параметри:

– інтенсивність потоку заявок – λ;
– трудомісткість обслуговування однієї заявки – Tp;
– кількість каналів обслуговування – n;
– кількість місць очікування – m;
– кількість операторів на одному каналі – d;
– умови утворення черги.

При описі режиму роботи СМО використовуються проміжні параметри:

– час обслуговування однієї заявки $t0 = Tp/d$;
– продуктивність кожного каналу обслуговування $\mu = 1/t0$ (середня кількість заявок, що обслуговується каналом в одиницю часу);
– приведена інтенсивність обслуговування $\alpha = \lambda/\mu$;
– коефіцієнт загрузки $\beta = \alpha/n$ [1].

Виробничі процеси можуть з часом перериватися в результаті часткового або цілковитого виходу з ладу окремих вузлів чи цілих агрегатів (станків, верстатів, виробничих ліній тощо), що потребує налагодження цієї виробничої структури. Наперед неможливо передбачити ні час виходу з ладу такої структури, ні час для її налагодження. Обидві ці величини з випадковими змінними розподілені за експонентним законом відповідно до параметрів λ та μ (λ>0, μ>0).

СМО виробничих процесів є трьох видів, а саме:

– системи масового обслуговування виробничих процесів з однією лінією обслуговування (M/M/1):(GT/m/m), де символ GT – це дисципліна черги не регламентована (якщо деякий верстат вийшов з ладу, а робітник-налагоджувач незайнятий в цей момент часу обслуговуванням якогось іншого верстата, то він відразу починає налагоджувати зіпсований верстат, в протилежному випадку – утворюється черга на обслуговування з верстатів що вийшли з ладу);
– системи масового обслуговування виробничих процесів з декількома лініями обслуговування (M/M/n):(GT/m/m), де робітників-налагоджувачів більше одного;
– системи масового обслуговування виробничого процесу розподільчого типу (M/M/m):(GT/m/m), система, в якій декілька споживачів використовують деякий ресурс з одного джерела постачання, причому вимоги на постачання цього ресурсу та необхідні об'єми його незалежні між собою [6].

У СМО потік вимог та час обслуговування є випадковими. Всі процеси, що виконуються у СМО мають нерегулярний характер. Тобто бувають моменти часу роботи системи, що утворюється черга з верстатів, що очікують обслуговування. Але може виникнути така ситуація, що виникає простій апаратів обслуговування. Встановлення оптимальної (з мінімальними простоями) залежності між числом вузлів і їх продуктивністю (часом обслуговування), характером потоку вимог, правилами роботи системи обслуговування виступає завданням теорії масового обслуговування.

Дуже часто в якості показників ефективності роботи СМО використовуються: показники середнього часу очікування вимоги початку обслуговування; середнього розміру черги на обслуговування; ймовірності того, що в системі обслуговування буде знаходитися певна кількість вимог; середнє число апаратів, зайнятих або вільних від обслуговування, і ряд інших.

Однак не менш важливим є використання економічних показників оцінки ефективності функціонування СМО. Такі показники дають узагальнену характеристику виробничого процесу. В такому разі загальні грошові витрати, пов'язані з простоями верстатів в очікуванні обслуговування, і витрати на створення та експлуатацію постів (апаратів) зазвичай обираються в якості критеріїв ефективності функціонування СМО.

На деяких машинобудівних підприємствах застосовується агрегатний метод ремонту. В разі наявності несправного верстату, його замінюють на придатний, що береться зі складу. У випадку відсутності на складі агрегатів верстат очікує в черзі на ремонт.

В такому випадку вхідний потік вимог утворюють верстати з несправними агрегатами. Оборотні агрегати в даному випадку є обслуговуючими апаратами. Вся заміна агрегатів здійснюється в порядку надходження вимог. Така СМО може розглядатися як система масового обслуговування з очікуванням.

Задача оптимізації оборотного фонду агрегатів машинобудівного підприємства зводиться до пошуку мінімуму цільової функції [8]:

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

$$z = B_{оч} A_н + B_N A_c, \quad (2)$$

де $B_{оч}$ – витрати у т. грн, що викликані простоєм одного верстата в очікуванні надходження відремонтованого агрегату протягом доби;

$A_н$ – середня кількість несправних верстатів, що очікують надходження відремонтованих агрегатів;

B_N – витрати, що викликані невикористанням одного відремонтованого агрегату впродовж доби;

$A_с$ – середня кількість невикористаних агрегатів (що знаходяться на складі).

$B_{оч}$ и B_N визначаються шляхом калькуляції. $A_н$ и $A_с$ визначаються методами теорії масового обслуговування для конкретних умов виробничої діяльності та залежать від кількості оборотних агрегатів N.

Якщо верстати надходять на ремонт (заміну агрегату) з інтенсивністю λ, а середній час повернення агрегату на склад складає $T_{об} = 1/\mu$, то для розімкнутої системи масового обслуговування з очікуванням маємо наступні розрахункові формули (для спрощення формул використовуються вирази $a = \lambda/\mu$, завантаження $\beta = a/n$).

Ймовірність того, що всі обслуговуючі апарати (агрегати) вільні:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1}\frac{a^k}{k!}+\frac{a^N}{N!(1-\beta)}} \quad (3)$$

Ймовірність того, що всі обслуговуючі апарати (агрегати) зайняті:

$$P_н = \frac{P_0}{N!(1-\beta)} \quad (4)$$

Середня кількість вимог (верстатів):

$$A_н = \frac{P_н q}{(1-\beta)^2} \quad (5)$$

Середня кількість вільних апаратів, що обслуговують (агрегатів):

$$A_с = \sum_{k=0}^{N-1}\frac{N-k}{k!}a^k = N - a \quad (6)$$

Початкове розрахункове число оборотних агрегатів визначається за умовою $a \le N_{min}$.

Зміною кількості оборотних агрегатів від N_{min} до N визначаємо оптимальну кількість оборотних агрегатів з умов цільової функції:

$$B_{оч} A_н + B_N A_c \rightarrow min \quad (7)$$

Розрахунок параметрів функціонування СМО доцільно здійснювати на ЕОМ.

Для проведення аналізу роботи ремонтних вузлів були отримані дані за місяць роботи машинобудівного цеху. Кожна заявка на обслуговування обладнання реєструється в єдиній базі. Далі заявки сортуються на декілька типів: заміна обладнання, ремонт на місці, направлення обладнання на ремонт до ремонтного вузла. Формування навантаження на ремонтний вузол залежить від кількості обладнання, що за місяць було спрямовано на обслуговування.

В процесі аналізу було виявлено вихідні параметри $\lambda = 1$; $T_{об} = 3$; $B_{оч} = 15$; $B_N = 5$; приведена інтенсивність $A = 3$, N – кількість каналів (агрегатів) обслуговування.

На рисунку 2 наведено алгоритм роботи програми.

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

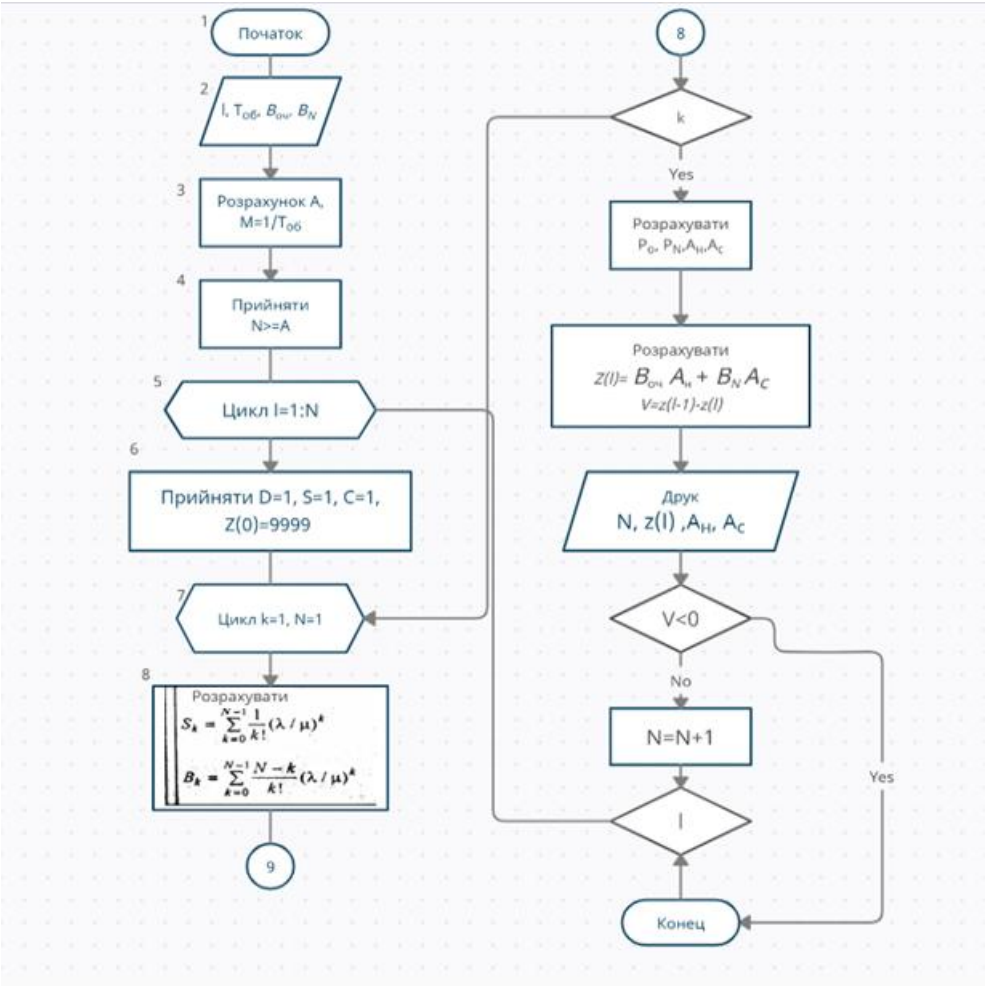
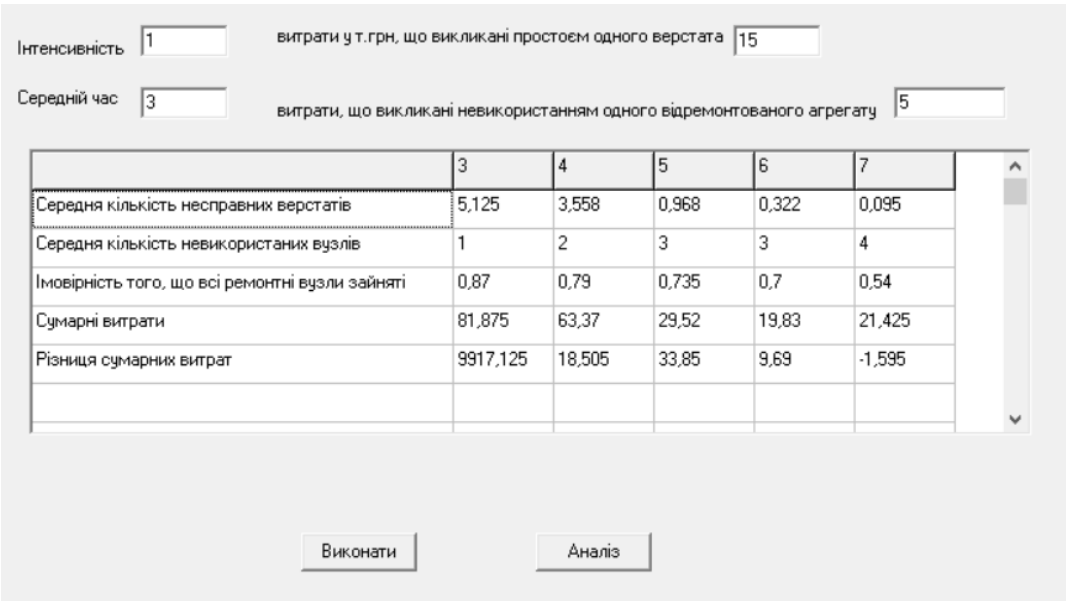


Рис. 2. Алгоритм роботи програми

На основі запропонованого алгоритму було розроблено програмний продукт у середовищі програмування Delphi 7. Таке програмне забезпечення виконує розрахунок основних показників та аналізує отриману інформацію (рис. 3).



	3	4	5	6	7
Середня кількість несправних верстатів	5,125	3,558	0,968	0,322	0,095
Середня кількість невикористаних вузлів	1	2	3	3	4
Імовірність того, що всі ремонтні вузли зайняті	0,87	0,79	0,735	0,7	0,54
Сумарні витрати	81,875	63,37	29,52	19,83	21,425
Різниця сумарних витрат	9917,125	18,505	33,85	9,69	-1,595

Рис. 3. Результати розрахунків за програмою

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

Аналіз отриманих результатів показав, що найбільш оптимальним є використання 6 ремонтних вузлів. При цьому маємо найменші загальні витрати на обслуговування та середню зайнятість вузлів. Збільшення ремонтних вузлів призводить до збільшення витрат і збільшення імовірності простою каналів.

Графічний аналіз отриманих результатів представлено на рисунку 4.

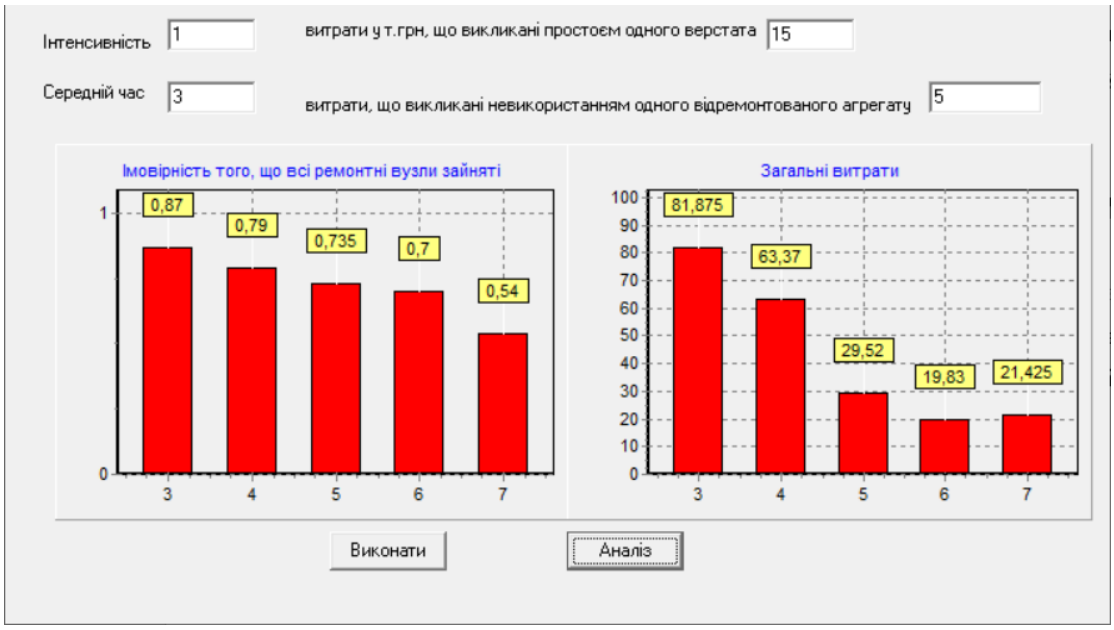


Рис. 4. Графічний аналіз отриманих результатів

Аналізуючи перший графік, видно, що при збільшенні кількості ремонтних вузлів загальне навантаження падає і при кількості вузлів 7 в роботі зайняті тільки половина каналів. Дані другого графіку дозволяють користувачу програми проаналізувати залежність витрат від кількості ремонтних вузлів. Як бачимо на рисунку, витрати зменшуються до певного рівня у 6 каналів, далі витрати починають збільшуватися, оскільки падає навантаження на ремонтні вузли. Можна зробити висновок, що оптимальною кількістю каналів для вказаних вхідних даних є 6 шт., оскільки при такій кількості каналів підприємство має мінімальні витрати у розмірі 19,83 т. грн.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Таким чином, було досліджено процес управління технічним обслуговуванням та ремонтом обладнання машинобудівного підприємства та доведено ефективність застосування теорії систем масового обслуговування для вирішення такої задачі. Основні показники СМО дозволяють виконати аналіз та оптимізувати процес ремонту за умови економії витрат робочого часу. За результатами розрахунків є можливість обрати необхідну кількість обслуговуючих агрегатів для ремонту непрацюючих верстатів на машинобудівному підприємстві при мінімальних витратах на обслуговування.

Список бібліографічного опису

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. 2-е изд., перераб. — М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1978. — 400 с.
2. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М.: URSS: Ком. книга, 2005. – 135 с.
3. Кениг Д., Штойян Д. Методы теории массового обслуживания: Пер. с нем. / Под ред. Г. П. Климова. – М .: Радио и связь, 1981. – 128 с, ил.
4. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
5. Нечволода Л.В. Информационные технологии поддержки принятия решений технического переоснащения машиностроительного предприятия/ дис. на соиск. ученой степени к.т.н. – Донецк, 2011.
6. Новиков О.А. и др. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. М.: «Советское радио», 1969. – 400 с.
7. Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания / Л. А. Овчаров. – М. : Машиностроение, 1969. – 324 с.
8. Советов Б. Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов — 3-е ид., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 343 с: ил.
9. Теорія систем масового обслуговування: навч. посібник / А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

10. Хинчин А.Я. Работы по теории массового обслуживания / А.Я. Хинчин; под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: УРСС, 2004. – 267 с.
11. Чистякова Т. Моделювання роботи системи масового обслуговування виробничих процесів// Наукові записки молодих вчених [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1449

References

1. Buslenko N.P. Modeling of complex systems. 2nd ed., redesign. Moscow, Main edition of the physical and mathematical literature of the publication "Nauka", 1978. 400 p. (in Russian)
2. Gnedenko B.V., Kovalenko I.N. Introduction to queuing theory. Moscow, URSS: Com. book, 2005. 135 p. (in Russian)
3. Kenig D., Shtoyyan D. Queuing theory methods. (Russ.ed.: Klimova G.P., Moscow, Radio and communications, 1981. 128 p., ill.).
4. Kleinrock L. Queuing systems. Vol.2. Computer Application. New York, Wiley (Russ.ed.: Tsybakov V.S., Moscow, Mir, 1979. 600 p.).
5. Nechvoloda L.V. Information technologies for support of decision making of technical re-equipment of engineering enterprise. PhD diss. Donetsk, 2011. 216 p. (in Russian)
6. Novikov O.A Applied issues of queuing theory. Moscow, Soviet Radio, 1969. 400 p. (in Russian)
7. Ovcharov L.A. Applied problems of queuing theory. Moscow, Mashinostroenie, 1969. 324 p. (in Russian)
8. Sovetov B.E., Yakovlev S.A. Modeling of systems: for universities. 3rd ed., redesign. Moscow, Vyisshaya shkola, 2001. 343 p., ill. (in Russian)
9. Litvinov A.L. Theory of queuing systems: tutorial. Kharkiv, O.M.Beketov National University of Urban Economy, 2018. 141 p. (in Ukrainian)
10. Hinchin A.Ya., Gnedenko B.V. Works on queuing theory. Moscow, URSS, 2004. 267 p. (in Russian)
11. Chistyakova T. Modeling of work of queuing systems of production processes. Scientific notes of young scientists Available at: https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1449 (accessed 10 April 2021).

© Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-20
УДК 681.121.89.082.4
Роман Віталій Іванович, доцент, к.т.н.
https://orcid.org/0000-0002-8546-6752
Іжик Ангеліна Борисівна, студентка
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

АНАЛІТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ РОЗТАШУВАННЯ ТА ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ АКУСТИЧНИХ КАНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ

Роман В.І., Іжик А.Б. Аналітичні залежності розрахунку координат розташування та вагових коефіцієнтів акустичних каналів ультразвукових витратомірів. На базі числового методу інтегрування Гауса-Якобі розроблено аналітичні залежності розрахунку координат розташування та вагових коефіцієнтів акустичних каналів для дво-, трьох- та чотириканальних хордових ультразвукових витратомірів.
Ключові слова: ультразвуковий витратомір, акустичний канал, числовий метод інтегрування Гауса, поліном Якобі, апроксимація.

Роман В.И., Ижик А.Б. Аналитические зависимости расчета координат местоположения и весовых коэффициентов акустических каналов ультразвуковых расходомеров. На базе численного метода интегрирования Гаусса-Якоби разработаны аналитические зависимости расчета координат местоположения и весовых коэффициентов акустических каналов для двух-, трех- и четырехканальных хордовых ультразвуковых расходомеров.
Ключевые слова: ультразвуковой расходомер, акустический канал, численный метод интегрирования Гаусса, полином Якоби, аппроксимация.

Roman V.I., Izhik A.B. Analytical dependences of calculation of location coordinates and weight coefficients of acoustic paths of ultrasonic flowmeters. On the basis of Gauss-Jacobi numerical integration methods developed analytical calculation depending on location coordinates and weighting coefficients acoustic paths of two-, three- and four-path chordal ultrasonic flow meters.
Keywords: ultrasonic flowmeter, acoustic path, Gauss numerical integration method, Jacobi polynomial, approximation.

Постановка наукової проблеми. Принцип роботи багатоканальних ультразвукових витратомірів (УЗВ) полягає у вимірюванні швидкості потоку не в поперечному перерізі вимірювального трубопроводу (ВТ), як того вимагає швидкісний метод вимірювання витрати, а вздовж акустичних каналів (АК) витратоміра [1]. При цьому, існує два способи підсумовування значень цих усереднених швидкостей [1]: з постійними або змінними ваговими коефіцієнтами. Зокрема, постійні вагові коефіцієнти визначаються на підставі відомих числових методів інтегрування (до прикладу, метод Гауса-Якобі [2, 3]), а змінні – за виміряними параметрами потоку (наприклад, швидкістю потоку) [1]. Також, числові методи інтегрування (ЧМІ) використовуються при розрахунку координат розташування АК УЗВ. Тому, під час наукових досліджень, проектуванні нових або удосконаленні існуючих багатоканальних УЗВ виникає потреба використання ЧМІ. Оскільки алгоритм роботи ЧМІ для визначення вагових коефіцієнтів та координат розташування АК УЗВ є досить складними та ітераційними [2, 3], в даній роботі поставлено за мету розробити поліноміальні залежності, які б зв'язували значення вагових коефіцієнтів та координат розташування АК УЗВ зі степенем вагової функції ЧМІ Гауса-Якобі.

Аналіз досліджень. Застосування ЧМІ для розрахунку витрати багатоканальних УЗВ за швидкостями вздовж їх АК вперше задокументовано патентом компанії Westinghouse в 1965 році. Перший комерційний УЗВ природного газу, який використовував метод Гаусових квадратур, запатентовано компанії British Gas Corporation в 1986 році. Застосування ЧМІ для задач багатоканальної ультразвукової витратометрії досліджено і представлено в багатьох наукових працях [2-5], зокрема у звітах Американської газової асоціації [6] та Європейської групи по дослідженню газу [7]. До слова, в [7] чітко рекомендується застосовувати ЧМІ Гауса-Якобі або спеціально розроблені методи на його базі. Вклад в дослідження ЧМІ для вимірювання витрати акустичним методом внесли Voser, Tresch, Gruber та Staubli. В своїх працях вони досліджували ЧМІ Гауса-Лежандра і Гауса-Якобі, що занесені в стандарти IEC 41 та ASME PTC18-2002, як ЧМІ при вимірювання витрати води акустичним методом (acoustic discharge measurement, ADM). Модифікувавши метод Гауса-Якобі, Voser розробив новий метод для визначення координат розташування АК та їх вагових коефіцієнтів, який покращив результат попереднього методу на 0,1…0,2 % [3]. В подальшому, Tresch, Gruber та Staubli також запропонували удосконалювати ЧМІ Гауса-Якобі шляхом модифікації показника степеня його вагової функції [2].

В результаті виконаного огляду можна з впевненістю сказати, що ЧМІ Гауса-Якобі є основним

© Роман В.І., Іжик А.Б.

методом при визначенні координат розташування та вагових коефіцієнтів АК УЗВ. Проте, серед провідних науковців і дотепер не існує єдиного переконання який ЧМІ використовувати при проектуванні УЗВ. Так, наприклад, фірма Daniel використовує метод Гауса-Якобі, фірма RMG використовує метод Гауса-Чебишева, фірма Caldon – метод Гауса-Лежандра. Також, у наведених вище джерелах не розглянуто залежності вагових коефіцієнтів від координат розташування АК та не вказано, який саме ЧМІ найкраще відтворює профіль потоку та забезпечує найвищу точність інтегрування витрати. Тому, питання дослідження ЧМІ для задач багатоканальних ультразвукової витратометрії залишається відкритим. Розробка аналітичних залежностей, які зв'яжуть значення вагових коефіцієнтів та координат розташування АК УЗВ зі степенем вагової функції ЧМІ Гауса-Якобі, дозволить проводити швидкі порівняльні дослідження різноманітних конструкцій УЗВ із застосуванням комп'ютерної техніки та відомих формул профілів потоку, зокрема спотвореного (у вигляді функцій Salami).

В даній роботі частково використані результати досліджень, викладених в магістерській кваліфікаційній роботі [14] студента, науковим керівником якого був Роман В.І.

Виклад матеріалу. УЗВ у якому застосовано більше ніж один АК називають багатоканальним. В залежності від схеми просторового розташування АК, УЗВ поділяють на хордові, діаметральні або комбіновані [1]. В даній роботі досліджено найбільш розповсюджені – хордові УЗВ, у яких АК розташовані у симетричних відносно осі не діаметральних площинах (див.рис.1). Для обчислення об'ємної витрати багатоканальних хордових УЗВ (q_{USM}) може бути застосована наступна формула [2, 3]:

$$q_{USM} = \pi R^2 \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{2\sqrt{R^2 - x(i)^2}}{\pi R} w(i) u_h(i) \right), \tag{1}$$

де R – внутрішній радіус ВТ (або корпусу УЗВ); $x(i)$, $w(i)$ – координата розташування та ваговий коефіцієнт i-го АК; $u_h(i)$ – усереднена вздовж i-го хордового АК швидкість потоку; N – кількість АК.

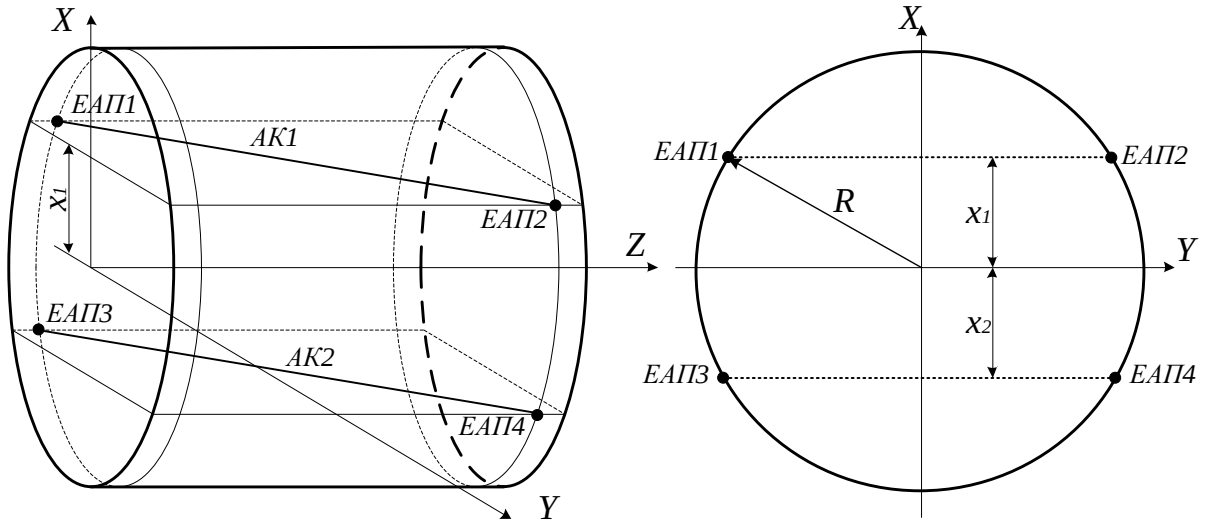


Рис. 1. Спрощена схема просторового розташування АК двоканального хордового УЗВ: ЕАП – електроакустичний перетворювач

Для реалізації формули (1) необхідно мати значення $x(i)$ та $w(i)$, а також значення середньої швидкість потоку $u_h(i)$ вздовж кожного хордового АК. Як було зазначено вище, для розрахунку значень $x(i)$ та $w(i)$ використовують ЧМІ.

Згідно теорії, первинно об'ємна витрата потоку через переріз ВТ круглої форми може бути описана подвійним визначеним інтегралом, де підінтегральною функцією виступає розподіл швидкості потоку в перерізі ВТ. Враховуючи, що розподіл швидкості залежить від багатьох факторів (число Рейнольдса, шорсткість внутрішньої поверхні ВТ, зовнішні сили, що діють на потік під час руху по ВТ складної конфігурації), його аналітична форма (підінтегральна функція) ускладнюється [2, 3].

В тих випадках, коли неможливо розрахувати визначений інтеграл за класичною формулою Ньютона-Лейбніца, зокрема із-за занадто складного вигляду первісної функції, застосовують числові методи [8-9]. Визначений інтеграл в такому випадку можна розглядати як функціонал

© Роман В.І., Іжик А.Б.

$J_1 = \int_a^b W(x) f(x) dx$, заданий на деякій множині $f \in D(J)$, де $W(x) \geq 0$ – задана вагова функція. У випадку вимірювання витрати функція $f(x)$ це аналітична форма розподілу швидкості в перерізі ВТ.

Однією із загальних ідей при побудові алгоритмів наближеного обчислення такого інтегралу є наступна [8-9]: для підінтегральної функції будується деяке наближення і наближено покладають $J_2 \approx \int_a^b W(x) f^h(x) dx$. Звичайно, наближення $f^h(x)$ має бути таким, щоб інтеграл J_2 обчислювався простіше, ніж інтеграл J_1. В математиці поширені наближення, які лінійно виражаються через функцію $f(x)$ та її похідні в точках із діапазону інтегрування функції. На практиці, згідно аналізу науково-технічних праць [10, 11], розглядаються наближення в яких використовують лише значення функції $f(x)$ і не використовуються її похідні.

Формула для розрахунку визначеного інтеграла з використанням ЧМІ без застосування похідних виглядає наступним чином $J_3 \approx \sum_{j=1}^{Nt} w_j f(x_j)$, де Nt – число точок, в яких вираховують значення підінтегральної функції $f(x)$. Точки в яких вираховують значення підінтегральної функції x називають абсцисами ЧМІ, а w – вагами ЧМІ [8-11]. Практично абсцисам ЧМІ відповідають координати розташування АК УЗВ, а вагам ЧМІ відповідають вагові коефіцієнти АК, які множаться на швидкості знайдені вздовж цих каналів ультразвуковим методом. В результаті кількість абсцис Nt ЧМІ відповідатиме кількості АК N (далі Nt позначатимемо як N).

Інтеграл J_3 з інтегралу J_2 можна отримати, якщо вибрати $f^h(x)$ у вигляді $f^h(x) \equiv p_{Nt-1}(x; f) = \sum_{j=1}^{Nt} f(x_j) l_{j,Nt-1}(x)$, де $p_{Nt-1}(x; f)$ – інтерполяційний поліном степеня Nt-1 для функції $f(x)$ за вузлами x_j, $j = 1 \ldots Nt$; $l_{j,Nt-1}$ – фундаментальні інтерполяційні поліноми. В такому випадку $w_j = \int_a^b W(x) l_{j,Nt-1}(x) dx$ [8].

Згідно такого підходу ЧМІ поділяються на три групи [8]: методи Ньютона-Котеса (прямокутників, трапецій, Сімпсона, трьох восьмих та інші); метод Чебишева; методи найвищого ступеня точності Гауса.

ЧМІ першої групи застосовуються для розв'язку так званої задачі Ньютона [10]: коли для заданого розташування абсцис і їх кількості, потрібно знайти найкращі значення вагів ЧМІ. Дана задача є найбільш гнучкою, так як для довільного розташування абсцис дозволяє знайти оптимальне значення вагів. При цьому, при заміні підінтегральної функції на поліном нульового, першого і другого степеня отримаємо ЧМІ прямокутників, трапецій, Сімпсона відповідно. Проте, застосування цього класу ЧМІ для багатоканальних УЗВ є незручним. Це пояснюється тим, що в цих методах вимагається для абсцис використовувати фіксовані точки (крайні точки інтервалу інтегрування та його середину). Практично це недопустимо, так як розташування АК прямо на стінці ВТ є технологічно неможливим. Також, ці методи згідно правила Рунге мають низький порядок точності (0 – метод правих і лівих прямокутників, 1 – метод середніх прямокутників і трапецій; 3 – метод парабол Сімпсона).

ЧМІ другої групи застосовуються для розв'язку так званої задачі Чебишева [10]: для заданих значень вагів та їх кількості знайти оптимальне значення абсцис. Зважаючи на трактування задачі реалізувати її для багатоканального УЗВ буде складно, так як потрібно на перед знати структуру потоку яка б враховувалась певним розташуванням АК. Окрім реалізації, в роботі [11], проведено аналіз ЧМІ і показано, що метод Чебишева дає найбільшу похибку інтегрування. Відповідно застосування цього ЧМІ не розглядається в даній роботі.

ЧМІ третьої групи застосовуються для розв'язку так званої задачі Гауса [10]: знайти оптимальні значення абсцис і відповідні їм значень вагів. ЧМІ Гауса із-за своїх властивостей дозволяють визначити абсциси і ваги таким чином, щоб отримати формулу ЧМІ якомога більшого порядку точності на відміну від обмежених у цьому попередніх методів. В роботі [11], методи Гауса дають найменшу похибку інтегрування. Відповідно застосування цього ЧМІ є актуальним і доречним, щоб бути розглянутим в даній роботі.

Порядок точності ЧМІ Гауса складає $2N$-1, такий результат досягається використанням

© Роман В.І., Іжик А.Б.

ортогональних поліномів в якості вагових функцій [13]. В залежності від поліномів, які використовуються в формулі ЧМІ Гауса, існує ряд різновидів даного методу. Серед найбільш застосовуваних ЧМІ Гауса можна назвати метод Гауса-Якобі. Його формула для відносного інтервалу інтегрування $x \in [-1;\ 1]$ із використанням ортогонального ультрасферичного полінома Якобі виглядає наступним чином $\int_{-1}^{+1} W(x) f(x) dx = \sum_{j=1}^{N} w_j f(x_j)$. При цьому вагова функція поліному Якобі має вигляд $W(x) = (1-x)^{\alpha}(1+x)^{\beta}$, де $\alpha = \beta$ – коефіцієнти вагової функції поліному Якобі (за замовчуванням 0,5).

Оскільки ЧМІ Гауса-Якобі дає можливість отримати наближений розв'язок визначеного інтегралу на проміжку інтегрування $x \in [-1;\ 1]$ для функції $f(x)$, дуже часто в якості $f(x)$ розглядають розподіл швидкості потоку в перерізі ВТ. При цьому відомі тільки декілька швидкостей, виміряних у точках розташування АК УЗВ. Тобто, розглядаючи симетричний незбурений профіль швидкості потоку під час усталеного режиму руху потоку як вагову функцію $W(x)$ у вигляді $(1-x^2)^k$, де $k = \alpha = \beta$, зміною значень k ($k > 0$) [2, 3], можна наблизити форму кривої $W(x)$, до вигляду кривої розподілу швидкості потоку у ВТ. При цьому буде отримано значення x та w, які забезпечать якнайбільш точне інтегрування профілю швидкості, а отже і витрати потоку.

Для прикладу, у роботах [2, 3] авторами пропонується модифікація вагової функції полінома Якобі таким чином, щоб вона була аналітично близькою до функції розподілу швидкості (розподілу елементарної витрати потоку, area-flow-function). На основі цього підходу у [2] запропоновано вибрати коефіцієнт k рівним 0,6 та розроблено новий ЧМІ під назвою OWICS (Optimal Weighted Integration for Circular Section). Для цього методу у [3] представлені аналітичні залежності для розрахунку абсцис та вагів ЧМІ в залежності від кількості N. Проте, досі не існує залежностей, які б охоплювали увесь діапазон k для найбільш типової кількості АК УЗВ $N = 2\ldots4$. Тому, в цій роботі розроблено такі аналітичні залежності, що зв'яжуть значення $x(i)$ та $w(i)$ зі значенням k ЧМІ Гауса-Якобі для $N = 2\ldots4$ хордових УЗВ.

Розробка аналітичних залежностей для координат розташування АК УЗВ. Розрахунок координат розташування АК УЗВ може мати декілька реалізацій, як це показано в [3, 9, 10]. Оскільки поліном Якобі є табличним ортогональним поліномом [8], для якого відоме рекурентне рівняння (2), доцільним буде застосувати наступний алгоритм розробки аналітичних зеленостей для координат розташування АК УЗВ по аналогії знаходження абсцис ЧМІ Гауса-Якобі на основі якого він побудований:

1. Вибір значення N з діапазону $N = 2\ldots4$.
2. Вибір значення k з діапазону $k = 0{,}5\ldots0{,}9$.
3. Побудова рекурентних рівнянь поліному Якобі за модифікованою класичною формулою (2), в якій коефіцієнти α та β замінені на k.

$$
\begin{aligned}
&p_{j+1} = \frac{(d_j + e_j x) p_j - f_j p_{j-1}}{c_j};\ (j = 0,1,\ldots N-1);\ k > -1 \\
&c_j = 2(j+1)(j+2k+1)2(j+k) \\
&d_j = 2(j+k+0{,}5) \\
&e_j = 2(j+k)2(j+k+0{,}5)2(j+k+1) \\
&f_j = 2(j+k)4k(j+k+1) \\
&p_{-1} = 0;\ \ p_0 = 1
\end{aligned}
\tag{2}
$$

4. Знаходження коренів поліному Якобі p_{j+1}, які й будуть абсцисами ЧМІ Гауса-Якобі, а відповідно $x(i)$ – координатами розташування АК УЗВ. Для знаходження коренів поліному Якобі в даній роботі використано функцію *roots* програмного середовища MATLAB. Результати розрахунку координат розташування АК УЗВ зведено в табл.1, де індекси біля x – це номери АК УЗВ.

Таблиця 1. Координати розташування АК УЗВ за ЧМІ Гауса-Якобі

k	$N = 2$	$N = 3$		$N = 4$	
	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	x_2	$x_{1,4}$	$x_{2,3}$
0,50	±0,5000	±0,7071	0	±0,8090	±0,3090
0,60	±0,4880	±0,6956	0	±0,7996	±0,3038
0,70	±0,4767	±0,6846	0	±0,7905	±0,2988

© Роман В.І., Іжик А.Б.

0,80	±0,4662	±0,6741	0	±0,7817	±0,2940
0,90	±0,4564	±0,6642	0	±0,7732	±0,2895

5. Провівши аналіз отриманих результатів, шляхом апроксимації поліномами різного степеня, отримуємо наступні аналітичні залежності x = f(k) та середньоквадратичне відхилення (СКВ) по відношенню до табличних значень:

N = 2: $x_{1,2} = 0,0368 \cdot k^2 - 0,1604 \cdot k + 0,571$ (СКВ = $2,210 \cdot 10^{-5}$)

N = 3: $x_{1,3} = 0,0251 \cdot k^2 - 0,1423 \cdot k + 0,772$ (СКВ = $1,997 \cdot 10^{-5}$)

$x_2 = 0$

N = 4: $x_{1,4} = 0,0146 \cdot k^2 - 0,1098 \cdot k + 0,8602$ (СКВ = $2,375 \cdot 10^{-5}$)

$x_{2,3} = 0,0115 \cdot k^2 - 0,0647 \cdot k + 0,3385$ (СКВ = $7,428 \cdot 10^{-6}$)

Графіки отриманих поліноміальних аналітичні залежності x = f(k) наведено на рис.2.

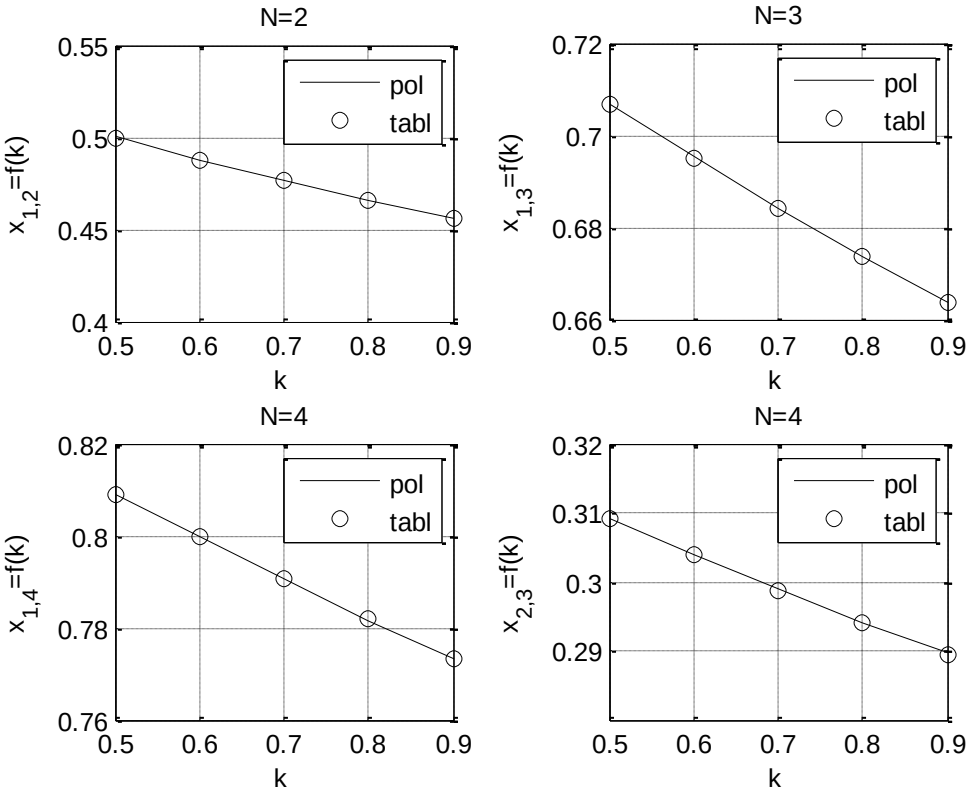


Рис.2. Графіки аналітичних залежностей x = f(k) для УЗВ з різним значенням N:
pol – крива за поліномом, *tabl* – табличні дані

Розробка аналітичних залежностей для вагових коефіцієнтів АК УЗВ. Для більшості ЧМІ, які застосовуються для ультразвукової витратометрії, зокрема Гауса-Лежандра, Гауса-Чебишева 1-го порядку, Гауса-Чебишева 2-го порядку, науковцями отримані прості аналітичні залежності для визначення вагів [8, 9]. Однак, для методу на основі ЧМІ Гауса-Якобі, визначення вагів (вагових коефіцієнтів АК УЗВ) відбувається за іншим підходом. Згідно [8, 9] розрахунок вагових коефіцієнтів АК на основі ЧМІ Гауса-Якобі може бути виконаний за наступною формулою виду $w(i) = \frac{1}{W(x(i))} \int_a^b W(x) PL_i(x) dx;\ (i = 1,\ 2, ... N)$, де $PL_i(x)$ – поліном Лагранжа $PL_i(x) = \prod_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{N} \frac{x - x(i)}{x(i) - x(l)}$.

Підставляючи отримані вище значення координат розташування x та значення k, для яких вони були отримані, розраховуємо вагові коефіцієнти w. Результати розрахунку вагових коефіцієнтів АК УЗВ зведено в табл.2.

© Роман В.І., Іжик А.Б.

Таблиця 2. Вагові коефіцієнти АК УЗВ за ЧМІ Гауса-Якобі

k	$N = 2$	$N = 3$		$N = 4$	
	$w_{1,2}$	$w_{1,3}$	w_2	$w_{1,4}$	$w_{2,3}$
0,50	0,9069	0,5554	0,7853	0,3693	0,5976
0,60	0,8908	0,5537	0,7687	0,3719	0,5882
0,70	0,8754	0,5517	0,7530	0,3740	0,5793
0,80	0,8607	0,5495	0,7382	0,3758	0,5708
0,90	0,8467	0,5470	0,7242	0,3772	0,5626

Провівши аналіз отриманих результатів, шляхом апроксимації поліномами другого степеня, отримуємо наступні аналітичні залежності $w = f(k)$:

$N = 2$: $w_{1,2} = 0,0349 \cdot k^2 - 0,1992 \cdot k + 0,9978$ (СКВ = $1,957 \cdot 10^{-5}$)

$N = 3$: $w_{1,3} = -0,013032 \cdot k^2 - 0,002628 \cdot k + 0,55996$ (СКВ = $1,904 \cdot 10^{-5}$)

$w_2 = 0,047 \cdot k^2 - 0,2185 \cdot k + 0,8828$ (СКВ = $5,387 \cdot 10^{-5}$)

$N = 4$: $w_{1,4} = -0,0185 \cdot k^2 + 0,0457 \cdot k + 0,351$ (СКВ = $4,545 \cdot 10^{-5}$)

$w_{2,3} = 0,02 \cdot k^2 - 0,116 \cdot k + 0,65$ (СКВ = $5,061 \cdot 10^{-5}$)

Графіки отриманих поліноміальних аналітичні залежності $w = f(k)$ наведено на рис.3.

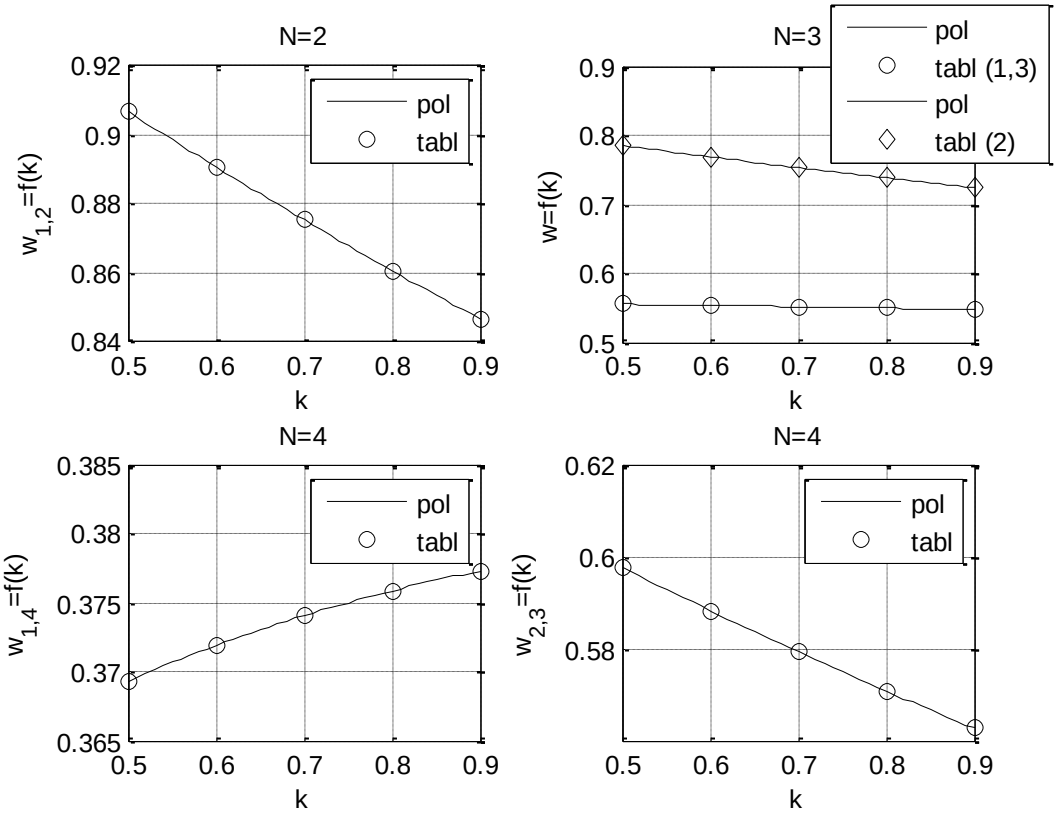


Рис.3. Графіки аналітичних залежностей $w = f(k)$ для УЗВ з різним значенням N:
pol – крива за поліномом, *tabl* – табличні дані

Висновки та перспективи подальшого дослідження. За результатами виконаних досліджень, було вперше розроблено аналітичні залежності $x = f(k)$ та $w = f(k)$ для ЧМІ Гауса-Якобі ($N = 2…4$). Всі залежності були описані поліномами другого порядку, що в подальшому дозволяє застосовувати їх для розрахунку складових рівняння об'ємної витрати багатоканальних хордових УЗВ (x та w) без застосування ітераційних процедур та довідкових таблиць даних ЧМІ Гауса-Якобі. Також, слід зазначити, що подібні залежності $x = f(k)$ та $w = f(k)$ для ЧМІ Гауса-Якобі можна легко (за необхідності) розробити для УЗВ з N більше 4. Під перспективою подальших досліджень авторами вбачається застосування розроблених залежності $x = f(k)$ та $w = f(k)$ при пошуку шляхів усунення похибок УЗВ, зумовлених роботою витратомірів в умовах спотворень структури потоку – задача пошуку конструкції УЗВ інваріантної до гідродинамічних збурень потоку.

© Роман В.І., Іжик А.Б.

Список бібліографічного опису

1. International Organization for Standardization. (2010). *ISO 17089-1: Measurement of fluid flow in closed conduits - Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement*. Geneva, Switzerland: ISO.
2. Tresch, T., Gruber, P., & Staubli, T. (2006, July 30 – August 1). *Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurements*. Paper presented at the Proceedings of the 6th International Conference on IGHEM, Portland Oregon, USA. doi: http://www.ighem.org.
3. Voser, A. (1999). *Analysis and error optimization of multipath strength acoustic flow measurement in water turbines*. Unpublished master‘s doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, Switzerland.
4. Pannel, C. N., Evans, C. N., & Jackson, D. A. (1990). A new integration technique for flowmeters with chordal paths. *Flow Measurement Instrumentation, 1*, 216-224.
5. Moore, P. I., Brown, G. J., & Simpson, B. P. (2000). Ultrasonic transit- time flowmeters modeled with theoretical velocity profiles: methodology. *Meas. Sci. Technol, 11*, 1802-1811.
6. American Gas Association. (2007). *AGA Transmission Measurement Committee Report No.9: Measurement of gas by multipath ultrasonic meters (2nd ed.).* Washington, DC: AGA.
7. The European Gas Research Group. (2000). *GERG Technical Monograph No.11: Project on Ultrasonic Gas Flow Meters, Phase II*. Brussels, Belgium: GERG.
8. Abramovitz, M., & Stegum, I. (1964). *Handbook of mathematical function*. New York, NY: NBS.
9. Press, W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., & Flannery B. P. (1995). *Numerical Recipes in C (2nd ed.)*. *Cambridge*, England: Cambridge University Press.
10. Терещенко С. А. Акустическая многоплоскостная расходометрия на основе методов квадратурного интегрирования / С. А. Терещенко, М. Н. Рычагов // Акустический журнал. – 2004. – Том 50, № 1. – С. 116-122.
11. Костылев В. В. Принципы построения многоканального ультразвукового расходомера / В. В. Костылев, В. Л. Сорокопут, А. А. Стеценко, А. И. Стеценко // Совершенствование измерений расхода жидкости, газа и пара : 12-та международная научно-практическая конференция, 23-25 апреля 2002 г. : тезисы докл. - СПб. : Борей-Арт, 2002. – С. 288.
13. Гаврилюк І. П. Методи обчислень. У 2 ч. Ч. 1: підручник / І. П. Гаврилюк, В. Л. Макаров. – К. : Вища школа, 1995. – 367 с. – ISBN 5-11-00411102.
14. Остафійчук В.Я. (2020). Дослідження конструктивних характеристик ультразвукових витратомірів. Магістерська кваліфікаційна робота. Національний університет «Львівська політехніка», Львів. – 74 с .

References

1. International Organization for Standardization. (2010). *ISO 17089-1: Measurement of fluid flow in closed conduits - Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement*. Geneva, Switzerland: ISO.
2. Tresch, T., Gruber, P., & Staubli, T. (2006, July 30 – August 1). *Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurements*. Paper presented at the Proceedings of the 6th International Conference on IGHEM, Portland Oregon, USA.
3. Voser, A. (1999). *Analysis and error optimization of multipath strength acoustic flow measurement in water turbines*. Unpublished master‘s doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, Switzerland.
4. Pannel, C. N., Evans, C. N., & Jackson, D. A. (1990). A new integration technique for flowmeters with chordal paths. *Flow Measurement Instrumentation, 1*, 216-224.
5. Moore, P. I., Brown, G. J., & Simpson, B. P. (2000). Ultrasonic transit-time flowmeters modeled with theoretical velocity profiles: methodology. *Meas. Sci. Technol, 11*, 1802-1811.
6. American Gas Association. (2007). *AGA Transmission Measurement Committee Report No.9: Measurement of gas by multipath ultrasonic meters (2nd ed.).* Washington, DC: AGA.
7. The European Gas Research Group. (2000). *GERG Technical Monograph No.11: Project on Ultrasonic Gas Flow Meters, Phase II*. Brussels, Belgium: GERG.
8. Abramovitz, M., & Stegum, I. (1964). *Handbook of mathematical function*. New York, NY: NBS.
9. Press, W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., & Flannery B. P. (1995). *Numerical Recipes in C (2nd ed.)*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
10. Tereshchenko, S. A., & Rychagov, M. N. (2004). Multiplane acoustic flowmetering based on quadrature integration methods. *Acoustic magazine*. *50(1)*, 116-122.
11. Kostylev, V. V., Sorokoput, V. L., Stecenko, A. A., & Stecenko, A. I. (2002, April 23-25). *Principles of construction of a multi-channel ultrasonic flowmeter*. Paper presented at the Proceedings of the 12th international scientific and practical conference “Improvement of flow measurement of liquid, gas and steam”, St. Petersburg.
13. Havrylyuk, I. P., & Makarov, V. L. (1995). Methods of computation. In Part 2. Part 1. Tutorial. Kyiv: Vyshcha shkola.
14. Ostafiychuk V.Ya. (2020). Research of design characteristics of ultrasonic flowmeters. Master's thesis. Lviv Polytechnic National University, Lviv. – 74 pages.

© Роман В.І., Іжик А.Б.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-21
УДК 621.311
Рощенко Олексій Миколайович, старший науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0002-3562-5428
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ПОРТАТИВНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ: ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД

Рощенко О. М. Перспективні напрямки розширення функціональності портативних електронних пристроїв: зарубіжний досвід. У статті розкрито зарубіжний досвід напрямків розширення функціональності портативних електронних пристроїв. Визначено слабкі сторони сучасних портативних електронних пристроїв. Зазначено, що переносні електронні пристрої, включаючи мобільні телефони, портативні комп'ютери, планшети та мобільні (переносні) електронні пристрої сприяють швидкому зростанню обробки та обміну інформацією. Підкреслено, що швидкий прогрес портативних електронних пристроїв неможливий без поступового вдосконалення технологій акумуляторних батарей. Первинні батареї вже використовувались як основне джерело енергії портативних електронних пристроїв протягом тривалого періоду. Наведено внутрішні та зовнішні методи захисту батарей портативних електронних пристроїв. Окремо відзначено портативні електронні пристрої, що мають механічну гнучкість (наприклад, зсувні дисплеї), вони представляють новий напрямок для електронної промисловості. Крім того, вони можуть поєднуватися з мобільними датчиками (наприклад, розумним одягом), щоб зробити революцію в житті людини. Наголошено, що електрохімічні функції гнучких батарей зазвичай погіршуються при тривалих частих механічних деформаціях, наприклад, при згинанні, згортанні, скручуванні та інших режимах деформації. З високою ємністю, можливістю швидкого заряджання / розряджання та чудовою стабільністю на циклі, що може бути додатково поєднано з гнучкими електролітами та сепараторами. Зазначається, що з метою подальшого задоволення постійно високих вимог до акумуляторних батарей у портативних електронних пристроїв, значні зусилля у галузі досліджень у всьому світі були спрямовані на вдосконалення існуючих акумуляторних систем з використанням нових матеріалів, передових технологій та нових енергетичних хімічних сполук.
Ключові слова: портативність, електронний пристрій, функціональність, розширення, батарея, заряд.

Рощенко А. Н. Перспективные направления расширения функциональности портативных электронных устройств: зарубежный опыт. В статье раскрыто зарубежный опыт направлений расширения функциональности портативных электронных устройств. Определены слабые стороны современных портативных электронных устройств. Отмечено, что переносные электронные устройства, включая мобильные телефоны, портативные компьютеры, планшеты и мобильные (переносные) электронные устройства способствуют быстрому росту обработки и обмена информацией. Подчеркнуто, что быстрый прогресс портативных электронных устройств невозможен без постепенного совершенствования технологий аккумуляторных батарей. Первичные батареи уже использовались как основной источник энергии портативных электронных устройств в течение длительного периода. Приведены внутренние и внешние методы защиты батарей портативных электронных устройств. Отдельно отмечено портативные электронные устройства, имеющие механическую гибкость (например, сдвижные дисплее), они представляют новое направление для электронной промышленности. Кроме того, они могут сочетаться с мобильными датчиками (например, умным одеждой), чтобы сделать революцию в жизни человека. Отмечено, что электрохимические функции гибких батарей обычно ухудшаются при длительных частых механических деформациях, например, при сгибании, свертывании, скручивании и других режимах деформации. С высокой емкостью, возможностью быстрой зарядки / разрядки и превосходной стабильностью на цикле, что может быть дополнительно соединяются с гибкими электролитами и сепараторами. Отмечается, что с целью дальнейшего удовлетворения постоянно высоких требований к аккумуляторных батарей в портативных электронных устройств, значительные усилия в области исследований во всем мире были направлены на совершенствование существующих аккумуляторных систем с использованием новых материалов, передовых технологий и новых энергетических химических соединений.
Ключевые слова: портативность, электронное устройство, функциональность, расширение, батарея, заряд.

Roschenko Oleksii. Promising areas for expanding the functionality of portable electronic devices: foreign experience. The article reveals foreign experience in expanding the functionality of portable electronic devices. Weaknesses of modern portable electronic devices have been identified. It is noted that portable electronic devices, including mobile phones, laptops, tablets and mobile (portable) electronic devices contribute to the rapid growth of information processing and exchange. It is emphasized that the rapid progress of portable electronic devices is impossible without the gradual improvement of battery technology. Primary batteries have been used as the main source of power for portable electronic devices for a long time. Internal and external methods of protection of batteries of portable electronic devices are given. Portable electronic devices with mechanical flexibility (for example, sliding displays) are singled out, they represent a new direction for the electronics industry. In addition, they can be combined with mobile sensors (such as smart clothing) to revolutionize human life. It is emphasized that the electrochemical functions of flexible batteries usually deteriorate during prolonged frequent mechanical deformations, such as bending, folding, twisting and other modes of deformation. With high capacity, fast charging / discharging capability and excellent cycle stability, which can be further combined with flexible electrolytes and separators. It is noted that in order to further meet the ever-increasing demands on batteries in portable electronic devices, significant research efforts around the world have focused on improving existing battery systems using new materials, advanced technologies and new energy chemicals.
Key words: portability, electronic device, functionality, expansion, battery, charge.

© Рощенко О. М.

Постановка проблеми. Сучасні портативні електронні пристрої (ПЕП) є перспективними платформами для обміну інформацією для реагування в режимі реального часу. Їх показники стають дедалі більш чутливими до споживання енергії. Акумуляторні батареї є основним джерелом енергії ПЕП і містять ключ, щоб гарантувати їх бажану стабільність роботи. Завдяки надзвичайному прогресу в технологіях акумуляторів постійно з'являються багатофункціональні ПЕП, для задоволення запитів повсякденного життя сучасного населення. Постійний сплеск попиту на високоефективні ПЕП надихає на невпинне переслідування ще більш потужних акумуляторних систем. Необхідність розширення функціональності портативних електронних пристроїв є головною вимогою. За останні десятиліття міжнародні організації розробили та впроваджують акумуляторні батареї нового покоління здатні максимально сприяти підвищенню часу дії ПЕП. Вітчизняний ринок на крок позаду, необхідність перейняття зарубіжного досвіду є беззаперечним фактом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування наукової думки з питань розширення функціональних можливостей портативних електронних пристроїв датується 2000 роком, саме тоді портативні пристрої почали активно впроваджуватися в усі сфери життя людини. Чимало науковців здійснили свій вклад у розвиток портативних електронних пристроїв.

А.В. Король, Т.А. Кравцова та О.М. Муравйова [1] дослідили питання застосування мобільних пристроїв у системі навчання. Авторами наведено приклади завдань, які можуть бути вирішені за допомогою застосування цих засобів. Розглянуто основні можливості використання мобільних гаджетів у навчальній діяльності під час візуалізації демонстраційного матеріалу, анкетування, тестування, а також під час дистанційного навчання.

Статтю [2] присвячено дослідженню мобільної комерції в Україні. Проаналізовано переваги мобільної комерції та виокремлено низку проблем, вирішення яких сприятиме розвитку мобільної комерції в Україні.

А.В. Гріччіна [3] розкрила можливості використання мобільних додатків для розвитку іншомовної мовленнєвої компетенції студентів.

Щодо модернізації батарей портативних пристроїв значний внесок здійснила робота В. І. Будько [4]. Автор обґрунтував техніко-економічні параметри при формуванні мереж зарядних станцій електромобілів з буферними акумуляторами енергії при використанні енергії сонячного випромінювання та вітру.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Liu Z, Yang S, Sun B, Chang X, Zheng J, Li X. [5], Li Y, Xu H, Chien P-H [6], Chen L, Fan L-Z. [7], Hwang J-Y, Myung S-T, Sun Y-K. [8], Blomgren GE. [9], Placke T, Kloepsch R, Duehnen S, Winter M. [10], Liang Y, Zhang W, Wu D, Ni Q-Q, Zhang MQ [11], Zhang X-Q, Cheng X-B, Zhang Q [12], Guo W, Fu Y. [13] та інші.

У сучасній літературі не розглянуто питання формування принципів розширення функціональних механізмів портативних електронних пристроїв. Основна увага, науковців присвячена питанню вдосконалення розміру ПЕП, саме тому питання розгляду перспективних напрямків розширення функціональності портативних електронних пристроїв є актуальним та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Дослідити зарубіжний досвід формування перспективних напрямків розширення функціональності портативних електронних пристроїв.

Викладення основного матеріалу дослідження. У наш час багатий інформацією світ стає все більш портативним. З огляду на величезні вимоги до своєчасної та ефективної доставки глобальної інформації, для збору та передачі інформації потрібна портативна платформа обміну інформацією для реагування в режимі реального часу.

Електрохімічні системи накопичення енергії, особливо акумуляторні батареї, впродовж десятиліть широко використовуються як джерела енергії ПЕП і сприяють зростанню областей застосування ПЕП. Акумуляторні батареї ПЕП пройшли нікель-кадмієві (Ni-Cd), нікель-металеві гідриди (Ni-MH), літій-іонні (Li-ion) батареї тощо. Їх питома енергія та питома потужність істотно покращуються з часом. Однак нинішня технологія розробки акумуляторів не може повністю наздогнати стрімке зростання ПЕП. Сучасна технологія акумуляторних батарей для ПЕП виявила багато недоліків, тобто обмежену ємність накопичення енергії, короткий термін служби та високий рівень саморозряду, що стало головними недоліками для подальшого розвитку ПЕП. Наприклад, велике споживання багатофункціональних ПЕП вимагає систем накопичення енергії з більшою енергією, меншим об'ємом, меншою вагою та більшим часом експлуатації.

© Рощенко О. М.

Однак для сучасних батарей складно задовольнити постійно зростаючі вимоги електричного та електронного обладнання, що виникають. Тому раціональне проектування та виробництво нових акумуляторів було пріоритетним напрямком для майбутніх ПЕП.

Швидкий прогрес ПЕП неможливий без поступового вдосконалення технологій акумуляторних батарей. Первинні батареї вже використовувались як основне джерело енергії ПЕП протягом тривалого періоду. Однак значні успіхи акумуляторних батарей з вищою щільністю енергії та потужності помітно змінили ситуацію з початку 21 століття. В даний час акумуляторні батареї вже застосовуються в більшості ПЕП.

Закордонні виробники розробили і включили кілька різних типів акумуляторних батарей, включаючи свинцево-кислотні, Ni-Cd, Ni-MH та Li-ion акумулятори. Ці акумуляторні батареї часто приймають чотири типи форми, тобто монетні, циліндричні, призматичні та комірчасті елементи.

Завдання збільшення щільності енергії акумулятора зумовило весь прогрес технології роботи акумуляторів за останні два десятиліття. На сьогоднішній день щільність енергії батареї залишається основним критерієм вибору акумуляторної системи для ПЕП, що особливо важливо для ПЕП через обмежений простір та вагу, відведений для батарей у ПЕП. Однак досягнення у збільшенні щільності енергії акумулятора не встигають за темпом зростання потреб ПЕП. Незважаючи на те, що літій-іонні акумулятори мають найвищу щільність енергії серед різних акумуляторів, їх щільність енергії, коливаючись від 170 до 250 Вт $\cdot$кг$^{-1}$ або від 350 до 700 Вт $\cdot$ год л$^{-1}$, все ще не в змозі впоратись із зростаючими потребами в накопиченні енергії, що виникають ПЕП. Отже, є загальносвітовим і нагальним бажанням ще більше збільшити щільність енергії акумуляторних батарей.

Оскільки питома ємність акумуляторів та робоча напруга визначають їх щільність енергії, підвищення цих двох параметрів було першочерговим завданням досліджень. Методи першої категорії спрямовані на оптимізацію існуючих акумуляторних батарей, включаючи їх електродні матеріали, електроліти, сепаратори, сполучні, струмоприймачі та технології виготовлення батарей (наприклад, збільшення щільності упаковки та масових відношень активних електродних матеріалів у зібраних батареях). Наприклад, графіт є загальним анодним матеріалом для комерційних літій-іонних акумуляторів завдяки своїй хорошій стабільності, чудовій провідності та високій кулонівській ефективності. Однак теоретична ємність Li-накопичувача графітових анодів становить лише 372 мАг г$^{-1}$. Багато інших матеріалів із більшою ємністю зберігання Li, таких як Si (4200 мАг г$^{-1}$), Sn (994 мАг г$^{-1}$), SnO_2 (782 мАг г$^{-1}$), Fe_2O_3 (1007 мАг г$^{-1}$), MnO_2 (1232 мАг г$^{-1}$), Co_3O_4 (890 мАг г$^{-1}$), і NiO (718 мАг г$^{-1}$), досліджені як нові анодні матеріали. Подібним чином традиційні катодні матеріали (наприклад, оксид кобальту Li, фосфат заліза Li та оксид марганцю) можуть бути замінені матеріалами ємності (наприклад, багатошарові оксиди, багаті Ni та багатошарові оксиди, багаті Li) або матеріалами напруги (наприклад, оксиди поліаніону та шпінелі). Ці зусилля змогли значно покращити щільність енергії літій-іонних батарей, принаймні в багатьох лабораторних дослідженнях.

Методи другої категорії спрямовані на розробку нових акумуляторів. Існує припущення, що існуючі батареї, включаючи літій-іонні акумулятори, мають обмежений простір для подальшого вдосконалення. Прорив у збільшенні щільності енергії батареї вимагає розвитку нових електрохімічних реакцій. У цьому напрямку в останні роки інтенсивно застосовуються нові акумуляторні системи, включаючи металеві батареї Li, металеві сірчані батареї, металеві повітряні (або металево-кисневі) батареї, та батареї, що включають одновалентні (наприклад, Na і K) або багатовалентні (наприклад, Mg, Ca, Zn та Al) елементи / катіони. Серед різних нових акумуляторних систем, Li-сірчані, Li-металеві та Li-кисневі батареї завоювали велику привабливість завдяки своїй винятково високій щільності енергії. Зокрема, Li-сірчані та Li-кисневі батареї мають теоретичну гравіметричну щільність енергії 2600 Вт кг$^{-1}$ та 3500 Вт*год кг$^{-1}$ відповідно. Дослідники сподіваються, що вони можуть забезпечити практичну щільність енергії батареї від 2 до 5 в рази вище, ніж у сучасних літій-іонних акумуляторів.

Акумулятори становлять загрозу для безпеки, оскільки вони зберігають велику кількість хімічної енергії на невеликому просторі, і, отже, вони схильні до пожежі або вибухів при неправильній експлуатації. Батареї, що використовуються в ПЕП, особливо небезпечні для людини через їх характеристики. У всьому світі відбувалися численні інциденти, пов'язані з пожежами та вибухами акумуляторів, особливо із залученням мобільних телефонів, ноутбуків та електромобілів.

Наприклад, Федеральна авіаційна адміністрація США повідомила про понад 206 випадків пожежі / вибуху батареї з 1991 по 2020 роки. Проблеми з акумулятором Boeing 787 Dreamliner та Samsung Note 7 привернув увагу усього світу. Вкрай бажано максимально наголосити на безпеці для нових батарей, що використовуються в нових ПЕП.

© Рощенко О. М.

Причини пожежі / вибуху акумулятора різняться, що може включати коротке замикання, механічні пошкодження, перезарядку батареї або виробничі дефекти. Для підвищення безпеки батареї запропоновано численні методи. Ці методи можна розділити на зовнішні або і підходи внутрішнього захисту. Підходи зовнішнього захисту зазвичай використовують додаткові зовнішні пристрої. Наприклад, використання температурних датчиків і клапанів тиску для контролю батарей в умовах перегрівання або зловживання тиском. Ці технології є відносно досконалими, які тут детально не розглядаються. Підходи внутрішнього захисту зосереджені на впровадженні іскробезпечних компонентів у різні компоненти акумуляторів. Спочатку до електролітів додають хімічні добавки. Ці хімічні добавки зазвичай містять вогнезахисні речовини, іонні рідини, відключення та окислювально-відновлювальні добавки. По-друге, деякі інші хімічні компоненти використовуються для досягнення стабільних інтерфейсів електрод / електроліт. По-третє, тверде тіло батареї на основі полімерних гелів або неорганічних електролітів також досліджувалось з наближенням внутрішнього захисту. Полімерні гелеві електроліти можуть покращити безпеку батареї, оскільки менше органічних розчинників використовується без витоків. Крім того, неорганічні тверді керамічні електроліти (наприклад, $Li_7La_3Zr_2O_{12}$, $Li_{14}ZnGe_4O_{16}$ та $Li_3xLa_{2\ /\ 3-x}\ TiO_3$) або склокерамічні електроліти привабливі тим, що вони негорючі, недорогі, не мають витоків і стійкі до високих температур. Механічна жорсткість твердих керамічних електролітів пригнічує утворення дендритів Li, що є основною причиною короткого замикання батареї. По-четверте, оптимізація сепараторів, струмоприймачів, анодних матеріалів та катодних матеріалів також може покращити безпеку батарей.

Слід зазначити, що ці внутрішні методи захисту частіше використовуються в літій-іонних батареях через високу реакційну здатність матеріалів, що використовуються в літій-іонних батареях. Загалом, літій-іонні акумулятори становлять більший ризик для безпеки в порівнянні з іншими акумуляторними батареями, що розглядаються в даній статті.

Батареї, що використовуються в ПЕП, повинні відповідати цільовим цінам для досягнення комерційного успіху. Літій-іонні акумулятори успішно домінують на сучасному ринку батарей ПЕП. Однак через їх високу вартість (зазвичай 300 \$ кВт-год$^{-1}$, тоді як 90 \$ кВт-год$^{-1}$ для свинцево-кислотних акумуляторів) було докладено багато зусиль для зменшення вартості літій-іонних батарей за рахунок конструкцій та синтезу матеріалів, виробництва та упаковки. Ці зусилля діляться на дві категорії. Перша категорія передбачає зниження вартості різних компонентів батареї (тобто катодів, анодів, електролітів, сепараторів, в'яжучих речовин та струмоприймачів) або зменшення виробничих витрат акумуляторів. Вартість матеріалів для батарей тісно пов'язана з процесом їх синтезу і ціною на сировину. За останні десятиліття великі зусилля були спрямовані на розробку нових екологічно чистих шляхів синтезу акумуляторних матеріалів та вивчення стійких замінників акумуляторних матеріалів.

Друга категорія зосереджена на розробці більш дешевих батарей для заміни літій-іонних акумуляторів. Через обмежену доступність та нерівномірність розподілу Li у світі, альтернативні металево-іонні батареї, що використовують багаті землею металеві елементи, такі як Na-ion, Zn-ion, K-ion, Mg –іон та Al-іонні батареї. Наприклад, на Na припадає 2,64% запасів земної кори, що на 4–5 порядків перевищує Li. Крім того, Na широко розподіляється і легко добувається, що призводить до зниження ціни. Подібні обставини можна виявити для Zn та інших елементів. Незважаючи на великі зусилля та значний прогрес, досягнутий у дослідницьких лабораторіях, багато питань доводиться долати, щоб ці нові акумуляторні системи стали конкурентоспроможною альтернативою літій-іонним акумуляторам.

Портативні електронні пристрої, особливо ті, що мають механічну гнучкість (наприклад, зсувні дисплеї), представляють новий напрямок для електронної промисловості. Крім того, вони можуть поєднуватися з мобільними датчиками (наприклад, розумним одягом), щоб зробити революцію в житті людини. Високі вимоги споживачів обумовлюють розвиток таких гнучких пристроїв. Деякі гнучкі засоби вже доступні на ринку, наприклад, FlexPai та Samsung Infinity Flex. Гнучкі акумуляторні батареї стали активною сферою досліджень протягом останніх кількох років, щоб задовольнити вимоги до накопичення енергії в цих гнучких пристроях.

На сьогоднішній день продемонстровано різні типи гнучких акумуляторів, включаючи гнучкі літій-іонні, літій-сірчані, літій-повітряні та Zn-повітряні батареї. Незважаючи на ці досягнення, серйозні технічні проблеми залишаються. Електрохімічні функції гнучких батарей зазвичай погіршуються при тривалих частих механічних деформаціях, наприклад, при згинанні, згортанні, скручуванні та інших режимах деформації. З високою ємністю, можливістю швидкого заряджання /

© Рощенко О. М.

розряджання та чудовою стабільністю на циклі, що може бути додатково поєднано з гнучкими електролітами та сепараторами.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі розкрито зарубіжний досвід формування перспективних напрямків розширення функціональності портативних електронних пристроїв.

ПЕП є важливими платформами для здійснення ефективного збору, обробки та розповсюдження інформації. Вони пережили стрімке зростання протягом попередніх трьох десятиліть. Ефективність цих ПЕП стає все більш чутливою до споживання енергії, що залежить від компонентів для накопичення енергії, тобто акумуляторів. Постійно зростаючі вимоги до високопродуктивних акумуляторів зумовлюють розвиток комерційних акумуляторних пристроїв від свинцево-кислотних до NiCd, від Ni-MH та до літій-іонних акумуляторів.

З метою подальшого задоволення постійно високих вимог до акумуляторних батарей у ПЕП, значні зусилля у галузі досліджень у всьому світі були спрямовані на вдосконалення існуючих акумуляторних систем з використанням нових матеріалів, передових технологій та нових енергетичних хімічних сполук.

Поточна розвідка системи накопичення енергії дає змогу стабільно розвивати акумуляторну технологію з підвищеною питомою енергією, кращою безпекою та меншими витратами, особливо під впливом великих вимог ПЕП та електромобілів. Серед різних нових технологій акумуляторів Li-батареї на металевій основі, іонно-натрієві батареї, а також акумуляторні батареї з твердими електролітами є перспективними системами накопичення енергії в майбутньому для заміни існуючих батарей. Ці наступні покоління вдосконалених акумуляторів сприятимуть розробці нових інформаційних пристроїв для постійного просування вперед.

З розвитком технології акумуляторних батарей найближчим часом очікується все більше і більше багатофункціональних ПЕП. Тенденція розвитку ультрасучасних технологій акумуляторних батарей вимагає точного збігу між вимогами пристроїв та електрохімічними показниками процесу накопичення енергії, що також є давно переслідуваною метою індивідуального дизайну батарей для конкретних застосувань. Для реалізації цього питання дуже важливо встановити кращі сполучення між матеріалами, функціональними можливостями, програмами та їх новинками.

Список бібліографічного опису.

1. Король А. В. Перспективи використання мобільного навчання у ВНЗ України з європейським рівнем викладання / А. В. Король, Т. А. Кравцова, О. М. Муравйова // Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг. – 2016. – Вип. 1. – С. 271-280. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/esprstp_2016_1_29.
2. Черненко О.А. Перспективи розвитку мобільної комерції в Україні / Commercial Law / Комерційне право IUS PRIVATUM 2. 2018. – С. 29-34.
3. Гріччіна А. В. Можливості використання мобільних додатків для розвитку іншомовної мовленнєвої компетенції студентів / А. В. Гріччіна // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2020. – Вип. 90. – С. 178-182. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2020_90_26.
4. Будько В.І. Використання енергії сонячного випромінювання та вітру для зарядження електромобілів – Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – «Перетворювання відновлюваних видів енергії» Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» МОН України, Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ, 2019. – 302 с.

References.

1. Liu Z, Yang S, Sun B, Chang X, Zheng J, Li X. A peapod-like CoP@C nanostructure from phosphorization in a low-temperature molten salt for high-performance lithium-ion batteries. Angew. Chem. Int. Ed. 2018;57:10187.
2. Li Y, Xu H, Chien P-H, et al. A perovskite electrolyte that is stable in moist air for lithium-ion batteries. Angew. Chem. Int. Ed. 2018;57:8587.
3. Chen L, Fan L-Z. Dendrite-free Li metal deposition in all-solidstate lithium sulfur batteries with polymer-in-salt polysiloxane electrolyte. Energy Storage Mater. 2018;15:37.
4. Hwang J-Y, Myung S-T, Sun Y-K. Sodium-ion batteries: Present and future. Chem. Soc. Rev. 2017;46:3529.
5. Blomgren GE. The development and future of lithium ion batteries. J. Electrochem. Soc. 2017;164:A5019.
6. Placke T, Kloepsch R, Duehnen S, Winter M. Lithium ion, lithium metal, and alternative rechargeable battery technologies: The odyssey for high energy density. J. Solid State Electrochem. 2017;21:1939.
7. Liang Y, Zhang W, Wu D, Ni Q-Q, Zhang MQ. Interface engineering of carbon-based nanocomposites for advanced electrochemical energy storage. Adv. Mater. Interfaces. 2018;5:1800430.
8. Zhang X-Q, Cheng X-B, Zhang Q. Advances in interfaces between Li metal anode and electrolyte. Adv. Mater. Interfaces. 2018;5:1701097.
9. Guo W, Fu Y. A perspective on energy densities of rechargeable Li-S batteries and alternative sulfur-based cathode materials. Energy Environ Mater. 2018;1:20.

© Рощенко О. М.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-22
УДК 614.7
Савченко Людмила Григорівна, кандидат історичних наук доцент
https://orcid.org/0000-0002-7689-4982
Савченко Василь Миколайович, кандидат технічних наук, доцент,
https://orcid.org/0000-0002-0921-1424
Міненко Сергій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0003-0327-0017
Поліський національний університет, м.Житомир

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І СПОСОБІВ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД

Савченко Л. Г., Савченко В. М, Міненко С. В. Використання сучасних електротехнічних засобів та способів УФ знезараження стічних вод. Вагомою проблемою у галузі водопідготовки є якісна обробка стічних вод. Ультрафіолетове бактерицидне випромінювання вже більше 20 років широко застосовується для знезараження води. Нині УФ-технології динамічно впроваджуються в різні сфери сільського господарства, промисловості, медицини. Ознайомленя фахівців із можливостями використання сучасних електротехнічних засобів для знезаражування стічних вод визначено метою статті. Автор, у статті детально описує технології та конкретні електротехнічні вироби для знезаражування стічних вод.
Ключові слова: знезаражування, електротехнічні методи й способи, УФ-обробка, стічні води.

Савченко Л. Г., Савченко В. М, Миненко С. В. Применение современных электротехнических средств и способов УФ- обезвреживания сточных вод. Весомой проблемой в области водоподготовки является качественная обработка сточных вод. Ультрафиолетовое бактерицидное излучение уже более 20 лет широко применяется для обеззараживания воды. Сейчас УФ-технологии динамично внедряются в различные сферы сельского хозяйства, промышленности, медицины. Ознакомление специалистов с возможностями использования современных электротехнических средств для обеззараживания сточных вод определено целью статьи. Автор, в статье подробно описывает технологии и конкретные электротехнические изделия для обеззараживания сточных вод.
Ключевые слова: Ключевые слова: обеззараживание, электротехнические методы и способы, УФ-обработка, сточные води

Savchenko Liudmyla, Savchenko Vasyl, Minenko Serhii. The use of modern electrical equipment and methods of ultraviolet wastewater disposal. A significant problem in the field of water treatment is high-quality wastewater treatment. Ultraviolet bactericidal radiation has been widely used for water disinfection for more than 20 years. Now UV technologies are being dynamically implemented in various areas of agriculture, industry, and medicine. Familiarization of specialists with the possibilities of using modern electrical means for wastewater disinfection is determined by the purpose of the article. The author, in the article, describes in detail technologies and specific electrical products for wastewater disinfection.
Key words: neutralization, electrical methods and methods, UV treatment, waste water.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Вагомою проблемою у галузі водопідготовки є якісна обробка стічних вод. Усі забруднені води очищаються різними методами, залежно від тих або інших забруднювачів; стічні ж Застосування сучасного методу ультрафіолетового очищення (УФ-очищення), найбільш ефективно із висвітлених у літературі нині. Останній, значно відрізняється від традиційних методів очищення - хлору або озону. Нині відомі ефективні установки, що створюють УФ-випромінювання різного ступеня інтенсивності. Останні придатні для очищення різноманітних джерел біологічного забруднення стічних вод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні методи знезараження стічних вод детально досліджував Іванько О. М. [4; 5]. Ми погоджуємося із автором, що проблема охорони джерел централізованого господарсько-питного водопостачання від забруднення, зокрема поверхневих водойм та підземних джерел, є вагомою дилемою, адже потреба населення в достатній кількості питної води придатної для вживання є спряженою із існування людини на планеті загалом [4]. Костюченко С. В. та ін. налогошують про ефективність УФ-знезараження щодо найширшого спектра мікробіологічних забруднювачів, так як у клітин немає механізму, який би гарантовано захищав їх від бактерицидного випромінювання. Важливо відзначити, що різноманітні мікроорганізми володіють різною чутливістю до УФ-впливу і також, що в світовій практиці використовується поняття-термін «поверхнева бактерицидна доза» або «флуенс» для знезараження води у об'ємі. Воробйов Є.О, налогошує, що знезараження вод яке здійснюється в основному хлором, є високотоксичним фактором по відношенню до рибного господарства і всього біоценозу водоймищ [1] І також при виборі УФ

© Савченко Л. Г., Савченко В. М, Міненко С. В.

устаткування важливим є визначення ефективної дози УФ випромінювання, достатньої для знезараження конкретних стічних вод до мікробіологічних показників якості, які чітко встановлені нормативами СанПіН 2.1.5.980-00 «Гігієнічні вимоги до охорони поверхневих вод» [1]. Ультрафіолетові установки для знезараження стічних вод та шляхи їх вдосконалення, а саме пошук заміни сполук хлору в практиці водовідведення на більш екологічні знезаражувані способи здійснили Епоян С. М., та ін. [2; 3]. Авторами доведено, що використання для знезаражування стічних вод технології та сучасного обладнання для ультрафіолетового (УФ) опромінювання забезпечує високу ефективність, достатньо низьку собівартість та характеризується значним рівнем екологічної безпеки [2]. Про важливість гігієнічної оцінки ефективності знезараження осадів стічних вод промислового міста за санітарно-вірусологічними, санітарно-мікробіологічними та санітарно-паразитологічними критеріями стверджує Крамарьова Ю. С [6]. Досліджувані автором існуючі технології очищення стоків на станціях аерації м. Дніпра на її думку є недосконалими, адже відсутні важливі етапи очищення стічних вод, а останнє у свою чергу сприяє стрімкому зростанню об'ємів осадів міських стічних вод, підвищенню їх епідемічної небезпеки та значно знижує техніко-економічні показники очисних споруд [6]. Здійснено декілька повторюваних експериментів, останні продемонстрували, що застосування НВЧ дозволяє знизити рівень спороутворюючої флори у стічній рідині більш ніж у три рази, а загальну мікробну контамінації більш ніж на три порядки, при зниженні вмісту коліформних бактерій та коліфагів на два порядки [7]. Водночас при використанні даного методу знезараження Левковська В.Ю. рекомендує враховувати відносно невелику продуктивність досліджуваного методу який є придатним переважно для знезараження невеликих обсягів стічних вод, таких як, наприклад, водовідведення у лікувально-профілактичних установах [7]. Відомо, що проблема енергопостачання каналізаційних очисних споруд, є надзвичайно актуальною для підвищення екологічної надійності та ефективної роботи каналізаційних очисних споруд. Штонда І.Ю. вважає, що забезпечення необхідної кількості електроенергії для ефективного знезараження стічних вод, при комплексному використанні вітроенергетичних установок і сонячних електростанцій, дозволить повністю забезпечити електроенергією роботу обладнання для знезараження очищених стічних вод [12]. Нині гостро постало питання відмови від хлорування стічних вод при їх очищенні. Відповідно використання ефективних технологій, зокрема, застосування УФ опромінення для стійкого знезараження дозволить ефективно дезінфікувати очищені стічні води. У зв'язку з цим, вважаємо за доцільне розглянути більш детально охарактеризувати використання сучасних електротехнічних засобів і способів ультрафіолетового знезаражування стічних вод з метою виявлення найбільш поширених проблемних питань, що виникають на практиці, та пропозицій щодо їх вирішення.

Мета дослідження. Дослідження існуючих методів знезараження стічних вод ознайомлення фахівців водних господарств із можливостями сучасної промисловості у створенні устаткування знезаражування стічних вод. Інформування про сучасні технології й конкретних електротехнічних виробах для знезаражування стічних воді відповідно грунтовий аналіз їх санітарно-гігієнічної ефективності.

Матеріали та методи. Об'єкт досліджень – якість стічних вод. Висвітлені результати наукових розвідок слугували матеріалами дослідження. Методами дослідження: бібліографічний, аналітичний.

Виклад основного матеріалу дослідження. Обробка стічної води з метою знищення або видалення із останньої забруднюючих речовин різного походження й стану, є першоосною очищення стічних вод. Методи очищення стічних вод розділяють на механічні методи: відбувається затримка нерозчинних домішок, фізико-хімічні методи: використовуються для очищення від розчинених домішок; біологічні методи: забезпечують деградацію органічної складової забруднення стічних вод мікроорганізмами. Найчастіше використовуються комбінації наведених методів. Застосування того або іншого методу очищення в кожному конкретному випадку визначається характером забруднень і вимогами до очищеної води. У разі біологічної обробки стічних вод, навіть якщо вона доповнюється системами посвітління та фільтрації, не забезпечується знешкодження патогенних бактерій, вірусів, паразитів. Також не відбувається видалення мікрозабруднювачів; тобто не виконується все те, що необхідно для здоров'я людей та навколишнього середовища. Також це стосується остаточного знезаражування стічних вод, які призначені для скидання. Для цих об'єктів також застосовують установки ультрафіолетового опромінення. У світовій практиці для використання в технології очищення води з метою знезаражування повсюдно використовують біоцидні полімери, які є майже нетоксичними для теплокровних і їх негативні властивості як реагенти окислювальної дії досить незначні. Біоцидні

© Савченко Л. Г., Савченко В. М, Міненко С. В.

полімери добре розчинні у воді. Їх розчини не мають запаху та забарвлення, нелеткі, стабільні і безпечні при застосуванні, зберіганні і транспортуванні, не агресивні по відношенню до різноманітних матеріалів

Метод УФ-очищення стічних вод одержав широке поширення за останні 20 років в усьому світі. Важливим фактором застосування цього методу є той виявлений факт, що хлорування води спричиняє вивільнення та накопичення небезпечних побічних продуктів. Аналіз альтернативних методів дезінфекції води продемонстрував, що всі окисні методи й технології знезаражування зумовлюють формування тих або інших побічних продуктів, більшість із яких становлять небезпеку для здоров'я людей. Наступним важливим фактором у просуванні УФ-технології стала недостатня ефективність хлорування відносно ряду мікроорганізмів. УФ-очищення є ідеальним розв'язком обох цих проблем, що й стало причиною бурхливого розвитку УФ-технологій в усьому світі.

Замкнена камера є фізичною основою УФ-випромінювача. Всередині цієї камери в спеціальних кварцових чохлах розташовуються бактерицидні УФ-лампи. Таким чином, вода не потрапляє безпосередньо на лампи, але є під впливом УФ-випромінювання й зазнає знезаражування й очищенню. Крім цих ламп, що очищають, корпус обладнання має датчик виміру щільності УФ-випромінювання, спеціальні компоненти для впуску води в корпус і випуску очищеної води. Також є засоби для одержання зразків очищеної води й інші деталі, характерні для аналогічних пристроїв водопідготовки. Також в УФ-установках наявний блок для промивання камери очищення води. УФ очищення застосовується після видалення з води заліза. Контроль якості очищеної води проходить із розрахунків числа бактерій на 1 кубічний сантиметр очищеної рідини, а також кількості *E. coli* в одному літрі обробленої води. Основними перевагами застосування методу УФ-випромінювання знезаражування води є те, що очищення відбувається у результаті проходження УФ і фотохімічних реакцій у клітинах організмів і такий вплив не впливає на якість води; у результаті впливу УФ на стоки відсутні сполуки, що чинять згубний вплив шкідливих для біоти водойм; УФ діє тільки у випадку короткого впливу УФ і це може здійснюватися в проточному режимі; метод УФ економічний, на відміну від хлорування або озонування; УФ установка досить компактна, може бути встановлена на незначній площі; відсутні реагенти та витрата води та необхідності в складах для зберігання небезпечних реагентів. Також до істотних переваг можемо віднести те, що легкою є заміна змінного елемента - УФ-лампи; і що, часто є визначальним для українського споживача- тривалий термін експлуатації.

Стосовно недоліків, налогосимо, УФ-очищення води, завичай є частиною цілого комплексу дії методів. Істотним недоліком є те, що очищена вода може знову забруднитися при її транспортуванні або на наступних етапах використання.

УФ класифікуються згідно певних чітко регламентованих ознак, а саме: потужність; принцип роботи (відкритий, закритий, спеціальний); склад випромінюваного спектру; габарити; термін експлуатації; спосіб установки (стаціонарний або переносний); спосіб створення УФ-випромінювання (високого та низького тиску); спосіб створення утвору озону (безозоновий і озоновий); спосіб установки (настінний, напольний, настільний).

УФ-лампу обирають із урахуванням типу використовуваного скла, складу випромінюваного спектра, електричної потужності, при цьому її якісні й експлуатаційні характеристики багато в чому залежать від виготовлювача [11]. УФ-обладнання для очищення води прийнято називати УФ-фільтрами (рис. 1) [8].

Рис. 1 Зовнішній вигляд з УФ-фільтра з розрізом корпусу [8]

© Савченко Л. Г., Савченко В. М, Міненко С. В.

Принцип роботи подібних УФ-фільтрів досить простий: зовні фільтр є судиною має два фланцеві приєднання для впуску забрудненої стічної води й випуску очищеної води. Усередині корпусу знаходиться кварцевий чохол, у якому знаходиться УФ-лампа. Лампа та її складові ізольовані як усередині чохла, так і при введенні в корпус. Вода, проходячи через корпус УФ-фільтра, обмиває кварцевий чохол і одержує необхідну дозу УФ-випромінювання. Кварцевий чохол є необхідним заходом для запобігання влучення води в корпус самої лампи. Технічні способи обладнання устаткування та приклад УФ-очищення в складі технологічної установки наведені на рис. 2 [9].

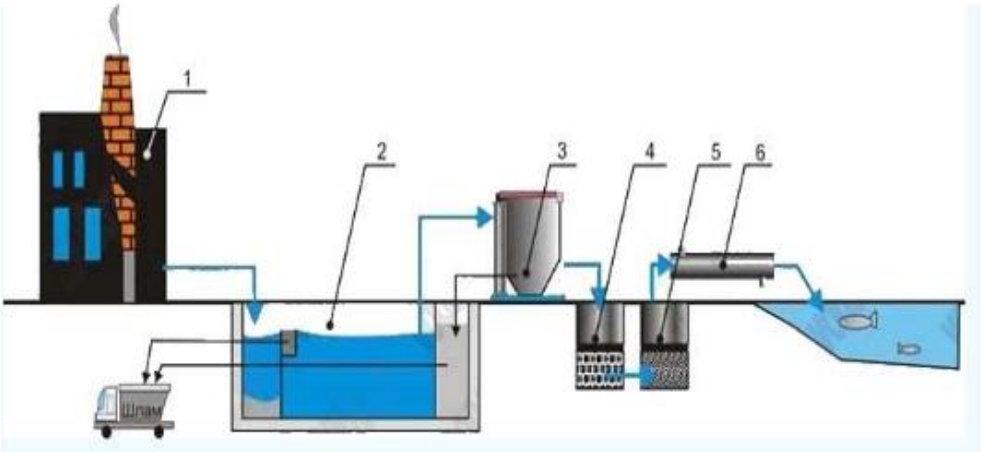


Рис.2. Принципова схема очищення стоків із присутністю нафти [9]

1. Виробничі об'єкти (АЗС, нафтобази, транспортні підприємства); 2. Прийомний резервуар (залежить від площі водозбору й типу покриття); 3. Флотаційно-фільтраційна установка; 4. Фільтр 1-го ступеню; 5. Фільтр 2- го ступеню; 6. Знезаражування стічної води.

Процес полягає у тому, що стічна вода, яка надходить накопичується у резервуарі (2). Потім вона за допомогою насосу подається на флотаційно-фільтраційну установку (3). І вже потім стоки надходять на перший ступінь фільтра глибокого очищення; фільтрувальний матеріал, - мінеральна вата (4), матеріал другого ступеню - активоване вугілля (5). Знезаражування (6) стічних вод є остаточним етапом їх обробки перед скиданням у водойму [9]. УФ дозволяє інактивувати в стічній воді всі патогенні мікроорганізми і знизити загальну мікробну забрудненість до мінімального рівня. Відповідно таку стічну воду можна використовувати для поливу навіть сільськогосподарських культур [9].

Висновки. Отже, ультрафіолетове бактерицидне випромінювання вже більше 20 років широко застосовується для знезараження води. Нині УФ-технології динамічно впроваджуються в різні сфери сільського господарства, промисловості, медицини, енергетики та ін. Так як УФ-знезараження ніяк не змінює властивостей води під час і після процесу опромінення, метод знайшов широке застосування в знезараженні стічних вод. Класичне хлорування стічних вод завдає значної шкоди біоценозам водойм, а хлорорганічні сполуки, що утворюються у результаті, часто є канцерогенами. Нині, сучасні нормативи віддають перевагу УФ-обробці. Використання на очисних спорудах для стійкого знезараження стічних вод обладнання, для утримання ультрафіолетового опромінення, збільшує їх енергоспоживання. Як рекомендують дослідники, і ми з ними цілком погоджуємося , поетапне будівництво сонячних акумулюючих електростанцій та вітроенергетичних установок дозволить компенсувати збільшення енергоспоживання. Що і предметом наших подальших розвідок.

Список бібліографічного опису.

1. Воробйов Є. О., Петрова О. Л. Знезараження стічних вод з автомобільних доріг ультрафіолетовим випромінюванням. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2012. Вип. 83. С. 30-34.
2. Епоян С. М. Ультрафіолетові установки для знезараження стічних вод та шляхи їх вдосконалення. *Науковий вісник будівництва*. 2015. № 1. С. 237-241.
3. Епоян С. М., Шаляпіна Т. С. УФ установки лоткового типу для знезараження стічних вод на локальних очисних спорудах. *Науковий вісник будівництва*. 2020. Т. 100, № 2. С. 225-230.
4. Іванько О. М., Бабієнко В. В., Кримець Г. В. Знезараження стічних вод - сучасний погляд на проблему. *Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія*. 2013. № 2. С. 54-63.
5. Іванько О. М., Бідненко Л. І. Сучасні методи знезараження стічних вод (огляд літератури). *Проблеми військової охорони здоров'я*. 2012. Вип. 33. С. 137-150.

© Савченко Л. Г., Савченко В. М, Міненко С. В.

6. Крамарьова Ю. С. Гігієнічна оцінка ефективності знезараження осадів стічних вод промислового міста. *Вісник проблем біології і медицини*. 2016. Вип. 1(2). С. 53-56.
7. Левковська В. Ю. Ефективність застосування НВЧ-опромінення для знезараження стічних вод *Український медичний альманах*. 2013. Т. 16, № 3. С. 79-81.
8. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением. Гидросистемы. 2014. URL: http://www.ecodoma.ru/catalog/disinfection/ultraviolet/ (дата обращения: 24.05.2021).
9. Очистные сооружения для очистки нефтесодержащих стоков. URL: http://www.voda2000.ru/promstok/oil (дата обращения: 24.05.2021).
10. Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания воды. Оборудование для обработки воды озоном и ультрафиолетом. URL: http://wedeco.su/tekhnologii/uf-tekhnologii.html (дата обращения: 24.05.2021).
11. Ульянов А.Н. Обеззараживание питьевой воды и сточных вод ультрафиолетовым излучением и ультразвуком. Технология «ЛАЗУРЬ». URL: http://www.svarog-uv.ru/tech_lazur.htm (дата обращения: 24.05.2021).
12. Штонда І. Ю. Знезараження стічних вод на каналізаційних очисних спорудах з використанням альтернативних джерел енергопостачання. Містобудування та територіальне планування. 2018. Вип. 67. С. 616-619.

References.

1. Epoyan SM, Shalyapina TS UV tray-type installations for wastewater disinfection at local treatment plants. Scientific Bulletin of Construction. 2020. T. 100, № 2. S. 225-230.
2. Ivanko OM, Babienko VV, Krymets GV Disinfection of wastewater - a modern view of the problem. Current problems of transport medicine: environment; occupational health; pathology. 2013. № 2. pp. 54–63.
3. Ivanko OM, Bidnenko LI Modern methods of wastewater disinfection (literature review). Military health problems. 2012. Vip. 33. pp. 137-150.
4. Kramaryova YS Hygienic assessment of the effectiveness of decontamination of sewage sludge in an industrial city. Bulletin of problems of biology and medicine. 2016. Vip. 1 (2). Pp. 53-56.

© Савченко Л. Г., Савченко В. М, Міненко С. В.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-23
УДК 004.588
Семченко Ганна Петрівна, магістр з телекомунікацій
https://orcid.org/0000-0001-6910-9184
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЗАХИЩЕНОГО ІНТЕРФЕЙСУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ПРИ РОБОТІ З ХМАРНИМИ СЕРВІСАМИ

Семченко Г. П. Розробка моделі захищеного інтерфейсу передачі даних при роботі з хмарними сервісами. Розглянуто особливості організації автоматизованих систем захисту даних при застосуванні програмних додатків та інформаційних сховищ хмарних сервісів у військовій сфері. Узагальнено модель захищеного інтерфейсу взаємодії програмного додатку і апаратної платформи мережевого ресурсу, що дозволяє приховати послідовність виконання процедур зчитування та запису даних на фізичному рівні роботи з оперативною пам'яттю серверу. Зазначено, що пріоритет у розвитку сучасних схем ORAM полягає не тільки у забезпеченні надійної передачі «чутливих даних», але і в оптимізації алгоритмів їх захисту за умови збереженнявеликих обсягів даних у середовищі хмарного сервісу. Запропонована схема організації інтерфейсу на базі ORAM показує високий рівень захищеності зберігання даних на стороні сервера при прийнятному рівні захисту і ефективності виконання відповідних процедур на етапі передачі даних.
Ключові слова:хмарний сервіс, мобільні військові системи зв'язку, передача даних, збереження даних, протоколи захисту «чутливих даних», оперативна пам'ять, інтерфейс ORAM.

Семченко А. П. Разработка модели защищенного интерфейса передачи данных при работе с облачными сервисами. Рассмотрены особенности организации автоматизированных систем защиты данных при применении программных приложений и информационных хранилищ облачных сервисов в военной сфере. Построена универсальная модель защищенного интерфейса взаимодействия программного приложения и аппаратной платформы сетевого ресурса, которая позволяет скрыть последовательность выполнения процедур считывания и записи данных на физическом уровне работы с оперативной памятью сервера. Отмечено, что приоритет в развитии современных схем ORAM заключается не только в обеспечении надежной передачи «чувствительных данных», но и в оптимизации алгоритмов их защиты при сохранении больших объемов данных в среде облачного сервиса. Предложенная схема организации интерфейса на базе ORAM показывает высокий уровень защищенности хранения данных на стороне сервера при приемлемом уровне защиты и эффективности выполнения соответствующих процедур на этапе передачи данных.
Ключевые слова: облачный сервис, мобильные военные системы связи, передача данных, хранения данных, протоколы защиты «чувствительных данных», оперативная память, интерфейс ORAM.

Semchenko Hanna. Development of the secure data transfer interface model for cloud services. The peculiarities of the automated data protection systems organization when using software applications and information storages of cloud services in the military sphere are considered. There were proposed basic model of the secure interface for interaction between the software application and the network resource hardware platform allows one to hide the sequence of execution of procedures for reading and writing data at the physical level of working with the server's RAM. It is noted that the priority in the development of modern ORAM schemes is not only to ensure reliable transmission of "sensitive data", but also to optimize protection algorithms while storing large volume of data in a cloud service environment. The proposed ORAM-based interface organization scheme shows a high level of data storage security on the server side with an acceptable level of protection and efficiency of the corresponding procedures at the data transfer stage.
Keywords: cloud service, mobile military communication systems, data transmission, data storage, "sensitive data" protection protocols, random access memory, ORAM interface.

Вступ. Аналіз принципів ведення бойових дій за умов сучасного світу вказує на зростання пріоритету показника точності прийняття рішень на всіх етапах планування і контролю при організації військових операцій. Слід зазначити, що це характерно для всіх можливих задач, як то: розрахунок координат приведенні артобстрілу та проведенні бомбардування, передислокація військових частин і евакуація населення у випадку виникнення потенційної загрози, налаштування систем зв'язку, навігаційних систем, захисних комплексів, тощо. Очевидно, що у першу чергу це пов'язано з розширенням та вдосконаленням пристроїв реєстрації і збереження даних, а також інфраструктури глобальних і локальних мереж передачі даних. Інтенсивний розвиток цифрових технологій, що спостерігається протягом останніх трьох десятиріч значним чином розширив функціонал засобів ведення бою, але й,водночас, розширив коло завдань, що мають бути вирішені. Зазначена метазадача на рівні інформаційних технологій (ІТ) може формалізована якзадача роботи з великими об'ємами даних у режимі реального часу або за умов значних обмежень на час обробки вхідних запитів.

© Семченко Г. П.

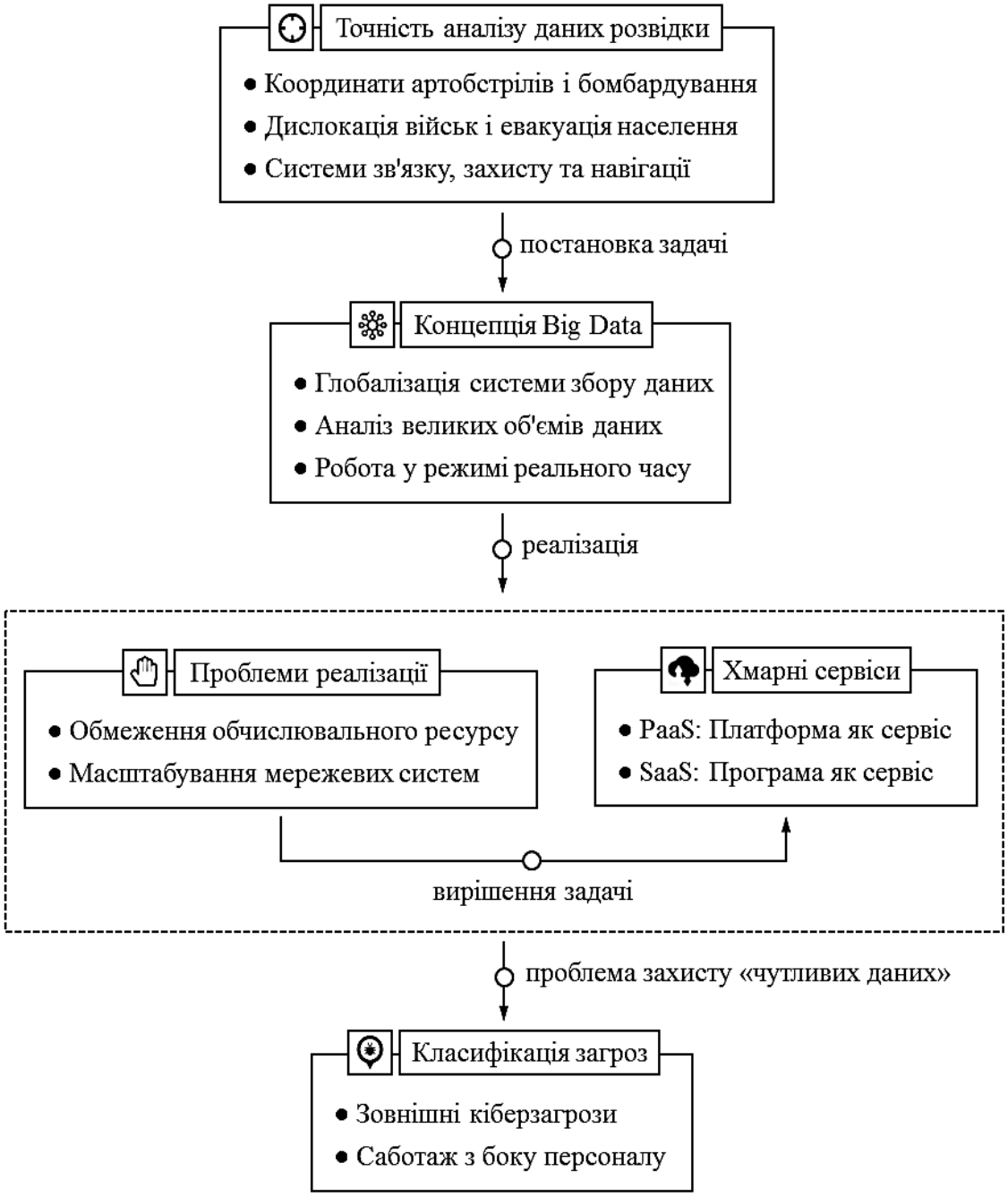


Рис. 1. Актуалізація протоколів захисту «чутливих даних» при організації військових операцій

Обмеженість обчислювального ресурсу мобільних військових частин та необхідність передачі даних від мережі інформаційних вузлів, значна частина яких також є мобільною, призводить до необхідності у застосуванні хмарних сервісів[1-3], як на рівні використання апаратної платформи (Platform as a Service, PaaS), так і на рівні застосування програмних додатків (Software as a service, SaaS). Очевидно, що відповідні дані можуть бути віднесені до «чутливих даних», що не мають бути перехоплені і використані супротивником. У той же час на для хмарних сервісів внаслідок зовнішніх атак та саботажу на внутрішньому рівні проблема організації ефективної стратегії захисту даних від перехоплення (Data Leakage Prevention, DLP) досі вважається невирішеною. І якщо у випадку з даними, що становлять комерційну цінність, збитки пов'язані з неефективністю протоколів DLP покриваються власником хмарного сервісу через юридичне вирішення конфлікту, збитки, що виникли від перехоплення даних військових є непоправними.

З метою вирішення зазначених проблем було проведено ***аналіз сучасних досліджень і публікацій*** присвячених проблемам організації військових протоколів захищеної передачі і збереження даних у середовищі хмарних сервісів. Аналіз показав пріоритет методів, що базуються на застосуванні

© Семченко Г. П.

у зазначеній галузі інтерфейсів доступу до оперативної пам'яті типу «ORAM» (Oblivious Random Access Memory), що надають можливість застосувати протокол захисту на фізичному рівні функціонування системи [4-6].Для визначення базових підходів оптимізації ORAM-інтерфейсів відповідно до особливостей поставленого завдання були розглянуто алгоритми, що застосовуються у цивільних протоколах центрів обробки даних (ЦОД) у рамках загальної DLP-стратегії при передачі клієнтом великих об'ємів даних [7-9].Значна частина сучасних підходів реалізації DLP-протоколу на основі інтерфейсу ORAM полягає у поділенні інформаційного сховища хмарного сервісу на фіксовану кількість розділів в залежності від кількості експортованих користувачем блоків даних. Кожен з розділів працює відповідно до інтерфейсу ORAM, а алгоритм розташування блоків відповідно до карти розділів при цьому утримує лише користувач. Алгоритми «Burst ORAM» [10], «Partition ORAM» [11, 12],«Ring ORAM» [13] і «Path ORAM» [14] є типовими алгоритмами, що дозволяють оптимізувати запропонований підхід з метою зменшення затримки під час передачі даних у рамках захищеного протоколу класу ORAM.

Проведений аналіз показав високу ***актуальність*** робіт у галузі оптимізації алгоритмів організації захищених інтерфейсів класуORAM. Водночас було зазначено, що дослідницькі роботи у відповідній галузі у першу чергу спрямовані на оптимізацію процесу передачі даних, у той час як розмір інформаційного сховища, що потребується для надійного збереження даних дедалі зростає (зокрема, у рамках алгоритмів «Burst ORAM» і «Partition ORAM» хмарний сервіс виділяє інформаційне сховище, що у 3-4 рази більше за об'єм інформації, що зберігається, а у випадку більш сучасних алгоритмів «Ring ORAM» розмір сховища виростає у 6-8 разів). На сьогоднішній день вартість пов'язана зі збільшенням розміру інформаційного сховища перевищує кошти збережені за рахунок зменшення навантаження на інформаційні канали передачі даних[15-19]. Це особливо актуально для задач у рамках яких на платформі хмарного сервісу зберігаються великі об'єми даних, до яких користувач відповідного сервісу не звертається регулярно (архівні дані, актуальні дані, що протягом значного часу зберігаються на платформі користувача, тощо). Зазначені обмеження розглядаються як ***невирішена частина загального дослідження*** по застосування ORAM-інтерфейсу у військових системах мобільного зв'язку, збереження оперативних даних тапроведення хмарних обчислень.

Таким чином, ***метою роботи*** є побудова математичної моделі для розробки алгоритмів модифікації ORAM-інтерфейсу відповідно мінімізації об'ємів передачі даних та мінімізації об'ємів збереження даних при застосуванні типового для ORAM-інтерфейсу функціоналу по захисту інформації користувача.

1. Базові принципи побудови,модифікації іоцінки ефективності захищеного інтерфейсу класу ORAM

ІнтерфейсиORAM є класом захищенихінтерфейсівпередачі даних між користувачем та інформаційним сховищем хмарного сервісу, у рамках якого на фізичному рівні блокується можливість розпізнати послідовність дій користувача, тобтовиконання операцій зчитування та запису. Базова модель ORAM-інтерфейсу розглядає організацію протоколу передачі запитів від центрального процесору (Central Processing Unit, CPU) робочої станції користувача до оперативної пам'яті (Random-Access Memory, RAM) серверу хмарного сервісу, при якій послідовність операцій запису і зчитування даних неможливо відтворити на рівні інфраструктури хмарного сервісу. З іншого боку, математична модель, що розглядається у рамках даного дослідження більшою мірою відповідає сучасним підходам і формалізує процес завантаження даних з боку користувача на інформаційне сховище хмарного сервісу (процедура запису) та з інформаційного сховища хмарного сервісу на робочу станцію користувача (процедура зчитування). Формалізація полягає у визначенні набору блоків даних D_n, що може бути представлено наступним чином:

$$D_n = \{n, \{T_i^n\}, P\}, \text{де для } \forall n \in [1; N]\ i \in [1; I_n], \text{а } P = \begin{bmatrix} P_R \\ P_W \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

де n — ідентифікатор блоку даних, $\{T_i^n\}$ — символьний набір окремого блоку даних, P — математична функція, що відповідає процедурі обробки даних, причому функція P_R відповідає процедурі зчитування, а P_W — процедурі запису даних.

Формалізація процесу роботи захищеного проколу на рівні математичної моделі може бути проведена наступним чином. Нехай множини $A{:}\{D_n\}$ де $n \in [1; N_A]$ та $B{:}\{D_n\}$, де $n \in [1; N_B]$ представляють собою послідовності операцій запису та зчитування даних користувачем у середовищі інформаційного сховища хмарного сервісу. Послідовності операцій, що виконуються з метою обробки

© Семченко Г. П.

відповідних запитів клієнта можуть бути визначені через функції F_A і F_B, що реалізуються на рівні серверу хмарного сервісу. При цьому система контролю і моніторингу хмарного сервісу організована за принципом «Semi-Honest» (або «Honest but Curious»), тобто власник сервісу збирає і аналізує максимальний об'єм даних користувача сервісу посеред тих, що є доступними відповідно укладеної з користувачем угоди. Таким чином, достатньою умовою ефективної організації захищеногоORAM-інтерфейсу є умова еквівалентності зазначених функцій:$F_A \equiv F_B$, тобто принципова неможливість розрізнити на рівні хмарного сервісу маніпуляції користувача з блоками даних одного розміру.

2. Алгоритм оптимізації процесів використання інформаційного сховища серверу при організації ORAM-інтерфейсу

Запропонована схема оптимізації використання інформаційного сховища серверу при організації ORAM-інтерфейсу базується на застосуванні деревоподібного протоколу передачі даних[9, 11]. Це означає, що при передачі блоку даних на сервер протокол на основі випадкових функцій формує розгалужений шлях, граничні вузли (Leaf Nodes, LN) якого знаходяться у середовищі інформаційного сховища сервера. Кількість граничних вузлів, таким чином, визначає навантаження на ресурс інформаційного сховища сервера, а кількість проміжних вузлів, тобто вузлів між вузлом робочої станції клієнта (кореневим вузлом) і граничними вузлами — навантаження на ресурс перепускності інформаційного каналу. Деревоподібний протокол передачі даних у рамках ORAM-інтерфейсу характеризується надмірним навантаженням саме на ресурс інформаційного сховища [11, 14], що пропонується вирішити у рамках даного дослідження. Основними принципами оптимізації є:

- надмірність розміру граничних вузлів: збільшення розміру розділу інформаційного сховища, що виділяється для кожного граничного вузла для зменшення ймовірності його переповнення і необхідності формування додаткових граничних вузлів;
- організація m-арного дерева: збільшення арності дерева $m > 2$ замість організації двійкового дерева для зменшення розміру проміжних вузлів і шляху при великій кількості граничних вузлів.

Слід зазначити, що застосування зазначеної схеми у загальному випадку може призвести до неконтрольованого росту розміру проміжних вузлів та структури дерева шляху, що призведе до суттєвого збільшення навантаження на ресурс перепускності інформаційного каналу хмарного сервісу. З метою вирішення даної проблеми пропонується оптимізувати алгоритми запису та зчитування даних через визначення оптимального значення $m = m_{opt}$ та паралелізації і розподілення у часі операцій зчитування даних[9, 19] на базі методики DAT (De-Amortization Technique). Оптимізація має бути проведена на базі параметрів, що характеризують протокол передачі даних, зокрема:

- N — кількість реальних блоків даних (Real Blocks, RB), що передаються користувачем сервісу;
- $\bar{s} \in [1; \infty)$ — параметр, що вказує на усереднений внаслідок оптимізації розмір вузла;
- $\theta_R \in (0; 1)$ — параметр, що вказує на кількість реальних блоків даних у проміжних вузлах;
- $\theta_D \in (0; 1)$ — параметр, що вказує на кількість фіктивних блоків даних(Dummy Blocks, DB), що застосовуються у рамках протоколу захисту (символьні набори фіктивних блоків генеруються випадковим чином), у проміжних вузлах;
- $\vartheta \in (0; 1)$ — параметр, що вказує на кількість фіктивних блоків даниху проміжних вузлах.

Відповідно до цього можна визначити інформаційну ємність крайнього вузла як s_L і його частину s_L^R, що відповідає збереженню реальних блоків даних, коефіцієнт $\mu = (m-1)/2$, що визначає його межі. Визначимо математичну модель для розрахунку оптимального значення s_L^R в залежності від висоти дерева шляхуH:

$$\left[\begin{array}{l} 2\mu \cdot \bar{s} \le s_L^R \le \mu \cdot \bar{s} \\ s_L^R = \dfrac{s_L}{1+\vartheta} \end{array}\right. \text{ при } H = H_0 + 1 \text{, де } H_0 = \left\lfloor \log_m \left(\frac{N}{\mu \cdot \bar{s}} \right) \right\rfloor . \qquad (2)$$

© Семченко Г. П.

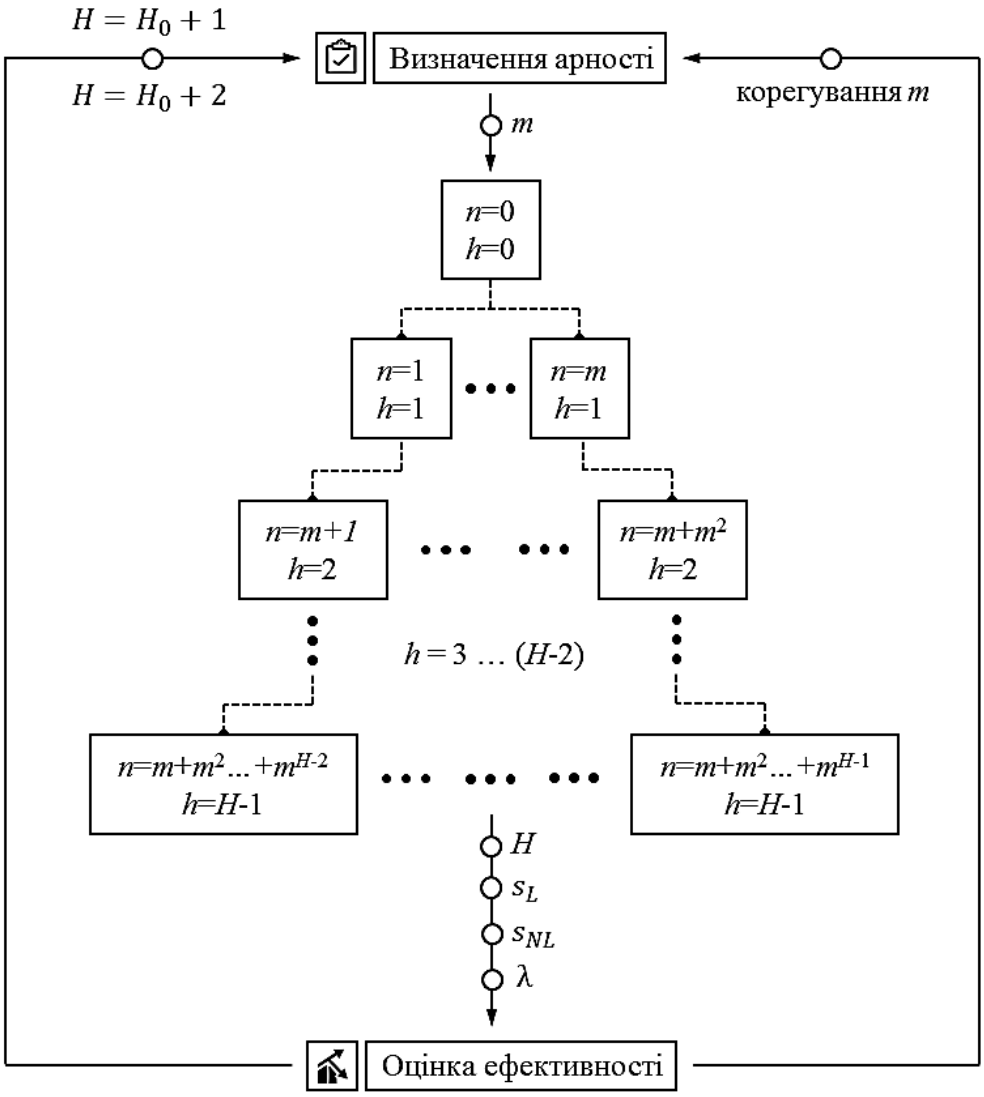


Рис. 2. Схема налаштування параметрів алгоритму організації ORAM-інтерфейсу

При $H = H_0 + 2$оптимальна залежність між значеннямиs_L і s_L^R визначаться через рівність:

$$s_L = \frac{(1+\vartheta)\cdot s_L^R}{\lfloor s_L^R/(\mu\cdot\bar{s})\rfloor}, \qquad (3)$$

і також розмір проміжних вузлів s_{NL} визначається як:

$$s_{NL} = \bar{s}\cdot\big(\mu\cdot(1+\theta_R)+(1+\theta_D)\big). \qquad (4)$$

Кожен вузол при цьому характеризується ідентифікатором $n \in [1; N]$ і рівнем $h \in [0; H-1]$,де $h = 0$ відповідає кореневому вузлу, $h \in [1; H-2]$ — проміжним вузлам, а $h = H-1$— граничним вузлам, формуючи пару $\{n, h\}$ як це показано на рис. 2.

Таким чином, налаштування алгоритму відбувається через оптимізацію шляху передачі даних через вибір арності та процедури визначення довжини шляху на основі рівня захистуORAM-інтерфейсу λ та розрахунку мінімумів H і s_{NL} , що відповідають за навантаження на ресурс перепускностіінформаційного каналу, а також s_L , що відповідає за навантаження на ресурс інформаційного сховища.

© Семченко Г. П.

Висновки. В результаті проведеного дослідження було розглянуто принципи організації систем захисту даних при застосуванні програмних додатків та інформаційних сховищ хмарних сервісів у військовій сфері. Було узагальнено модель захищеного інтерфейсу взаємодії програмного додатку і апаратної платформи мережевого ресурсу та зазначено пріоритет схем класу ORAM.Запропоновано проводити оптимізацію дерева шляху передачі даних через вибір арності та процедури визначення довжини шляху на основі рівня захисту та розрахунку мінімумів довжини шляху і кількості проміжних вузлів, що відповідають за навантаження на ресурс перепускності інформаційного каналу, а також граничних вузлів, що відповідає навантаження на ресурс інформаційного сховища.Запропонована схема організації інтерфейсу на базі ORAM показує високий рівень захищеності зберігання даних на стороні сервера при прийнятному рівні захисту і ефективності виконання відповідних процедур на етапі передачі даних.

References.

1. Linghui, Q., &An, Z. (2015). Research on a service-oriented cloud cooperation for the new military organization. *The 27th Chinese Control and Decision Conference* (2015 CCDC). https://doi.org/10.1109/ccdc.2015.7161921.
2. Cho, S., Hwang, S., Shin, W., Kim, N., & In, H. P. (2021). Design of Military Service Framework for Enabling Migration to Military SaaS Cloud Environment. *Electronics, 10* (5), 572. https://doi.org/10.3390/electronics10050572.
3. Mauro, A. (2012). Cloud Computing: U.S. and E.U. Government/Military Approach. *Service-Oriented and Cloud Computing*, 277–278. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33427-6_24.
4. Sasy, S., Gorbunov, S., & Fletcher, C. W. (2018). ZeroTrace : Oblivious Memory Primitives from Intel SGX. *Proceedings 2018 Network and Distributed System Security Symposium.* https://doi.org/10.14722/ndss.2018.23239.
5. Ma, Q., & Zhang, W. (2018). Towards Practical Protection of Data Access Pattern to Cloud Storage. *MILCOM 2018 - 2018 IEEE Military Communications Conference (MILCOM).* https://doi.org/10.1109/milcom.2018. 8599798.
6. Zhang, J., Ma, Q., Zhang, W., &Qiao, D. (2017). TSKT-ORAM: A Two-Server k-ary Tree Oblivious RAM without Homomorphic Encryption. *Future Internet, 9* (4), 57. https://doi.org/10.3390/fi9040057.
7. Gentry, C., Goldman, K. A., Halevi, S., Julta, C., Raykova, M., &Wichs, D. (2013). Optimizing ORAM and Using It Efficiently for Secure Computation. *Privacy Enhancing Technologies*, 1–18. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39077-7_1.
8. Hoang, T., Yavuz, A. A., & Guajardo, J. (2020). A Multi-server ORAM Framework with Constant Client Bandwidth Blowup. *ACM Transactions on Privacy and Security, 23*(1), 1–35. https://doi.org/10.1145/3369108.
9. Shi, E., Chan, T.-H., Stefanov, E., & Li, M. (2011). Oblivious RAM with O((logN)3) Worst-Case Cost. *Lecture Notes in Computer Science,* 197–214. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25385-0_11.
10. J. Dautrich and E. Stefanov. (2014) Burst ORAM: Minimizing ORAM Response Times for Bursty Access Patterns. *InProc. 23rd USENIX Security Symposium, 2014.*
11. E. Stefanov, E. Shi, and D. Song. (2011) Towards practical oblivious RAM. *In Proc. NDSS, 2011*.
12. Zhang, J., Zhang, W., &Qiao, D. (2015). GP-ORAM: A Generalized Partition ORAM. *Network and System Security,* 268–282. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25645-0_18.
13. L. Ren, C. W. Fletchery, A. Kwony, E. Stefanov, E. Shi, M. van Dijkz, and S. Devadasy (2014) Ring ORAM: Closing the Gap Between Small and Large Client Storage Oblivious RAM. *In Proc. IACR Cryptology ePrint Archive 2014*: 997.
14. Stefanov, E., van Dijk, M., Shi, E., Fletcher, C., Ren, L., Yu, X., &Devadas, S. (2013). Path ORAM. *Proceedings of the 2013 ACM SIGSAC Conference on Computer & Communications Security - CCS '13*. https://doi.org/10.1145/ 2508859.2516660.
15. Wang, R., Zhang, Y., & Yang, J. (2018). D-ORAM: Path-ORAM Delegation for Low Execution Interference on Cloud Servers with Untrusted Memory. *2018 IEEE International Symposium on High Performance Computer Architecture (HPCA).* https://doi.org/10.1109/hpca.2018.00043.
16. M. T. Goodrich, M. Mitzenmacher, O. Ohrimenko, and R. Tamassia (2011) Oblivious RAM simulation with efficient worst-case access overhead. *In Proc. CCSW, 2011*.
17. Q. MA and W. Zhang. (2018) *Towards practical protection of data access pattern to cloud storage.* In http://www.cs.iastate.edu/wzhang/milcom18full. pdf.
18. X. Wang, T.-H. H. Chan, and E. Shi. (2015) Circuit ORAM: On tightness of the Goldreich-Ostrovsky lower bound. In Proc. *CCS, 2015*.
19. Ma, Q., & Zhang, W. (2018). Towards Practical Protection of Data Access Pattern to Cloud Storage. *MILCOM 2018 - 2018 IEEE Military Communications Conference (MILCOM).* https://doi.org/10.1109/milcom.2018. 8599798.

© Семченко Г. П.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-24
УДК 658.5
Чайковський Сергій Юрійович, старший науковий співробітник випробувальної лабораторії
https://orcid.org/0000-0002-2891-0845
Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

ПРО ДЕЯКІ ПИТАННЯ КВАЛІМЕТРІЇ У ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ

Чайковський С. Ю. Про деякі питання кваліметрії у виробничо-технологічних системах. Розкрито деякі питання кваліметрії у виробничо-технологічних системах. Наведено схему досліджень з питань оцінки, прогнозування та контролю якості виробів із металоконструкцій та їх виробничо-технологічних систем. Визначено найбільш значущі процедури вирішення проблем кваліметрії. Запропоновано стратегію комплексної оцінки якості обладнання та виробничо-технологічних систем. Підкреслено, що для оцінювання якості виробничо-технологічних систем виготовлення продукції розроблена методика, заснована на визначенні динамічного комплексного показника якості. Обґрунтовано кожен з одиничних показників якості виробничо-технологічної системи, до переліку яких обрано показник безперервності, спеціалізації, виконання планів, автоматизації виробничо-технологічної системи, бездефектності виробництва, прогресивності та техніко-економічної ефективності. Розглянуто методику розрахунку кожного з перерахованих одиничних показників якості виробничо-технологічної системи. Наголошено, що для визначення динамічного комплексного показника якості виробничого процесу, крім розрахунку одиничних показників якості виробничого процесу, повинні бути визначені коефіцієнти вагомості кожного показника. Коефіцієнти вагомості можуть бути визначені різними методами, наприклад, методом параметричних і вартісних регресійних залежностей, методом граничних і номінальних значень, методом еквівалентних співвідношень, експертним методом. Зазначено, що точність експертних оцінок визначають по узгодженості думок експертів, а ступінь збігу оцінок експертів виражається коефіцієнтом конкордації. Зазначено, що при підході до кваліметрії вибирається основна частина, яка визначає якість кількісного вираження виробничо-технологічної системи. Обґрунтовано, що обрана базова частина приймається експертом, як стандарт кількісного аналізу інших частин у галузі досліджень. Далі розраховуються параметри, які називаються параметрами якості виробничо-технологічної системи.
Ключові слова: кваліметрія, виробничо-технологічна система виробництво, продукція, якість, ефективність.

Чайковский С. Ю. О некоторых вопросах квалиметрии в производственно-технологических системах. Раскрыты некоторые вопросы квалиметрии в производственно-технологических системах. Приведена схема исследований по вопросам оценки, прогнозирования и контроля качества изделий из металлоконструкций и их производственно-технологических систем. Определены наиболее значимые процедуры решения проблем квалиметрии. Предложена стратегия комплексной оценки качества оборудования и производственно-технологических систем. Подчеркнуто, что для оценки качества производственно-технологических систем производства продукции разработана методика, основанная на определении динамического комплексного показателя качества. Обоснованно каждый из единичных показателей качества производственно-технологической системы, в перечень которых избран показатель непрерывности, специализации, выполнение планов, автоматизации производственно-технологической системы, бездефектности производства, прогрессивности и технико-экономической эффективности. Рассмотрена методика расчета каждого из перечисленных единичных показателей качества производственно-технологической системы. Отмечено, что для определения динамического комплексного показателя качества производственного процесса, кроме расчета единичных показателей качества производственного процесса, должны быть определены коэффициенты весомости каждого показателя. Коэффициенты весомости могут быть определены различными методами, например, методом параметрических и стоимостных регрессионных зависимостей, методом предельных и номинальных значений, методом эквивалентных соотношений, экспертным методом. Отмечено, что точность экспертных оценок определяют по согласованности мнений экспертов, а степень совпадения оценок экспертов выражается коэффициентом конкордации. Отмечено, что при подходе к квалиметрии выбирается основная часть, которая определяет качество количественного выражения производственно-технологической системы. Обосновано, что выбранная базовая часть принимается экспертом, как стандарт количественного анализа других частей в области исследований. Далее рассчитываются параметры, которые называются параметрами качества производственно-технологической системы.
Ключевые слова: квалиметрия, производственно-технологическая система производство, продукция, качество, эффективность.

Tchaikovsky Sergiy. Some questions of qualimetry in technological systems production. Some issues of qualimetry in production and technological systems are revealed. The scheme of researches concerning estimation, forecasting and quality control of products from a metalwork and their production and technological systems is resulted. The most significant procedures for solving qualimetry problems are identified. A strategy for comprehensive assessment of the quality of equipment and production and technological systems is proposed. It is emphasized that to assess the quality of production and technological systems of manufacturing products developed a methodology based on the definition of a dynamic comprehensive quality indicator. Each of the individual indicators of quality of production and technological system is substantiated, the list of which includes the indicator of continuity, specialization, implementation of plans, automation of production and technological system, production defects, progressiveness and technical and economic efficiency. The method of calculation of each of the listed unit indicators of quality of production and technological system is considered. It is emphasized that in order to determine a dynamic complex indicator of the quality of the production process, in addition to the calculation of individual indicators of the quality of the production process, the weighting factors of each indicator must be determined. Weights can be determined by various methods, for example, the method of parametric and cost regression, the method of limit and nominal values, the method of equivalent ratios, the expert method. It is noted that the accuracy of expert assessments is determined by the consistency of expert opinions, and the degree of coincidence of expert assessments is

© Чайковський С. Ю.

expressed by the concordance coefficient. It is noted that in the approach to qualimetry the main part is selected, which determines the quality of quantitative expression of the production and technological system. It is substantiated that the selected basic part is accepted by the expert as a standard of quantitative analysis of other parts in the field of research. Next, the parameters are calculated, which are called the quality parameters of the production and technological system.

Keywords: qualimetry, production and technological system production, products, quality, efficiency.

Вступ та постановка проблеми дослідження. На сьогодні, в умовах швидкого нарощування виробничих процесів, постає актуальна проблема, без детального проектування технологічного процесу виготовлення, оцінити складність виготовлення виробу. Сьогодні у виробництві з'являються нові концепції, такі як LEAN-менеджмент, теорія обмежень, статистичний контроль процесів, ергономіка і дизайн та багато інших [1]. Для досягнення високої якості продуктів і ефективності операцій багато виробничих рішень реалізуються виходячи з наукового обґрунтування. Отже, методи кваліметричного аналізу також необхідні для об'єднання економічних інтересів, зокрема витрат на робочу силу, матеріальних витрат, витрат на електроенергію, з урахуванням технічних параметрів, які розраховуються на основі теорії і методів кваліметрії.

Початок теорії кваліметрії відноситься до 60-х років XX століття. Кваліметрія виникла як наука завдяки величезному досвіду, накопиченому людством в оцінці якості продукції. Він спирається на експериментальні і статистичні методи дослідження.

У сучасних умовах для забезпечення ефективної, продуктивної діяльності підприємствам необхідно постійно вдосконалювати виробничі процеси, підвищувати якість процесів і якість виробленої продукції. Відповідно кількісні показники якості виробничих процесів можуть виступати критеріями ефективності пропонованих до реалізації або реалізованих заходів вдосконалення виробничих процесів.

Для кількісної оцінки якості виробничих процесів можна використовувати методи кваліметрії [2]. У загальному сенсі кваліметрія – кількісна оцінка якості різних об'єктів (предметів або процесів) [3]. Кількісне оцінювання якості має на меті комплексну кількісну оцінку не окремих, а одночасно всіх властивостей об'єкта.

Аналіз останні досліджень та публікацій. Сучасна наукова література розкриває ґрунтовні напрацювання у сфері кваліметрії.

Графоаналітичний метод визначення комплесного показника якості об'єктів кваліметрії розкрили О. М. Черняк, Н. А. Сороколат, І. В. Каницька [4]. Науковцями проведено аналіз наукової літератури з питань оцінювання якості об'єктів кваліметрії в частині існуючих математичних залежностей між виміряними показниками якості та їх оцінкою на безрозмірній шкалі. Показано, що, як правило, математичні залежності мають нелінійний характер і їх дослідження зводяться до розроблення універсальних методик, які можна було би застосовувати до об'єктів кваліметрії незалежно від їх природи, складності, важливості та інше.

Г. А. Дмитренко, О. Л. Ануфрієва, Т. І. Бурлаєнко, В. В. Медвідь [5] розкрили принципи застосування кваліметрії у процесі управління на підприємстві. Фундаментальні аспекти прийняття рішень в системі інструментального забезпечення машинобудівних виробництв дослідили Д. І. Курбатов та В. О. Залога [6]. У ході виконання науково-дослідної роботи на основі логіко-структурного аналізу та опрацювань статистичних даних щодо діяльності машинобудівних підприємств з дрібносерійним та одиничним типом виробництва та за допомогою встановлених принципів і методів формування баз даних створена система технікоекономічних показників якості металорізального інструменту, що купується, з урахуванням невизначеності інформації для конкретних виробничих умов машинобудівного підприємства.

І.С. Грозний [7] провів аналіз методологічних підходів до оцінки якості виробничих процесів промислових підприємств. Автором обґрунтовано доцільність використання кваліметричного підходу. Пропонований підхід дозволить дати об'єктивну кількісну оцінку ступеня виконання вимог, що пред'являються до розвитку виробничих процесів.

Оцінювання якості виробничих процесів підприємств дослідила А. В. Шостаковська [8]. Авторкою доведено, що використання кваліметричного підходу до оцінювання якості розвитку неможливо без певної системи оціночних показників якості розвитку, шкали, за якими ці показники можуть бути оцінені, а також критеріїв, за допомогою яких можлива інтерпретація отриманих результатів. Відбір показників якості виробничого процесу в статті здійснюється за основним принципом – їх вимірюваності. Проведено оцінку можливості застосовування до предмета дослідження – якості розвитку – кваліметричні принципи й підходи, що застосовуються до якості

© Чайковський С. Ю.

процесів. В результаті застосування методу декомпозиції, вибудовано градацію виробничих процесів за рівнями якості та за рівнями якості розвитку.

Із зарубіжних робіт особливої уваги потребують роботи: O.M. Rozental, A.I. Averbukh [9], A. Freivalds, B. Niebel [10], O. Cherniak, R. Trishch, N. Kim, S. Ratajczak [11], R. Trisch, E. Gorbenko, N. Dotsenko, N. Kim, A. Kiporenko [12], S. Hashemkhani Zolfanir, E. Maknoon, K. Zavadskas [13], R. Ginevičius, K. Suhajda, J. Šimkūnaitė [14] та інші.

Однак незважаючи на масштабність наукових досліджень, дослідження кваліметрії у виробничо-технологічних системах залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Формулювання мети статті. Метою даної статті є розкриття принципів застосування кваліметрії у виробничо-технологічних системах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Термін «кваліфікація» був запропонований в СРСР у 1968 році груповою наукових співробітників за ініціативою військового інженера Г.Г. Азгальдова [3]. Кваліметрія – це наукова теорія кількісного визначення якості.

Протягом останніх років автори розробляють теорію комплексної оцінки якості – металургійної кваліметрії [10-14]. За ці роки проведено значну кількість досліджень у галузі оцінки, прогнозування та контролю якості виробів із металоконструкцій та їх виробничо-технологічних систем (рис. 1).

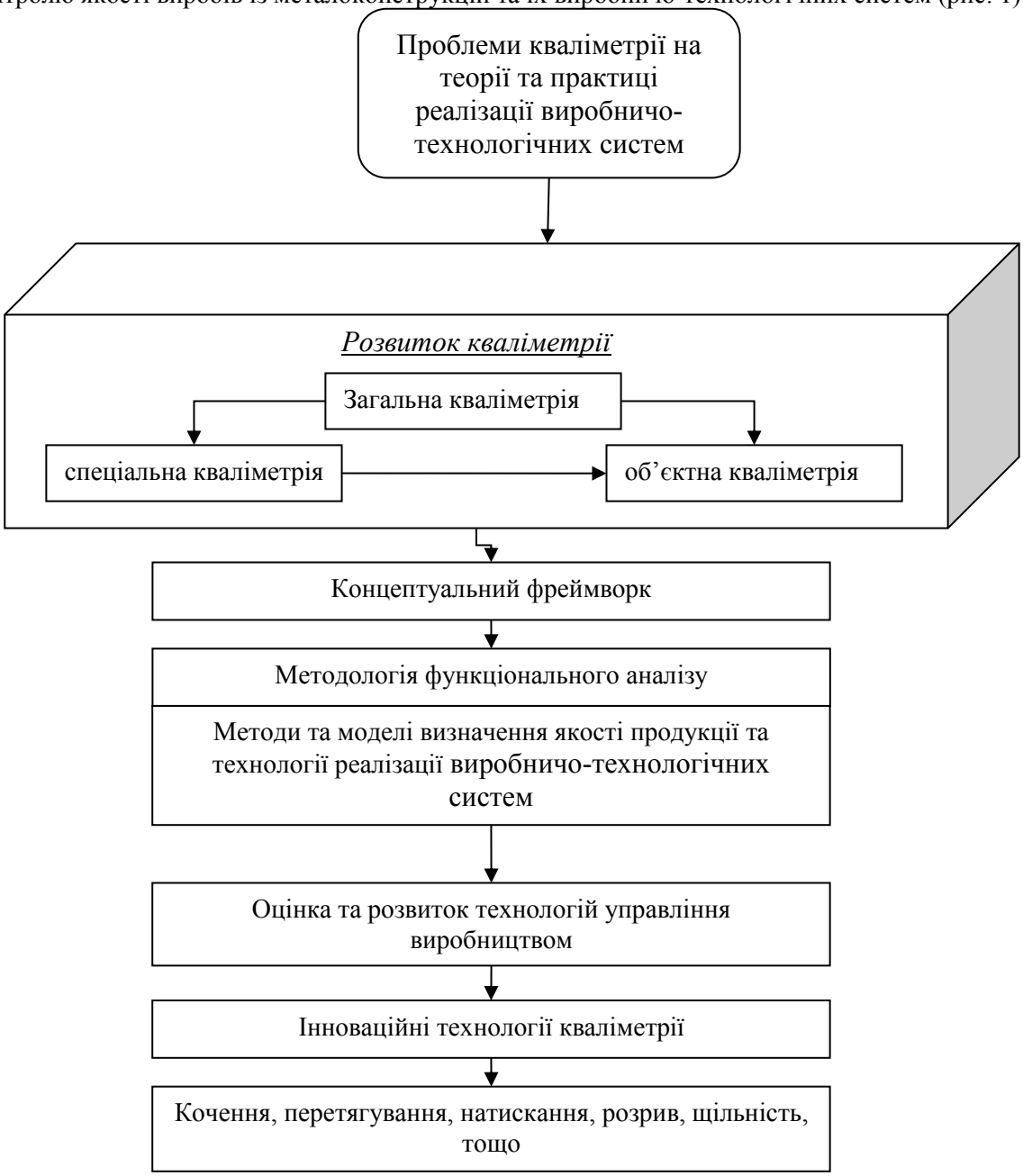


Рис. 1. Схема досліджень з питань оцінки, прогнозування та контролю якості виробів із металоконструкцій та їх виробничо-технологічних систем

© Чайковський С. Ю.

Ряд проблем загальної теорії кваліметрії досі не вирішено, і в багатьох додатках до об'єктів дослідження є відсутність правильних операційних методів та алгоритмів оцінки якості продукції та виробничо-технологічних систем.

Існують найбільш значущі процедури вирішення проблем (рис. 2):

– категоріальний апарат кваліметрії розроблений на основі таких понять: функція об'єкта оцінки, споживча фаза об'єкта, взаємодія;
– розроблено принципи структурування якості об'єктів із використанням функціонального підходу;
– розроблено нові методи визначення рівня впливу окремих структурних підрозділів та ієрархії якості на групові та комплексні оцінки;
– розроблено методи згортання оцінки якості в груповій оцінці з урахуванням ефекту синергетичної системи;
– запроваджено показники та методи оцінки комплексу технологічної обробки;
– розроблено методи оперативного аналізу якості технологічної обробки.

Вищезазначені рішення дозволили розробити та реалізувати стратегію комплексної оцінки якості обладнання та виробничо-технологічних систем, засновану на:

– єдиному конструктивному принципі структурування властивостей металоконструкцій;
– системному підході до оцінки якості продукції та виробничо-технологічних систем;
– оцінки параметрів безпосередньої переробки, а не тільки якості товару.

Розроблено стратегію функціонального цільового аналізу [14] для виробничо-технологічних систем. Він базується на:

– визначенні «функції» на основі фізичної взаємодії;
– визначенні життєвого циклу, який називається фазою споживача, щодо періоду оцінки товару;
– виділенні трьох стадій споживчої фази, таких як транспорт, монтаж та експлуатація.

В основі функціонально-специфічного аналізу лежить наступне:

– систематичний підхід до інтегрованої оцінки якості;
– процесний підхід до оцінки ефективності процесу;
– методи управління процесом з метою отримання бажаної якості обладнання.

Таким чином, вдалося розробити загальну, специфічну та об'єктивну кваліметрію, що застосовується до виробничо-технологічних систем (рис. 2).

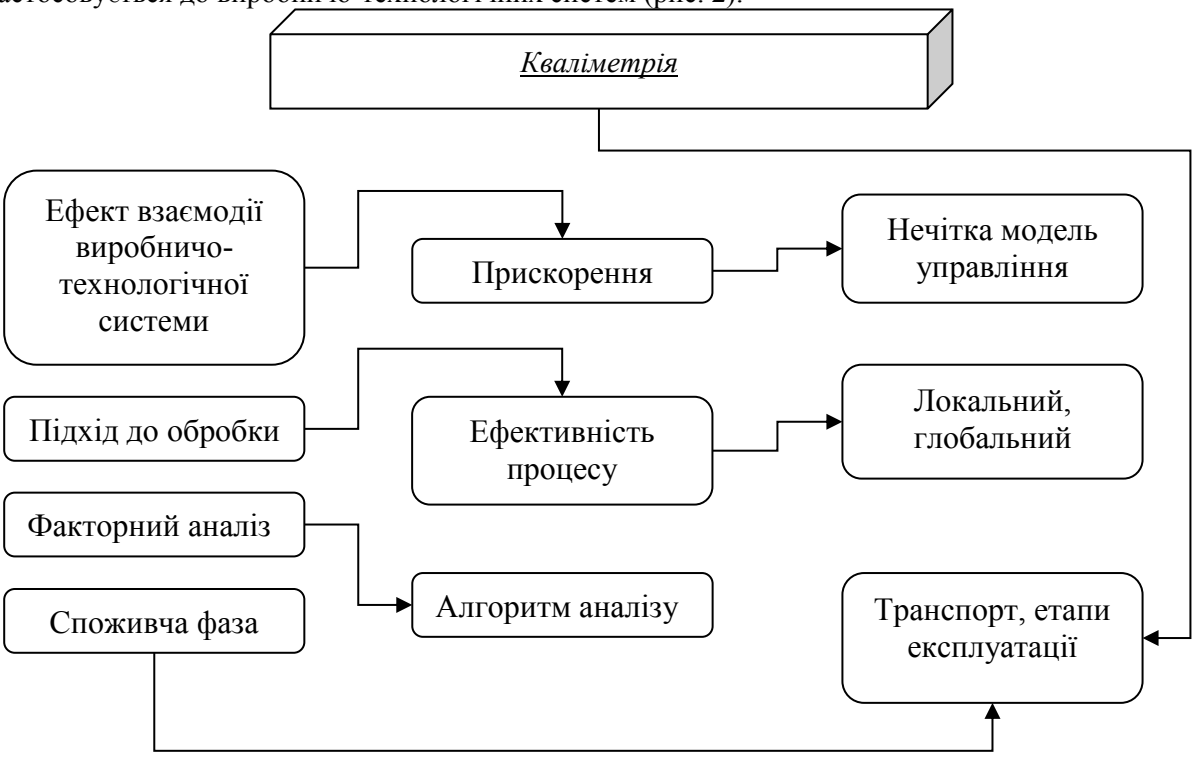


Рис. 2 Структурно-логічна схема дослідження

© Чайковський С. Ю.

Для оцінювання якості виробничо-технологічних систем виготовлення продукції розроблена методика, заснована на визначенні динамічного комплексного показника якості

$$K_{\sum i}(t) = \sum_{i=1}^{n} \mu_i \cdot K_i(t), \quad (1)$$

де $K_{\sum i}(t)$ – динамічний комплексний показник якості виробничо-технологічних систем;

μ_i – коефіцієнт вагомості і-го одиничного показника;

$K_i(t)$ – значення одиничного показника якості виробничо-технологічних систем;

n – кількість одиничних показників;

t – період часу, за який визначаються одиничні показники якості і динамічний комплексний показник якості виробничо-технологічних систем.

Одиничними показниками якості виробничо-технологічної системи обрані:

$K_1(t)$ – показник безперервності;

$K_2(t)$ – показник спеціалізації;

$K_3(t)$ – показник виконання планів;

$K_4(t)$ – показник автоматизації виробничо-технологічної системи;

$K_5(t)$ – показник бездефектності виробництва;

$K_6(t)$ – показник прогресивності;

$K_7(t)$ – показник техніко-економічної ефективності [3, 4].

Розглянемо методику розрахунку кожного з перерахованих одиничних показників якості виробничо-технологічної системи.

1. Показник безперервності.

Безперервність виробничо-технологічної системи – відсутність перерв у виконанні виробничих операцій і пролежування предметів праці в роботі робочих і простою виробничого обладнання [5].

Показник безперервності розраховується за формулою

$$K_1(t) = 1 - \frac{T_{доп}(t)}{T_{вир}(t)} \quad (2)$$

де $T_{доп}(t)$ – тривалість допоміжних операцій; $T_{вир}(t)$ – тривалість виробничого циклу; t – період часу, за який визначаються тривалість допоміжних операцій і тривалість виробничого циклу.

2. Показник спеціалізації.

Спеціалізація виробничо-технологічної системи – відокремлення робочих місць і виробничих підрозділів для виконання однорідних робіт і виготовлення однорідної продукції [6].

Показник спеціалізації розраховується за формулою

$$K_2(t) = 1 - \frac{C(t)}{n} \quad (3)$$

де $C\ (t)$ – число виробничих робітників;

n – кількість операцій;

t – період часу, за який розраховується показник спеціалізації.

3. Показник виконання виробничих планів.

Показник виконання планів виробничо-технологічної системи розраховується за формулою

$$K_3(t) = \frac{П_{факт}(t)}{П_{пл}(t)} \quad (4)$$

де $П_{факт}(t)$ – фактичний випуск продукції в абсолютних величинах;

$П_{пл}(t)$ – планове завдання на випуск продукції;

t – період часу, за який порівнюються фактичний і плановий випуск продукції.

4. Показник автоматизації виробничо-технологічної системи.

Автоматизація виробничо-технологічної системи – здатність (пристосованість) виробничого процесу до заміни фізичної та розумової праці працівника машинним [6].

Показник автоматизації виробничо-технологічної системи можна визначити за формулою

$$K_4(t) = \frac{T_a(t)}{T_{тех}(t)} \quad (5)$$

де $T_a(t)$, $T_{тех}(t)$ – трудомісткість робіт, виконуваних автоматично, і сумарна трудомісткість операцій відповідно, розраховані за певний період часу t.

5. Показник бездефектності виробництва.

Бездефектність – властивість виробничого процесу забезпечувати випуск придатної продукції заданого обсягу за плановий період [7].

Показник бездефектності виробництва розраховується за формулою

© Чайковський С. Ю.

$$K_5(t) = 1 - \frac{N_{бр}(t)}{N_г(t)+N_{бр}(t)} \quad (6)$$

де $N_{бр}(t)$ – кількість бракованої продукції, за певний період t;

$N_г(t)$ – кількість придатної продукції, за певний період t.

6. Показник прогресивності.

Прогресивність – властивість, що обумовлює відповідність окремих операцій і виробничо-технологічної системи в цілому прогресивним методам технології та організації виробництва, що забезпечує підвищення продуктивності праці і зниження її монотонності [5].

Розрахунок показника прогресивності проводиться за формулою

$$K_6(t) = 1 - \frac{n-n_{пг}(t)}{n}, \quad (7)$$

де n – загальна кількість операцій;

$n_{пг}(t)$ – кількість операцій, що виконуються прогресивними методами;

t – період часу, за який розраховується показник прогресивності.

7. Показник техніко-економічної ефективності виробничо-технологічної системи.

Даний показник відображає додатковий дохід або економію витрат на виробництво продукції за умови вкладення коштів у вдосконалення виробничо-технологічної системи. Показник техніко-економічної ефективності визначається за формулою

$$K_7(t) = \frac{Е_{річна}(t)\cdot k_д}{K(t)} \geq Д_н(t) \quad (8)$$

де $Е_{річна}(t)$ – річна економія витрат на виробництво продукції, розрахована за певний період часу грн.;

k – коефіцієнт дисконтування для приведення вартості річної економії до вартості на поточний момент оцінки;

$K\ (t)$ – капітальні вкладення в удосконалювання виробничого процесу в певний період часу;

$Д_н(t)$ – процентна ставка за грошовими вкладами в банк на термін 12 місяців на поточний момент оцінки.

Для визначення динамічного комплексного показника якості виробничого процесу, крім розрахунку одиничних показників якості виробничого процесу, повинні бути визначені коефіцієнти вагомості кожного показника. Коефіцієнти вагомості можуть бути визначені різними методами, наприклад, методом параметричних і вартісних регресійних залежностей, методом граничних і номінальних значень, методом еквівалентних співвідношень, експертним методом [9].

Експертний метод визначення коефіцієнтів вагомості зводиться до наступного [2].

1. Всі одиничні показники якості виробничо-технологічної системи нумеруються в довільному порядку.

2. Експерти ранжують одиничні показники в порядку важливості.

3. Визначаються суми рангів кожного одиничного показника.

4. Будується узагальнений ряд на підставі отриманих сум рангів.

5. По кожному одиничному показнику якості виробничо-технологічної системи визначаються коефіцієнти вагомості.

$$\mu_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_{ij}}{\sum_{i=1,j=1}^{n,m} R_{ij}} \quad (9)$$

де R_{ij} – ранг, присвоєний j-м експертом і-му одиничному показнику;

m – число експертів;

n – число оцінюваних одиничних показників якості виробничо-технологічної системи.

6. Визначається точність експертних оцінок.

Точність експертних оцінок визначають по узгодженості думок експертів. Ступінь збігу оцінок експертів виражається коефіцієнтом конкордації

$$W = \frac{12S}{m^2\cdot(n^3-n)} \quad (10)$$

де S – сума квадратів відхилень рангів від середнього значення.

Коефіцієнт конкордації може приймати значення від 0 до 1:

0 – абсолютна неузгодженість експертів, 1 – повний збіг думок експертів [2].

При підході до кваліметрії вибирається основна частина, яка визначає якість кількісного вираження виробничо-технологічної системи. Обрана базова частина приймається експертом, як стандарт кількісного аналізу інших частин у галузі досліджень. Далі розраховуються параметри, які називаються параметрами якості виробничо-технологічної системи.

© Чайковський С. Ю.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Наведені теоретичні припущення можна поширити на процеси пов'язані із застосуванням кваліметрії у виробничо-технологічних системах.

Метод кваліметрії базується на статистичному дослідженні залежностей трудомісткості в процесі виробництва. Технічні характеристики виробу вимагають створення великої кількості проектної документації. Методологія якісних показників для визначення якості виробничо-технологічної системи базується на знаходженні показнів безперервності, спеціалізації, виконання планів, автоматизації виробничо-технологічної системи, бездефектності виробництва, прогресивності та техніко-економічної ефективності. Визначення значущих факторів трудомісткості вимаже обробки багатьох технологічних схем та карт виробничого процесу на предмет виконання всіх показників.

References.

1. Krivoruchko O.N. Qualimetric assessment of business processes of the motor transport enterprise. *Economics of the transport complex.* 2013. Vip. 21. S. 171–181.
2. Chernyak O.M., Sorokolat N.A., Kanitskaya I.V. Application of the integration method to assess the quality of qualimetry objects. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : New solutions in modern technologies: coll. Science. np. = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : New solutions in modern technology*: col. of sci. papers. Kharkiv: NTU "KhPI", 2020. № 4 (6). P.93-98.
3. Azgaldov G.G., Glichev A.V., Panov V.P. What is quality ?. Moscow: Economics, 1968. 135 p.
4. Chernyak O.M., Sorokolat N.A., Kanytska I.V. Graphoanalytical method for determining the complex quality indicator of qualimetry objects. *The current state of research and technology in industry.* 2020. № 4 (14). Pp. 169-175.
5. Dmitrenko GA, Anufrieva OL, Burlaenko TI, Medvid VV Qualimetry in management: humanistic context: textbook. way. / (edited by GA Dmitrenko). Kyiv: Agrarian Education Publishing House, 2016. 335 p.
6. Kurbatov DI, Zaloga VO Fundamental aspects of decision-making in the system of instrumental support of machine-building industries "(intermediate): report on research work, 2016. 174 p. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/324270347.pdf (access date: 11.04.2021)
7. Grozny I.S. Qualimetric assessment of the quality of production processes. *Black Sea Economic Studies.* 2016. Vip. 1. pp. 39-42.
8. Shostakovskaya A.V. Evaluation of the quality of production processes of industrial enterprises. Theoretical and Practical Aspects of Economics and Intellectual Property. 2017. S. 184–186.
9. Rozental, O.M. & Averbukh, A.I. Introduction to water qualimetry. Water resources. 2013. Vol. 40(4). P. 447–461.
10. Freivalds A., Niebel, B. Niebel`s Methods, Standards & Work Design, 12th Ed. New York: Mc-Graw Hill, 2009. 736 p.
11. Cherniak O., Trishch R., Kim N., Ratajczak S. Quantitative assessment of working conditions in the workplace. *Engineering Management in Production and Services*. 2020. Vol. 12 (2). P. 99–106. doi: https://doi.org/10.2478/emj-2020-0014
12. Trisch R., Gorbenko E., Dotsenko N., Kim N., Kiporenko A. Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises ac-cording to international standards of the ISO 9000 series. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. № 4/3 (82). P. 18–24. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75503
13. Hashemkhani Zolfanir S., Maknoon E., Zavadskas K. Multiple Nash equilibriums and evaluation of strategies. New application of MCDM methods. Journal of Business Economics and Management. 2015. Vol. 16. P. 290–305. doi: https://doi.org/10.3846 / 16111699.2014.967715
14. Ginevičius R., Suhajda K., Šimkūnaitė J. Lithuanian experience of quantitative evaluation of socioeconomic system position bymulticriteriamethods.Procedia–SocialandBehavioralSciences.2014.№ 110.P. 952–960.doi: https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.941

© Чайковський С. Ю.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-25
УДК 004.9+336.77
Чумак Надія Русланівна, магістр
НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА ФІНАНСОВА МОДЕЛЬ ДЛЯ КРЕДИТУВАННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ETHEREUM

Чумак Н. Р. Децентралізована фінансова модель для кредитування на основі технології Ethereum. Стаття присвячена дослідженню проблематики створення та розвитку децентралізованої фінансової моделі та можливості її використання для кредитування на основі технології криптовалют. Метою статті є дослідження особливостей децентралізованої фінансової моделі для кредитування на основі технології Ethereum. Технологія децентралізованих програм для фінансування (DeFi), що дозволяють перетворювати традиційні фінансові послуги у послуги, які надаються без посередника за допомогою смарт-контрактів на блокчейні, поступово розширює власні можливості. Децентралізація усуває необхідність в довірених третіх сторонах, зменшуючи ринкові можливості посередників, отримані завдяки інформаційній перевазі, яку вони мають у порівнянні з учасниками угоди, використовуючи їх посередницькі послуги. На даний час більшість фінансових послуг DeFi складається з монетарно-банківських послуг; надання платформ однорангової позики; забезпечення вдосконалених фінансових інструментів, таких як децентралізовані біржі, ринки деривативів. Застосування технології блокчейн у фінансовому секторі привело до створення системи, здатної відтворювати стандартні фінансові послуги та пропонувати інноваційні рішення для розвитку цієї галузі. Система блокчейн реалізована Ethereum, саме тому вона є дуже ефективною для системи транзакцій, ніж інші транзакції, оскільки вона має технологічні особливості смарт-контракту, які пов'язані з минулою транзакцією. Пошук подальших варіантів використання децентралізованих фінансів, на основі можливостей блокчейну, має вирішальне значення для створення відкритих фінансових продуктів. У разі успіху система децентралізованих фінансів розширить можливості надання кредитних ресурсів на основі технології Ethereum з покращеними умовами.
Ключові слова: децентралізовані фінанси, кредитування, блокчейн, Ethereum, смарт-контракти.

Чумак Н. Р. Децентрализованная финансовая модель для кредитования на основе технологии Ethereum. Статья посвящена исследованию проблематики создания и развития децентрализованной финансовой модели и возможности ее использования для кредитования на основе технологии криптовалюта. Целью статьи является исследование особенностей децентрализованной финансовой модели для кредитования на основе технологии Ethereum. Технология децентрализованных программ для финансирования (DeFi), позволяющие превращать традиционные финансовые услуги в услуги, предоставляемые без посредника с помощью смарт-контрактов на блокчейни, постепенно расширяет свои возможности. Децентрализация устраняет необходимость в доверенных третьих сторонах, уменьшая рыночные возможности посредников, полученные благодаря информационной преимуществу, которую они имеют по сравнению с участниками сделки, используя их посреднические услуги. В настоящее время большинство финансовых услуг DeFi состоит из монетарно-банковских услуг; предоставление платформ одноранговой займа; обеспечение усовершенствованных финансовых инструментов, таких как децентрализованные биржи, рынки деривативов. Применение технологии блокчейн в финансовом секторе привело к созданию системы, способной воспроизводить стандартные финансовые услуги и предлагать инновационные решения для развития этой отрасли. Система блокчейн реализована Ethereum, именно поэтому она является очень эффективной для системы транзакций, чем другие транзакции, поскольку она имеет технологические особенности смарт-контракта, связанные с прошлой транзакцией. Поиск дальнейших вариантов использования децентрализованных финансов, на основе возможностей блокчейну, имеет решающее значение для создания открытых финансовых продуктов. В случае успеха система децентрализованных финансов расширит возможности предоставления кредитных ресурсов на основе технологии Ethereum с улучшенными условиями.
Ключевые слова: децентрализованные финансы, кредитование, блокчейн, Ethereum, смарт-контракты

Chumak Nadiia. Decentralized financial model for Ethereum-based lending. The gradual expansion of the impact of the digital economy on financial relations gives rise to new approaches to the tools of means of payment and loanable funds. The article deals with the study of the creation and development of a decentralized financial model and the possibility of its use for lending based on cryptocurrency technology. The aim of the article is to study the features of a decentralized financial model for Ethereum-based lending. The technology of decentralized financing programs (DeFi), which allows turning traditional financial services into services provided without an intermediary through smart contracts on the blockchain, is gradually expanding its capabilities. Decentralization eliminates the need for trusted third parties by reducing the market opportunities of intermediaries obtained through the information advantage they have over the parties to the agreement by using their intermediary services. Currently, most DeFi financial services consist of monetary banking services; providing peer-to-peer lending platforms; providing improved financial instruments such as decentralized exchanges, derivatives markets. The application of blockchain technology in the financial sector has led to the creation of a system capable of reproducing standard financial services and offering innovative solutions for the development of this industry. The blockchain system is Ethereum-based, which is why it is more efficient for the transaction system than other transactions, because it has the technological features of a smart contract, which are related to the last transaction. Finding further options for the use of decentralized finance based on the blockchain capabilities is crucial for the creation of open financial products. If successful, the decentralized finance system will expand Ethereum-based lending capabilities with improved conditions.
Keywords: decentralized finance, lending, blockchain, Ethereum, smart contracts.

Постановка проблеми. Поступове розширення впливу цифрової економіки на фінансові відносини породжує нові підходи до інструментарію засобів розрахунку та кредитування. В основу

© Чумак Н. Р.

нового бачення альтернативних еквівалентів вартості покладено створення децентралізованих криптовалют. Використання різноманітних криптовалют у розрахунках, фінансових та кредитних операціях повсякчас зростає, стаючи частиною існуючого фінансового ринку та набуває характеру інвестиційного інструменту. На противагу основам класичної грошово-кредитної системи централізації з можливими ризиками, криптовалюти в процесі кредитних відносин зменшують певні ризики шляхом відслідковування за рахунок блокчейну емісії віртуальних коштів, попередження несумлінної поведінки та інших існуючих механізмів.

Зазначені процеси спричинили появу децентралізованих програм для фінансування, що використовуються на технології блокчейна без посередників за допомогою смарт-контрактів. Застосування децентралізованих додатків поступово будуть знижувати транзакційні витрати, збільшуючи залучення інвестиційних ресурсів, що дозволить прискорити оброблення смарт-контрактів. Вбачаючи значні перспективи у розвитку децентралізованої фінансової моделі для кредитування на основі технології Ethereum, ключовими питаннями стають розширення легалізації використання цифрової валюти, процесів кредитної діяльності, правового інструментарію державного контролю за діяльністю децентралізованих фінансових систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низку питань, пов'язаних з децентралізованою фінансовою моделлю досліджували: К. Кістнер, Т. Коенс, Х. Міган, Р. Монкада, Г. Панікар, А. Попеску, А. Шаджі та ін. Проблематику кредитування на основі технології Ethereum розглядали у власних працях вітчизняні та зарубіжні дослідники, а саме: М. Бакаул, Р. Губен, Н. Дас, М. Куцевол, М. Моні, Г. Панікар, О. Шевченко-Наумова та ін. Актуальність питань, пов'язаних з використанням децентралізованої фінансової моделі для кредитування, та використання в цьому процесі технології Ethereum передбачає поглибленого дослідження особливостей зазначеної діяльності.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження особливостей децентралізованої фінансової моделі для кредитування на основі технології Ethereum.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розвиток альтернативних децентралізованих програм фінансування став можливим після швидкої появи цифрових грошей, зростання їх вартості відносно ключових валют світу, виникнення платіжних систем, які працюють з цифровими валютами. Криптовалюта є різновидом цифрової валюти, створеної з використанням розподілених мереж і публічно доступних журналів реєстрації угод, де для створення безпечної та стабільної віртуальної валюти ключові ідеї криптографії поєднуються з грошовою системою [1]. В процесі функціонування валют, цікавість до них зросла, так само як і їх вартість. Наприклад, курс другої за популярністю криптовалюти Ethereum піднявся до історичного максимуму. За даними Coindesk, станом на 26.04.2021 р. цифрова валюта коштувала 2524 дол США. Ринкова капіталізація активів Ethereum досягла 288,46 млрд дол США [2]. З початку 2021 р. Ethereum виріс більш ніж на 180%. Ethereum (блокчейн, що лежить в основі ether), розглядається як ключова платформа для додатків так званого децентралізованого фінансування (DeFi) і невзаємозамінних токенів, або NFT [3].

Технологія блокчейн (Blockchain) пропонує можливість створити структуру, що захищає від шахрайства, для здійснення транзакцій на біржах. Типовий блокчейн складається з транзакцій та блоків та пропонує можливість швидше обробляти транзакції, повністю відкритий для всіх. Захищені, децентралізовані та автономні можливості блокчейну роблять його ідеальним компонентом для всіх приватних транзакцій. Передача активів, цифрових додатків та розподілених інформаційних записів, створених за допомогою смарт-контракту, є одними із найпоширеніших застосувань блокчейну [4].

Система блокчейну зазнала значних змін, в них розміщується все більша кількість децентралізованих фінансових додатків, побудованих на численних інфраструктурах блокчейнів. Децентралізовані програми для фінансування (DeFi) захопили світ з моменту їх створення в 2017 році. DeFi можна визначити як перетворення традиційних фінансових послуг у послуги, які пне потребують посередника за допомогою смарт-контрактів на блокчейні [5]. У той час як традиційне фінансування є централізованим, DeFi вважається децентралізованим, оскільки його фінансові служби працюють без посередника [6]. Власне визначення дають інші дослідники [7], які стверджують, що DeFi є одноранговою фінансовою системою, яка використовує інтелектуальні контракти на основі розподілених реєстрів для забезпечення її цілісності та безпеки. DeFi розглядають як систему фінансових додатків, що розробляються на технології блокчейну та розподілених реєстрів [8].

Децентралізований характер DeFi забезпечує унікальне рішення для вирішення критичних проблем централізованої парадигми. Децентралізація усуває необхідність в довірених третіх сторонах, зменшуючи ринкові можливості посередників, отримані завдяки інформаційній перевазі, яку вони мають у порівнянні з учасниками угоди, використовуючи їх посередницькі послуги. Забезпечується

© Чумак Н. Р.

прозорість, оскільки всі користувачі мають доступ до даних транзакцій, що зберігаються в ланцюжках блоків, при повній конфіденційності [9]. DeFi може використовувати технологію блокчейн для стимулювання фінансової доступності, надаючи можливість мати доступ, принаймні, до основних фінансових послуг (наприклад, транзакційний рахунок, ощадний депозит) [10].

На даний час більшість фінансових послуг DeFi складається з монетарно-банківських послуг (наприклад, випуску монет); надання платформ однорангової (або об'єднаної) позики; забезпечення вдосконалених фінансових інструментів, таких як децентралізовані біржі (DEX), платформи токенізації, ринки деривативів [8].

Для існування системи DeFi має бути засіб звернення, який в контексті DeFi називають криптовалютою, тобто формою нерегульованих і програмованих цифрових грошей, які узгоджено приймаються членами спільноти блокчейна [11]. Нові транзакції, в свою чергу, виконуються за допомогою реалізації алгоритму консенсусу.

Що стосується фінансових послуг, перехід від традиційної фінансової індустрії до DeFi не є простим. При переході від централізованої системи до глобальної фінансової системи створюється мережа, що характеризується проблемними елементами, які відносяться до стандартного середовища. Зазначене спрямоване на представлення реальної системи децентралізованих фінансів з точки зору крос-ланцюжка, підкреслюючи основні відмінності між фінансовими послугами, що надаються в межах DeFi, і послугами, пропонованими в традиційній фінансовій системі. Основними фінансовими послугами в межах DeFi є запозичення та кредитування, обмін, депозити. Що стосується послуг із запозичення та кредитування, то в DeFi гроші, депоновані на платформах, використовуються для фінансування позичальників без істотних обмежень. Зазначені проекти дозволяють потенційним позичальникам також ставати маржинальними трейдерами в силу забезпечення, яке вони повинні мати для подання заявки на позику [12].

В централізованій системі фінансів маржинальна торгівля характеризується елітарним доступом, оскільки потенційному трейдеру зазвичай потрібен конкретний маржинальний рахунок і мінімальний інвестиційний поріг. У DeFi, навпаки, заставою є певна кількість цифрових активів, попередньо депонованих позичальниками. Вимога маржі автоматично відбувається, коли вартість цих активів падає нижче заздалегідь визначеного порога, через смарт-контракти, без необхідності втручання довіреної третьої сторони. З цієї причини в DeFi можна говорити про несанкціоновані ініціювання маржинальних вимог і несанкціонованому наданні ліквідності маржинальних вимог [13].

Смарт-контракт є сукупністю визначених цифровим способом зобов'язань, включаючи угоди, за якими учасники контракту можуть виконувати ці зобов'язання. Загалом, смарт-контракт є контрактом, який може автоматично виконуватися при дотриманні певних умов. Встановлено, що технологія блокчейн може забезпечити природну платформу для надання кредитів, тим самим забезпечуючи підґрунтя для виконання смарт-контрактів. Вперше Ethereum поєднує розумні контракти з блокчейнами, щоб створити повну платформу публічного ланцюжка Тьюрінга. Це не просто комп'ютерна програма, яка може виконуватися автоматично – вона сама є учасником системи, відповідаючи на отримане повідомлення, отримуючи та зберігаючи вартість, надсилаючи інформацію та значення [14].

Застосування технології блокчейн у фінансовому секторі привело до створення системи, що складається з децентралізованих додатків, здатних відтворювати стандартні фінансові послуги та пропонувати інноваційні рішення для розвитку цієї галузі. Система фактично керована блокчейном Ethereum, за якою слідують відомі проекти з широким потенціалом з точки зору ефективності та процвітання системи [12].

Ethereum пропонує перетворення повних смарт-контрактів, що працюють на Ethereum Virtual Machine (EVM). Об'єкти в системі Ethereum відомі як рахунки. Існує два основних типи рахунків: рахунки, що перебувають у зовнішній власності та рахунки за контрактом. Зовнішні рахунки контролюються приватними ключами, тоді як контрактні рахунки повністю автономні та регулюються їх кодом контракту. З запровадженням децентралізованих смарт-контрактів було запропоновано кілька протоколів децентралізованого кредитування. Оскільки система Blockchain реалізована Ethereum, саме тому вона є дуже ефективною для системи транзакцій, ніж інші транзакції (Siacoin, Monero, Bitcoin), оскільки вона має технологічні особливості смарт-контракту, які пов'язані з минулою транзакцією [15].

Ethereum є провідним програмованим блокчейном у світі, що має приблизно 200 000 розробників та тисячі доступних додатків. Ethereum представляє концепцію так званих смарт-контрактів. Через їх децентралізовану природу набір взаємодіючих смарт-контрактів також називають децентралізованими програмами (dApps). Дивлячись на розвиток технології блокчейну, можна зробити

© Чумак Н. Р.

висновок, що Ethereum прийняв важливі аспекти біткойна, але розширив їх, включивши обчислювальну логіку поверх нього. DeFi демократизує фінансові послуги, особливо такі, як індивідуальні деривативи, які зазвичай можуть виконуватись лише великими установами. У DeFi ці деривативи мають набагато меншу номінальну вартість, ніж на традиційних фінансових ринках. У децентралізованих фінансів не тільки кожна децентралізована програма є відкритим кодом, але і кожна окрема транзакція є прозорою. DeFi пропонує ціннісну пропозицію, завдяки якій приватні особи та установи використовують більш широкі фінансові програми без необхідності довірених посередників [16].

На своєму шляху до реалізації своїх обіцянок DeFi все ще має подолати основні перешкоди. Технічні аспекти щодо смарт-контрактів, базового протоколу Blockchain та зручності використання більшості програм DeFi в даний час заважають більш широкому прийняттю користувачів та зростання. Система децентралізованих фінансів все ще повинна продемонструвати, як досягти своєї справжньої мети – децентралізованого управління, не в останню чергу під час криз (ліквідності). У довгостроковій перспективі розвиток системи DeFi, разом із політичними зацікавленими сторонами, наглядовими органами та традиційним фінансовим сектором, створить необхідні умови та межі, які дозволять децентралізованим фінансам реалізувати свій повний потенціал. Розуміння, співпраця та інтеграція між вказаними зацікавленими сторонами є ключовим для досягнення цієї мети [16].

Збільшення обсягу обробки, зберігання та пропускної здатності створює потенціал для децентралізації фінансів, тоді як Blockchain, хмарні технології та дані забезпечують технологічно сприятливе середовище для децентралізованих фінансів. У той же час, децентралізація може прискорити створення ефективних масштабів щодо даних та ліквідності шляхом з'єднання багатьох дрібних суб'єктів. Децентралізація, швидше за все, спричинить більш різноманітні та конкурентоспроможні системи фінансових послуг на основі технології Ethereum та зменшить центральну роль фінансових органів.

Висновки з проведеного дослідження. Отже, за результатами дослідження слід визначити, що розвиток концепції, яка передбачає використання децентралізованих фінансів, дозволяє будувати систему фінансових послуг, яка відмежована від традиційних фінансових і політичних систем. Зазначений підхід спричинить розбудову прозорої фінансової системи, що має позбавити від недоліків та існуючих обмежень централізованої концепції. Поява технології блокчейн дозволила створити структуру, захищену від шахрайства, для здійснення транзакцій на біржах. Для функціонування системи децентралізованих фінансів має бути засіб звернення, який називають криптовалютою. В якості криптовалюти, яку використовують в системі децентралізованих фінансів, слугує Ethereum. Система Blockchain реалізована Ethereum є дуже ефективною для системи транзакцій, оскільки вона має технологічні особливості смарт-контракту. Децентралізовану фінансову модель в сучасних умовах використовують для кредитування на основі технології Ethereum.

Пошук подальших варіантів використання децентралізованих фінансів, на основі можливостей блокчейну, має вирішальне значення для створення відкритих фінансових продуктів. У разі успіху система децентралізованих фінансів розширить можливості надання кредитних ресурсів на основі технології Ethereum з покращеними, ніж в існуючих варіантах, умовами. Однак, необхідно досліджувати ефективність даної фінансової системи та її можливості в разі її широкого використання у фінансовій сфері.

References.

1. Ethereum. URL: https://www.coindesk.com/price/ethereum.
2. Cryptocurrency market value tops $2 trillion for the first time as ethereum hits record high. URL: https://www.cnbc.com/2021/04/06/cryptocurrency-market-cap-tops-2-trillion-for-the-first-time.html.
3. Shaji A. et al. Decentralized Land Lending System using Blockchain. International Journal of Information Systems and Computer Sciences. 2019. № 8(2). P. 59–62.
4. Meegan X. Identifying key non-financial risks in decentralised finance on ethereum blockchain. MIP Politecnico di Milano, 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.27175.57769.
5. Meegan X., Koens T. Lessons Learned from Decentralised Finance (DeFi). ING. URL: https://new.ingwb.com/binaries/content/assets/insights/themes/distributed-ledger-technology/defi_white_paper_v2.0.pdf.
6. Gudgeon L. et al. The decentralized financial crisis. In 2020 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT), IEEE. 2020. P. 1–15.
7. Popescu A. D. et al. Decentralized Finance (DeFi) – The Lego of Finance. Social Sciences and Education Research Review. 2020. № 7(1). P. 321–348.
8. De Filippi P. The interplay between decentralization and privacy: the case of blockchain technologies. Journal of Peer Production. 2016. № 7. URL: https://ssrn.com/abstract=2852689.

© Чумак Н. Р.

9. Ohnesorge J. A primer on blockchain technology and its potential for financial inclusion. № 2/2018, Discussion Paper. 2018. doi: 10.23661/dp2.2018.
10. Houben R., Snyers A. Cryptocurrencies and blockchain. Bruxelles: European Parliament, 2018. doi: 10.2861/263175.
11. Moncada R. et al. Next Generation Blockchain-Based Financial Services. Euro-Par 2020: Parallel Processing Workshops. Nature Publishing Group, 2021. №. 12480. P. 30–41.
12. Kistner K. J. How decentralized is DeFi? A framework for classifying lending protocols. 2019. URL: https://medium.com/hackernoon/how-decentralized-is-defi-a-framework-for-classifying-lending-protocols-90981f2c007f.
13. Bai L. Oracle's Application in Finance. International conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical-Systems. Springer, Singapore, 2020. P. 65–70.
14. Bakaul M., Das N. R., Moni M. A. The Implementation of Blockchain in Banking System using Ethereum. International Journal of Computer Applications. 2020. № 177(38). P. 50–54.
15. Decentralized Finance (DeFi) – A new Fintech Revolution?. Bitkom, 2020. URL: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-07/200729_whitepaper_decentralized-finance.pdf.

© Чумак Н. Р.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-26
УДК 543.06
Шорнікова Світлана Василівна, начальник відділу
https://orcid.org/0000-0002-9038-2457
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ

ВАЛІДАЦІЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДИК ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА

Шорнікова С.В. Валідація та верифікація методик вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва. Описано принципи валідації та верифікації методик вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва. Зазначається, що виготовлена деталь перевіряється за допомогою вимірювального пристрою і порівнюється з еталоном з метою перевірки специфікацій розмірів та геометричних характеристик (фактичний розмір і допуск), а потім відхилення обчислюються та відображаються. Представлена модель налаштування процесу перевірки в якій схематично наведено всі етапи верифікації. Сформовано визначення основних понять, так валідація – верифікація, при якій встановлені вимоги пов'язані з передбачуваним використанням; валідація методик вимірювань – це процес підтвердження, через приведення об'єктивних доказів, як правило, отриманих експериментальним шляхом, того, що методику можна використовувати для певного призначення, а верифікація – надання об'єктивних доказів того, що даний об'єкт повністю відповідає встановленим вимогам. Математично обґрунтовано принцип формування вимірювальної величини та комбінованої стандартної невизначеності. Описано метод Монте-Карло, який зазвичай використовується для наближення статистичної поведінки вимірюваної величини в ситуаціях, коли функцію вимірювання неможливо знайти безпосередньо. Наведено модель налаштування комп'ютерної результуючої системи геометричних вимірів та описано концептуальну основу для перевірки моделі системи геометричних вимірів, яка включає п'ять типів дійсності (концептуальний, логічний, типовий, експериментальний, оперативний). Зазначено, що довгострокові переваги використання перевіреної моделі для доповнення фізичного вимірювання повинні бути збалансовані із витратами, пов'язаними з розробкою моделі та моделлю вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва.
Ключові слова: валідація, верифікація, методика, вимірювання, геометричні розміри, виробництво, похибка.

Шорникова С. В. Валидация и верификация методик измерения геометрических размеров в условиях производства. Описаны принципы валидации и верификации методик измерения геометрических размеров в условиях производства. Отмечается, что изготовленная деталь проверяется с помощью измерительного устройства и сравнивается с эталоном с целью проверки спецификаций размеров и геометрических характеристик (фактический размер и допуск), а затем отклонения вычисляются и отображаются. Представленная модель настройки процесса проверки, в которой схематично приведены все этапы верификации. Сформирован определения основных понятий, так валидация - верификация, при которой установлены требования связаны с предполагаемым использованием; валидация методик измерений - это процесс подтверждения, через приведение объективных доказательств, как правило, полученных экспериментальным путем, того, что методику можно использовать для определенного назначения, а верификация - предоставление объективных доказательств того, что данный объект полностью соответствует установленным требованиям. Математически обоснованно принцип формирования измеряемой величины и комбинированной стандартной неопределенности. Описан метод Монте-Карло, который обычно используется для приближения статистической поведения измеряемой величины в ситуациях, когда функцию измерения не могут напрямую. Представлена модель настройки компьютерной результирующей системы Измерения и описано концептуальную основу для проверки модели системы Измерения, которая включает пять типов действительности (концептуальный, логический, типичный, экспериментальный, оперативный). Отмечено, что долгосрочные преимущества использования проверенной модели для дополнения физического измерения должны быть сбалансированы с расходами, связанными с разработкой модели и модели измерения геометрических размеров в условиях производства.
Ключевые слова: валидация, верификация, методика, измерения, геометрические размеры, производство, погрешность.

Shornikova Svitlana. Measuring methodologies of geometrical sizes validation and verification in the production conditions. The principles of validation and verification of methods for measuring geometric dimensions in production conditions are described. It is noted that the manufactured part is checked with a measuring device and compared with the standard to check the size specifications and geometric characteristics (actual size and tolerance), and then the deviations are calculated and displayed. A model for setting up the verification process is presented, which schematically shows all the stages of verification. The definition of basic concepts is formed, so validation - verification, in which the requirements are related to the intended use; validation of measurement methods is a process of confirmation, by providing objective evidence, usually obtained experimentally, that the method can be used for a specific purpose, and verification - the provision of objective evidence that the object fully complies with the established requirements. The principle of forming a measurand and a combined standard uncertainty is mathematically substantiated. Describes the Monte Carlo method, which is usually used to approximate the statistical behavior of a measured quantity in situations where the measurement function cannot be found directly. The model of setting up the computer resultant system of geometric measurements is given and the conceptual basis for checking the model of the system of geometric measurements is included, which includes five types of reality (conceptual, logical, typical, experimental, operational). It is noted that the long-term benefits of using a proven model to supplement physical measurement should be balanced with the costs associated with developing a model and model for measuring geometric dimensions in production.
Keywords: validation, verification, method, measurement, geometric dimensions, production, error.

© Шорнікова С.В.

Вступ та постановка проблеми дослідження. Геометричне вимірювання та допуск (або геометричні специфікації виробу) – це мова символів, що широко використовується в інженерних кресленнях та згенерованих комп'ютером моделях для опису, передачі та визначення допустимих відхилень геометрії об'єктів. Геометричне вимірювання – це ефективний і однозначний спосіб передачі умов вимірювання та специфікацій деталі. Ця мова супроводжує весь ланцюжок процесів і допомагає сформувати поняття про функції деталей шляхом проектування, виготовлення та перевірки. Крім того, вона забезпечує більш точне зображення деталей та фокусується на взаємозв'язку між елементами.

Методики вимірювань – це процес, який має своє певне призначення: отримати інформацію про параметри / показники деякого об'єкта (сировина, продукція, об'єкти навколишнього середовища, біологічний матеріал і т.п.). Отримана в результаті застосування методики вимірювань інформація, для вимірюваних величин виражена у вигляді результату вимірювання, що використовується потім для прийняття управлінських рішень. Щоб прийняти вірне рішення, потрібно довіряти інформації, на підставі якої воно приймається, і, отже, методиці вимірювань, яка цю інформацію надає.

Довіра виражається у вигляді певних вимог, яким повинна відповідати методика вимірювань. Ці вимоги підтверджуються в ході валідації / верифікації методик вимірювань. З точки зору метрології поняття валідації та верифікації закріплені в міжнародному словнику по метрології VIMЗ [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування політик, методів та методик застосування валідації та верифікації в умовах виробництва досліджували вчені на протязі багатьох років.

У настанові [2] пояснено поняття "валідація методу", описано, які характеристики визначають під час валідації, як її проводять, як застосовують результати валідації для внутрішнього контролювання якості, як треба викладати у документах аналітичні методики тощо.

Л.П. Почекайлова [3] розглянула методи валідації випробувань, які розвинуто у міжнародних та європейських нормативних документах та застосовують в акредитованих випробувальних лабораторіях. Авторка подала загальну характеристику різних видів валідації, встановила метрологічні характеристики методів випробувань, які досліджують під час проведення валідації. Застосування методів валідації в лабораторії та документування її результатів дозволяє гарантувати точність результатів вимірювань, які подає лабораторія, та значно підвищує технічну компетентність лабораторії.

О. Ю. Браілов, В. І. Панченко, С. І. Косенко [4] виконали аналіз геометричної моделі визначення недоступної точки об'єкта. Виявлена проблема і визначені першочергові задачі. Приведене визначення геометричної моделі вимірювань як моделі, що пов'язує вимірювальними приладами візирні промені з її проекціями та об'єкт дослідження в певній системі координат з площинами проекцій.

Із зарубіжних варто рів варто відзначити такі роботи як: R. Raffaeli, M. Mengoni, M. Germani, F. Mandorli [5], H. Hovind, B. Magnusson, M. Krysell, U. Lund, and I. Makinen [6], Thompson M., Ellison S.L.R. and Wood R. [7], MacKinnon, D., Carrier, B., Beraldin, J.A., Cournoyer, L. [8], Van Loco, J., Elskens, M., Croux, C., Beernaert, H. [9], B. Magnusson, T. Naykki, H. Hovind, M. Krysell [10], Lukacs G., Lockhart J., Facello M. [11], Barbero B.R., Ureta E.S. [12] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів валідації та верифікації методик вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Мета статті. Розкрити принципи валідації та верифікації методик вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва.

Викладення основного матеріалу дослідження. Стандарти ISO-GPS, складаються з бібліотеки символів, визначень, правил та конвенцій, що описують частину з точки зору допусків на основі розміру, форми, орієнтації та розташування. Основні та необхідні кроки, потрібні для отримання результатів геометричного вимірювання, починаються з номінальної інформації, яка описує конкретну особливість виробу. Виготовлена деталь перевіряється за допомогою вимірювального пристрою (наприклад, координатно-вимірювальної машини (КВМ)) і порівнюється з еталоном (наприклад, файлом автоматизованого проектування (CAD)) з метою перевірки специфікацій розмірів та геометричних характеристик (фактичний розмір і допуск). Потім відхилення обчислюються та відображаються. На рисунку 1 представлена модель налаштування процесу перевірки.

У науці про метрологію істинні значення (ідеальні величини) можуть залишатися не відомими, і всі вимірювання можуть мати певну ступінь невизначеності, що часто є функцією декількох змінних (джерел). Різниця між дійсними та виміряними значеннями відома як похибка. Невизначеність – параметр, пов'язаний з результатом вимірювання, що характеризує розподіл значень, які можна

© Шорнікова С.В.

обґрунтовано віднести до вимірюваної величини. Таким чином, розрахункове значення вимірюваної величини Y, як правило, обчислюється з використанням співвідношення, представленого у рівнянні (1)

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \qquad (1)$$

де x_i–оцінка для кожної вхідної змінної X_i, яка потенційно може мати значний вплив на результат вимірювання (y). Функція f може бути відомою та явною. Однак у деяких випадках функція вимірювання невідома або дуже складна, і аналітичний вираз недоступний.

Якщо функція f є явною, а вхідні величинине співвідносяться, закон поширення невизначеностей, наведений у [9], як правило, представляє комбіновану стандартну невизначеність щодо оціненого значення $u\ (y)$ за:

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)}$$

де $u\ (x_i)$–стандарт на невизначеність кожної вхідної змінно їx_i. На практиці розширена невизначеність $U\ (y)$ відповідає суміщеній стандартній невизначеності, помноженій на коефіцієнт покриття k, де обрано k, для попереднього довірчого інтервалу $(1-\ \alpha)$.

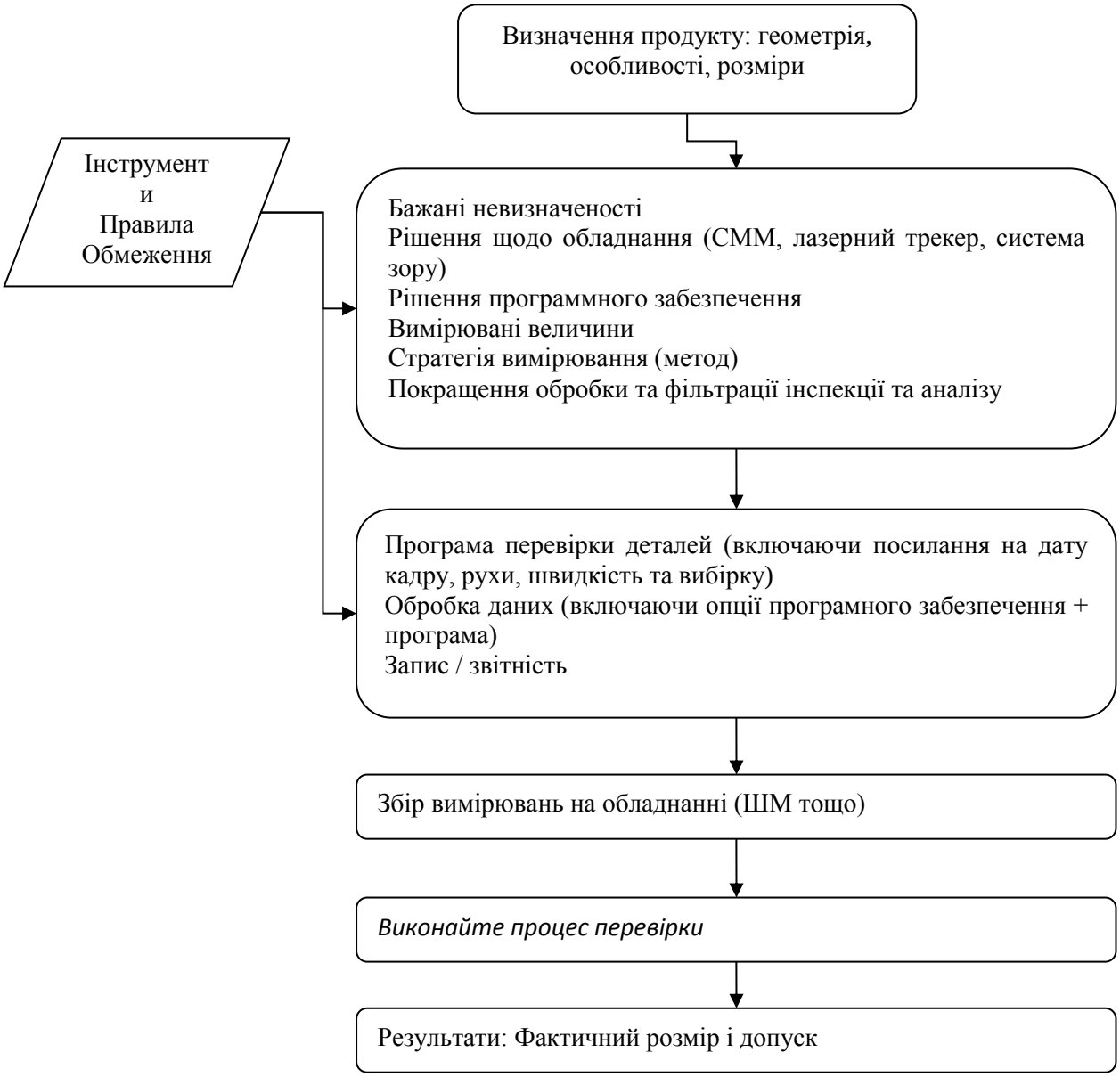


Рис. 1 Модель налаштування процесу перевірки

© Шорнікова С.В.

Моделювання методом Монте-Карло зазвичай використовується для наближення статистичної поведінки вимірюваної величини в ситуаціях, коли функцію вимірювання неможливо знайти безпосередньо. Для визначення результату вхідні змінні генеруються випадковим чином для кожного моделювання в межах відповідних діапазонів невизначеності. Потім для оцінки невизначеності використовується функція щільності ймовірності вихідного сигналу [10]. Нарешті, у випадках, коли функція вимірювання є дуже складною (або невідомою), емпіричну оцінку можна встановити, використовуючи певні припущення та гіпотези спрощення [11].

Протягом останніх трьох десятиліть координатно-вимірювальна машина побачила прогрес з точки зору точності та повторюваності, що, в свою чергу, призвело до підвищення продуктивності. В даний час КВМ відіграє важливу роль у стандартах геометричних вимірювань, які вимагають важливого вимірювального обладнання, необхідного для контролю якості виробництва [12]. Однак, незважаючи на такі вдосконалення, невизначеність може викликати не тільки використовуване обладнання, але й алгоритмічний вибір та прийнята методологія вимірювання [13].

Оцінка невизначеності вимірювань (кількісна оцінка) є вирішальним етапом у характеристиці та підтвердженні узгодженості результатів перевірки [14]. Оцінка невизначеності вимірювань повинна проводитися для забезпечення прогресу в науці вимірювань. Типи помилок, які можуть виникати при вимірюванні геометричних розмірів, можна розглядати, принаймні частково, як функцію технології, що використовується для реалізації системи. Отже, у випадку із застосуванням автоматизованого вимірювання схема подання знань та метод усунення невизначеності створюють значну частину основи для перевірки. Валідація зазвичай розглядається як більш складне завдання, яке не настільки залежить від конкретної технології. Там, де частина автоматизованої системи повинна працювати заздалегідь визначеним чином, наприклад, КВМ, розроблена для вимірювання дожини деталі, вимірювання дійсності є відносно простим. КВМ яка надає невірні результати є недійсною. Інший погляд на валідацію випливає із процесу побудови моделей, зокрема побудови статистичних, економетричних та дослідницьких моделей. Модель – це відображення реальності, яка ніколи не буде «ідеальною».

Існує багато загальних типів недоліків у формі моделі, які можуть бути причиною неточних результатів моделювання: двовимірні моделі, які не можуть представляти ефекти тривимірної варіації; неправильна модель для пружної або пластичної реакції матеріалу; припущення про зв'язок контакту, коли насправді між двома частинами виникає розрив; припущення, що дві частини не рухаються відносно одна одної, коли насправді вони рухаються і розвиваються значні сили тертя; жорсткі граничні умови, які, як виявляється, мають суттєву відповідність тощо. Важливо шукати можливе порушення припущень форми моделі при узгодженні виміряних даних із результатами обчислювального моделювання. Якщо рівняння або параметри моделі змінюються, процес перевірки моделі повинен бути проведений знову. Більше того, якщо параметри були змінені з використанням даних деяких або всіх експериментів з валідації, тоді повинні бути проведені нові експерименти, щоб надати докази валідації. Валідація – верифікація, при якій встановлені вимоги пов'язані з передбачуваним використанням. Валідація методик вимірювань – це процес підтвердження, через приведення об'єктивних доказів, як правило, отриманих експериментальним шляхом, того, що методику можна використовувати для певного призначення. Валідацією методик вимірювань, як правило, займаються розробники. В процесі валідації не тільки підтверджують, що методику можна використовувати для конкретного призначення, а й перевіряють її працездатність на різних стадіях.

Верифікація – надання об'єктивних доказів того, що даний об'єкт повністю відповідає встановленим вимогам. Верифікацією методик вимірювань займається її користувач (лабораторія) при впровадженні методики вимірювань в свою практику. В даному випадку користувач повинен навести докази, що методика вимірювань в лабораторії реалізується згідно встановлених для неї вимог.

Модель налаштування комп'ютерної результуючої системи геометричних вимірів наведено на рис. 2.

Етапи побудови моделі:

1) Реальна система
   - спостереження за реальною системою;
   - взаємодія між компонентами;
   - збір даних про поведінку;
   - концептуальна модель.
2) Побудова концептуальної моделі
   - програмне моделювання.

© Шорнікова С.В.

3) Реалізація комп'ютерної результуючої системи геометричних вимірів.

Концептуальна основа для перевірки моделі системи геометричних вимірів включає п'ять типів дійсності:

1. Концептуальний: «ступінь релевантності припущень і теорій, що лежать в основі концептуальної моделі .., для передбачуваних користувачів та використання моделі».
2. Логічний: «здатність формальної моделі правильно і точно описувати проблемну ситуацію».
3. Експериментальний: «якість та ефективність механізму рішення».
4. Оперативний: «якість та застосовність рішень та рекомендацій».
5. Типовий: «достатність, точність, доречність та доступність даних».

Рис. 2 Модель налаштування комп'ютерної результуючої системи геометричних вимірів

Часто перевірка моделі – це спроба виміряти загальність моделі (наприклад, чи може вона виконуватися з різними наборами даних або за різних припущень). Як правило, перевірку моделі часто ототожнюють з експлуатаційною валідністю – модель оцінюється за якістю її рішень, проте, абсолютна валідність, заснована на точності рішень, є міфом. Слід врахувати передбачуване використання моделі – модель може бути дійсною для однієї системи, але не для іншої. Отже, концептуальна перевірка та критерії, за якими оцінюється модель, є дуже важливими.

Оскільки модель ніколи не є абсолютно дійсною (або, що стосується цього, абсолютно недійсною), її прийняття дуже залежить від передбачуваного використання та користувача. Можна було б очікувати, що чим більш дієва модель, тим вона більш достовірна, але немає гарантії, що діюча модель буде сприйнята як достовірна.

Істинність, обґрунтованість та надійність не гарантують точної, не кажучи вже про корисну систему. Наприклад, система може бути непридатною для використання, оскільки час її відгуку занадто повільний або інтерфейс занадто складний. Такі питання, безумовно, є актуальними при оцінці автоматизованих систем для лінійних вимірювань, але загалом валідацію слід розглядати окремо від оцінки, а не лише як частину процесу оцінки, оскільки це є необхідною умовою для адекватних показників. Погано перевірена система, яка швидко дає неправильні результати лінійних вимірювань, може бути «небезпечною»: поверхнева якість системи може призвести до необґрунтованої довіри та невірних значень.

Для перевірки системи вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва необхідні наступні елементи:

© Шорнікова С.В.

1). Програмний пакет 3D CAT. Використання будь-якого програмного пакету CAT 3D, не повинно змінювати результати, за умови використання методу Монте-Карло.

Етапи моделювання:

1 – Збірка компонентів, де необхідно визначити системи відліку в кожному компоненті, щоб вказати відхилення поплавкового отвору;

2 – Визначення відхилень деталей, де вводяться розміри та допуски, а також радіальні та кутові зміни з'єднання;

3 – Визначення досліджуваної деталі;

4 – Моделювання моделі з урахуванням різних статистичних розподілів, які передбачаються;

5 – Підтвердження результатів.

2). Система вимірювання, яка дозволяє порівняти реальні вимірювані параметри з розмірами, що моделюються в CAT. Це робиться за допомогою лазерного сканера, який відображається на оптичній камері зі стандартним відхиленням калібрування 0,027 мм.

3). Механізм, за допомогою якого можна виміряти різні розміри та допуски. Статистичний розподіл допусків і положення може бути встановлений за допомогою різних вимірювань.

Останнім кроком у процесі перевірки є порівняння значень метрик, обраних для вимірювання порівняння та відповідності між вихідними даними моделі та експериментальними даними, а також оцінка точності моделі. Визначення чи є апробована модель системного рівня адекватною для її цільового використання – це програмне рішення та включає як технічні, так і нетехнічні вимоги, такі як графік, наявність, фінансові ресурси, громадськість сприйняття тощо. Зацікавлені сторони, які не є частиною групи перевірки, зазвичай визначають ці нетехнічні вимоги. Отже, тлумачення адекватності тут обмежене, включаючи лише прийнятну угоду між результатами експерименту та моделювання.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі розглянуто принципи валідації та верифікації методик вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва. У визначенні та практиці валідації та верифікації методик вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва є багато відкритих питань. З практичної точки зору, витрати, пов'язані з проведенням високоякісної комп'ютерної програми, можуть бути величезними. Отже, довгострокові переваги використання перевіреної моделі для доповнення фізичного вимірювання повинні бути збалансовані із витратами, пов'язаними з розробкою моделі та моделлю вимірювання геометричних розмірів в умовах виробництва. Вимоги до ресурсів, пов'язаних з моделлю, вимагають поступового підходу до застосування вимог валідації та верифікації. Потреба у скороченні часу та витрат, пов'язаних з масштабними фізичними випробуваннями, сприяє збільшенню залежності від моделювання в області обчислювальної механіки. Цей факт, у свою чергу, мотивує подальший розвиток методології та інструментів для виконання моделі валідації та верифікації. Було визначено декілька сфер, у яких необхідні подальші дослідження та розробки: експертна оцінка та прийняті процедури розробки валідованої моделі; методи та інструменти для проведення кількісної оцінки невизначеності з урахуванням як властивої, так і епістемічної невизначеності; методологія встановлення ієрархії перевірки та відповідні вимоги до перевірки моделі; метрики перевірки, показники ефективності та обчислювальні функції для підтримки порівняльних перевірок; способи обчислення помилок та впевненості за допомогою статистичного аналізу результатів обчислень та моделювання, а також методи для визначення оптимальних стратегій перегляду моделі за допомогою аналізу чутливості.

Referehces.

1. CGM 200:2012 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM 3rd edition)
2. Eurachem, H. (2016). Придатність аналітичних методів для конкретного застосування. Настанова для лабораторій з валідації методів та суміжних питань": за ред. Б. Магнуссона та У. Ернемарка: переклад другого видання 2014 р. *Київ: ТОВ" Юрка Любченка*.
3. Почекайлова, Л. П. (2013). Валідация методик випробувань. *Системи обробки інформації*, (3), 85-89.
4. Браилов, А. Ю., Панченко, В. И., & Косенко, С. И. (2019). Анализ геометрической модели определения параметров недоступной точки объекта. *Modern problems of modeling*, (14), 38-47.
5. Raffaeli, R., Mengoni, M., Germani, M., & Mandorli, F. (2013). Off-line view planning for the inspection of mechanical parts. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *7*(1), 1-12.
6. Hovind, H., Magnusson, B., Krysell, M., Lund, U., & Mäkinen, I. (1). Internal quality control-handbook for chemical laboratories. *Nordtest Report Tr*, *569*.
7. Thompson, M., Ellison, S. L., & Wood, R. (2002). Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and applied chemistry*, *74*(5), 835-855.
8. MacKinnon, D., Carrier, B., Beraldin, J. A., & Cournoyer, L. (2013). GD&T-based characterization of short-range non-contact 3D imaging systems. *International journal of computer vision*, *102*(1-3), 56-72.
9. Van Loco, J., Elskens, M., Croux, C., & Beernaert, H. (2002). Linearity of calibration curves: use and misuse of the correlation coefficient. *Accreditation and Quality Assurance*, *7*(7), 281-285.

© Шорнікова С.В.

10. Magnusson, B. (2003). Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories.
11. Lukacs, G., Lockhart, J., & Facello, M. (2012). Non-contact whole-part inspection.
12. Barbero, B. R., & Ureta, E. S. (2011). Comparative study of different digitization techniques and their accuracy. *Computer-Aided Design*, *43*(2), 188-206.
13. Minguez, R., Arias, A., Etxaniz, O., Solaberrieta, E., & Barrenetxea, L. (2016). Framework for verification of positional tolerances with a 3D non-contact measurement method. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *10*(2), 85-93.
14. Shrivastava, A., & Gupta, V. (2011). Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods. Chronicles of young scientists, 2(1), 21-21.

© Шорнікова С.В.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-27
УДК 621.914.32
Юшков Андрій Генадійович, провідний науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0002-4912-478X
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА РОЗРОБКИ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ В CAD/CAM-СИСТЕМІ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СУМАРНУ ПОХИБКУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБУ НА ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПУ

Юшков А. Г. Деякі аспекти проектування деталей та розробки управляючої програми в CAD/CAM-системі, що впливають на сумарну похибку виготовлення виробу на фрезерному верстаті з ЧПУ. Стаття присвячена питанням аналізу взаємозв'язку проектування деталей в CAD/CAM-системі та їх виготовлення на фрезерних верстатах з ЧПУ. Розглянуто причини виникнення похибок виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПУ та шляхи їх усунення не тільки в процесі самого фрезерування деталі на виробничому обладнанні, а і на етапах проектування конструкції, розробки управляючих програм (УП) для оброблювального центру та розрахунку режимів різання та їх взаємозв'язок. Запропонована структура сумарної похибки виготовлення деталей, що впливає на загальну якість виробу, на верстаті з ЧПУ. Наголошено, що сумарна похибка складається з похибки, що формується апаратними можливостями верстата, похибки, що може бути закладена при розробці 3D-моделі деталі в номінальних розмірах, похибки, що може виникнути при некоректній розробці УП для верстата з ЧПУ та похибки пов'язаної з особливостями управляючої системи конкретного верстата з ЧП. Підкреслено, що при аналізі взаємодії CAD/CAM-системи та верстата з ЧПУ за основу були взяті CAD-система SolidWorks компанії Dassault Systemes та CAM - система SolidCAM з інтегрованим модулем інтелектуальної обробки iMachining компанії SolidCAM Ltd., тому що вона являє собою комплексну CAM-систему, яка призначена для програмування верстатів з ЧПУ в середовищі SolidWorks. Запропоновано структурну схему CAD/CAM система – верстат з ЧПУ, на базі якої детально представлено взаємозв'язок оператора з верстатом та управляючою системою. Особлива увага приділена впливу параметрів 3D-моделі деталі (CAD-система) та оптимізованої програми обробки (CAM-система з інтегрованим модулем iMachining) на сумарну похибку виготовлення деталей на фрезерному верстаті з ЧПУ та вкінцевому випадку на якість виробу в цілому. Обґрунтовано, що запропонований підхід та рекомендації до процесу розробки конструкції, написання управляючої програми до верстата з ЧПУ та методів фрезерування деталей дозволить максимально зменшити сумарну похибку виготовлення виробу.
Ключові слова: верстат з ЧПУ, CAD/CAM-система, режими різання, модуль iMachining, управляюча програма.

Юшков А. Г. Некоторые аспекты проектирования деталей и разработки управляющей программы в CAD / CAM-системе, влияющие на суммарную погрешность производства изделия на фрезерном станке с ЧПУ. Статья посвящена вопросам анализа взаимосвязи проектирования деталей в CAD / CAM-системе и их изготовления на фрезерных станках с ЧПУ. Рассмотрены причины возникновения погрешностей изготовления деталей на фрезерных станках с ЧПУ и пути их устранения не только в процессе самого фрезерования детали на производственном оборудовании, а и на этапах проектирования конструкции, разработки управляющих программ (УП) для обрабатывающего центра и расчета режимов резания и их взаимосвязь. Предложенная структура суммарной погрешности изготовления деталей, которая влияет на общее качество изделия, на станке с ЧПУ. Отмечено, что суммарная погрешность состоит из погрешности, которая формируется аппаратными возможностями станка, погрешности, которая может быть заложена при разработке 3D-модели детали в номинальных размерах, погрешности, которая может возникнуть при некорректной разработке УП для станка с ЧПУ и погрешности связанной с особенностями управляющей системы конкретного станка с ЧП. Подчеркнуто, что при анализе взаимодействия CAD / CAM-системы и станка с ЧПУ за основу были взяты CAD-система SolidWorks компании Dassault Systemes и CAM - система SolidCAM с интегрированным модулем интеллектуальной обработки iMachining компании SolidCAM Ltd., так как она представляет собой комплексную CAM- систему, которая предназначена для программирования станков с ЧПУ в среде SolidWorks. Предложена структурная схема CAD / CAM система - станок с ЧПУ, на базе которой подробно представлена взаимосвязь оператора со станком и управляющей системой. Особое внимание уделено влиянию параметров 3D-модели детали (CAD-система) и оптимизированной программы обработки (CAM-система с интегрированным модулем iMachining) на суммарную погрешность изготовления деталей на фрезерном станке с ЧПУ и в конечном случае на качество изделия в целом. Обосновано, что предложенный подход и рекомендации к процессу разработки конструкции, написание управляющей программы к станку с ЧПУ и методов фрезерования деталей позволит минимизировать суммарную погрешность изготовления изделия.
Ключевые слова: станок с ЧПУ, CAD/CAM-система, режимы резания, модуль iMachining, управляющая программа.

Yushkov Andriy. Some aspects of designing parts and developing a control program in a CAD / CAM system affecting the total error of product production on a CNC milling machine. The article is devoted to the analysis of the relationship between the design of parts in a CAD / CAM system and their manufacture on CNC milling machines. The reasons for the occurrence of errors in the manufacture of parts on CNC milling machines and ways of eliminating them not only in the process of milling the part on production equipment, but also at the stages of design design, development of control programs (PC) for the machining center and calculation of cutting modes and their relationship are considered. The proposed structure of the total manufacturing error of parts, which affects the overall quality of the product, on a CNC machine. It is noted that the total error consists of the error that is formed by the hardware capabilities of the machine, the error that can be incorporated in the development of a 3D model of the part in nominal dimensions, the error that may arise with the incorrect development of the control unit for a CNC machine and the error associated with the features of the control systems of a specific machine tool with PE. It was emphasized that when analyzing the interaction of a CAD / CAM system and a CNC machine tool, the SolidWorks CAD system from Dassault Systemes and CAM, a SolidCAM system with an integrated iMachining intelligent processing module from SolidCAM Ltd., were taken as a basis, since it is a complex CAM-

© Юшков А. Г.

a system that is designed for programming CNC machines in the SolidWorks environment. A structural diagram of a CAD / CAM system is proposed - a CNC machine, on the basis of which the interaction of the operator with the machine and the control system is presented in detail. Particular attention is paid to the influence of the parameters of the 3D model of the part (CAD system) and the optimized processing program (CAM system with the integrated iMachining module) on the total error in the manufacture of parts on a CNC milling machine and, ultimately, on the quality of the product as a whole. It is substantiated that the proposed approach and recommendations for the design development process, writing a control program for a CNC machine and methods for milling parts will minimize the total error in manufacturing a product.

Keywords. CNC milling machine, CAD/CAM-system, cutting modes, milling modes, iMachining module, controlling program.

Сучасному виробництву в галузі приладобудування та машинобудування притаманне постійне збільшення темпів виробництва одночасно з зростаючими вимогами точності виготовлення деталей. Тенденції розвитку сучасного виробництва потребують заміни застарілого універсального обладнання на новітні верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Це обладнання дозволяє вирішувати великий обсяг задач та прискорювати виробничі процеси, даючи цим самим нові виробничі можливості, виготовляти тисячі одиниць ідентичної продукції з додержуванням стовідсоткової точності розмірів. Для того щоб виконати чистовий розмір в полі допуску, на верстаті з ручним управлінням треба кілька разів зупиняти верстат і проводити контрольні заміри.

Верстат з ЧПУ дозволяє виконати повний цикл обробки не зупиняючи процес, при цьому відхилення від заданих розмірів чи шорсткості поверхні визначаються технічними характеристиками верстата.

Проте, складне улаштування верстата з ЧПУ передбачає велику кількість похибок пересувань вузлів, які відслідковуються схемою внутрішнього моніторингу верстата. Сумарна похибка має комплексний вид і являє собою функцію численності змінних. Зняття параметрів з датчиків при виникненні тої чи іншої похибки та порівняння цих показників з референтними можуть бути вихідними даними для розробки заходів зі зменшенню сумарної похибки. Більшість робіт в сучасній технічній літературі присвячені питанням дослідження формування похибок, що випливають з принципів внутрішньої побудови верстатів. Більшість досліджень присвячені питанням прогнозування та вимірювання зношення інструменту за допомогою різноманітних методів [1, 2] . Автори пропонують за показниками потужності шпинделя прогнозувати зношення інструменту. В деяких роботах досліджується вібраційний вплив на процес різання [3] . Вимірювання вібрації також дозволяє провести математичне моделювання для подальшого передбачення шорсткості поверхні, що обробляється, та таким чином вплинути на зменшення сумарної похибки [4] .

Всі ці дослідження аналізують отримані похибки в процесі виготовлення безпосередньо на верстаті тільки апаратними методами. У той же час, незважаючи на значну кількість наукових публікацій, що присвячені дослідженню цієї проблеми, в технічній літературі дуже мало приділено уваги (в деяких питаннях і зовсім не досліджено) іншим аспектам процесу розробки та виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ, в частині впливу інших факторів на сумарну похибку виготовлення.

Отже автором цієї статі пропонується розглянути причини виникнення похибок виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПУ та шляхи їх усунення не тільки в процесі самого фрезерування деталі на виробничому обладнанні, а і на етапах проектування конструкції, розробки управляючих програм (УП) для оброблювального центру та розрахунку режимів різання та їх взаємозв'язок. Зважаючи на це, запропонована структура сумарної похибки виготовлення деталей, що впливає на загальну якість виробу, на верстаті з ЧПУ може бути представлена в формі, як зображено на рисунку 1.

© Юшков А. Г.

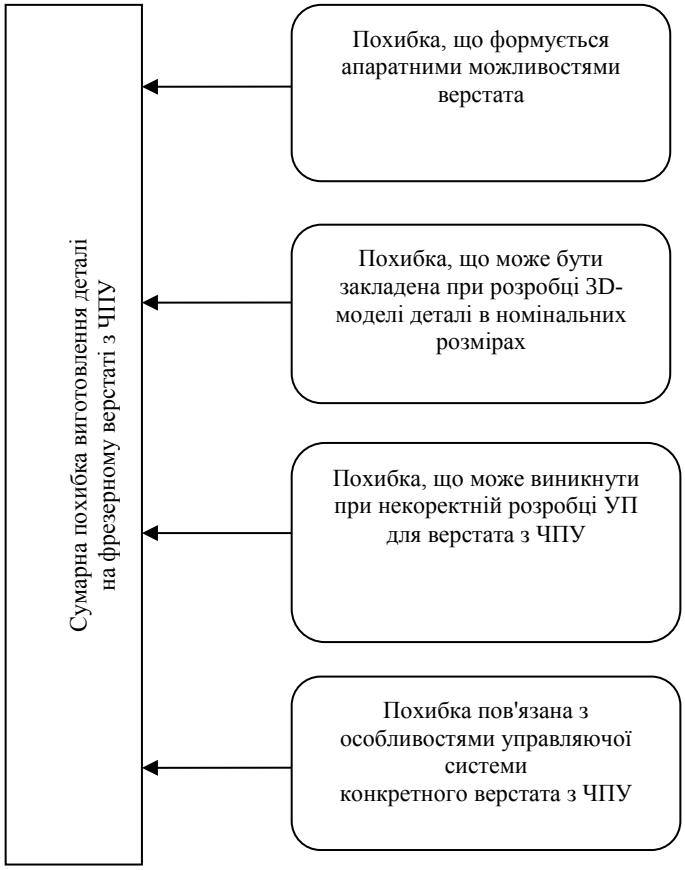


Рис. 1. Структура сумарної похибки виготовлення деталі на фрезерному верстаті з ЧПУ

На першому етапі розробки та виготовлення для проектування деталей використовується CAD система. CAD-система (computer-aided design) - це програмне забезпечення, яке автоматизує роботу інженера-конструктора та дозволяє вирішувати задачі проектування виробів та оформлення технічної документації за допомогою комп'ютера.

На другому етапі потрібна розробка УП для верстата з ЧПУ. Для сучасних верстатів з ЧПУ існує три метода програмування обробки та створення УП: ручне програмування; програмування на стійці управляючої системи верстату з ЧПУ; програмування за допомогою САМ-системи.

Ручне програмування це тривалий, монотонний та одноманітний процес.

За своєю продуктивністю та якістю ручне програмування програє методу за допомогою системи автоматизованого проектування (САМ-система).

При програмуванні на стійці управляючої системи верстата з ЧПУ програма створюється безпосередньо на екрані стійці, використовуючи клавіатуру верстата.

Програмування за допомогою системи автоматизованого проектування (САМ-система) найпрогресивніший, зручний та самий швидкісний метод розробки УП серед існуючих на даний момент. САМ-система (computer-aided manufacturing) – це програмне забезпечення за допомогою якого автоматизують розрахунки траєкторії переміщення інструменту для обробки на верстатах з ЧПУ та забезпечують створення УП за допомогою комп'ютера.

При аналізі взаємодії CAD/CAM-системи та верстата з ЧПУ за основу були взяті CAD-система SolidWorks компанії Dassault Systemes та CAM - система SolidCAM з інтегрованим модулем інтелектуальної обробки iMachining компанії SolidCAM Ltd., тому що вона являє собою комплексну CAM-систему, яка призначена для програмування верстатів з ЧПУ в середовищі SolidWorks. CAM-система SolidCAM з інтегрованим модулем iMachining повністю вбудовується до CAD SolidWorks, при цьому зберігається повна асоціативність між траєкторією руху інструмента та 3D- моделлю. Всі переходи, необхідні для обробки деталі, можуть бути визначені та перевірені безпосередньо у вікні CAD-системи, без виходу із параметричного середовища побудови спроектованої деталі, що само по собі зменшує похибку в кінцевому результаті.

© Юшков А. Г.

При використанні стратегії iMachining, як і при високошвидкісних обробках, відбувається видалення невеликого припуску, однак траєкторія цим модулем створюється таким чином, що врізання інструмента йде на повну глибину з постійним зняттям припуску сталої товщини. За рахунок цього, а також ефективно використовуючи різальну довжину інструмента та потужності верстата, підвищується продуктивність обробки [5].

Модуль iMachining може аналізувати конструктивні особливості деталі для зменшення холостих проходів, що сприяє зменшенню часу обробки [6].

При цьому видалення стружки зі сталою товщиною забезпечує зменшення перепадів навантаження, що виникають в процесі різання, та призводить до збільшення терміну служби верстата [7] . Для розрахунку траєкторії в модулі iMachining необхідно вказати параметри верстата: максимальні оберти шпінделя, максимальну подачу, потужність та ін., також необхідно вказати тип матеріалу, що обробляється, та параметри інструменту. На базі цього визначаються оптимальні режими різання (в межах технічних характеристик конкретного верстата). Це дозволяє скоротити час на розробку програми та технологічну підготовку виробництва [8].

Запропонована автором статті загальна структурна схема взаємодії CAD/CAM-системи та верстата з ЧПУ представлена на рисунку 2.

Зазвичай проектування за технічним завданням відбувається виходячи з вимог оптимальної конструкції, умов зручності складання виробу, його ремонту та експлуатаційних характеристик. Конструктор, як правило, зважає на можливий спосіб виробництва деталей, виходячи з того, що вони можуть бути виготовлені на різноманітному універсальному обладнанні. Тому використовує номінальні розміри для розробки 3D-моделі деталі (за винятком сполучених поверхонь, до яких пред'являється особлива точність

виготовлення), не зважаючи на закладені допуски, зазначені в конструкторській документації (КД) на даний виріб.

Номінальний розмір (D) це розмір, відносно якого визначаються граничні розміри та який слугує також началом відліку відхилень.

Граничні розміри (Dмах, Dmin) це два допускні розміри, між якими повинен знаходитись або може дорівнювати дійсний розмір.

Відхилення (ES - верхнє відхилення, EI – нижнє відхилення) це алгебраїчна різниця між розміром (дійсним чи граничним) та відповідним номінальним розміром.

Дійсний розмір це розмір, що встановлений вимірюванням з допустимою похибкою.

Зв'язок між наведеними параметрами виражається наступними формулами:

$$D_{max} = D + ES$$

$$D_{min} = D + EI$$

Отже різниця між максимальним та мінімальним граничними розмірами або між верхнім та нижнім відхиленнями і є допуск (TD), в рамках якого може бути виконаний дійсний розмір:

$$TD = D_{max} - D_{min} = ES - EI$$

При виготовлені деталей на універсальному обладнанні отримання дійсного розміру в межах заданого допуску (TD) супроводжується періодичним зупиненням обладнання, а іноді і зняттям заготівки з верстату, для контрольного вимірювання розмірів. Якщо ця сама деталь виробляється на верстаті з ЧПУ, зупиняти та знову перезапускати програму не раціонально, а в деяких випадках і неможливо зовсім. Тому важливо, щоб граничні розміри (Dмах, Dmin) деталі були враховані конструктором при розробці в CAD-системі 3D-моделі, по якій в подальшому технолог-програміст буде писати програму для обробки на верстаті з ЧПУ. При цьому бажано, щоб лінійні та кутові розміри 3D-моделі були посередині допуску (TD), зазначеному в конструкторській документації (КД), а зовнішня та внутрішня різі були відображені гладкими отворами в розмірах діаметрів під нарізання відповідних різей. Такий підхід дасть можливість на другому етапі (рис.2) при розробці УП для верстата з ЧПУ позбавити технолога-програміста від рутинних механічних розрахунків, необхідних для цього, та мінімізувати вплив недостатньої жорсткості системи верстат – приладдя – інструмент – деталь (ВПІД), тому як похибки від пружних деформацій системи ВПІД, не відповідності конструкції та точності приладдя (може складати десяті долі міліметра), типу інструмента технічним характеристикам конкретного верстата з ЧПУ (зазвичай точність верстатів такого типу складає не більше 0,01 мм) складає в окремих випадках до 80% загальної похибки механічної обробки.

© Юшков А. Г.

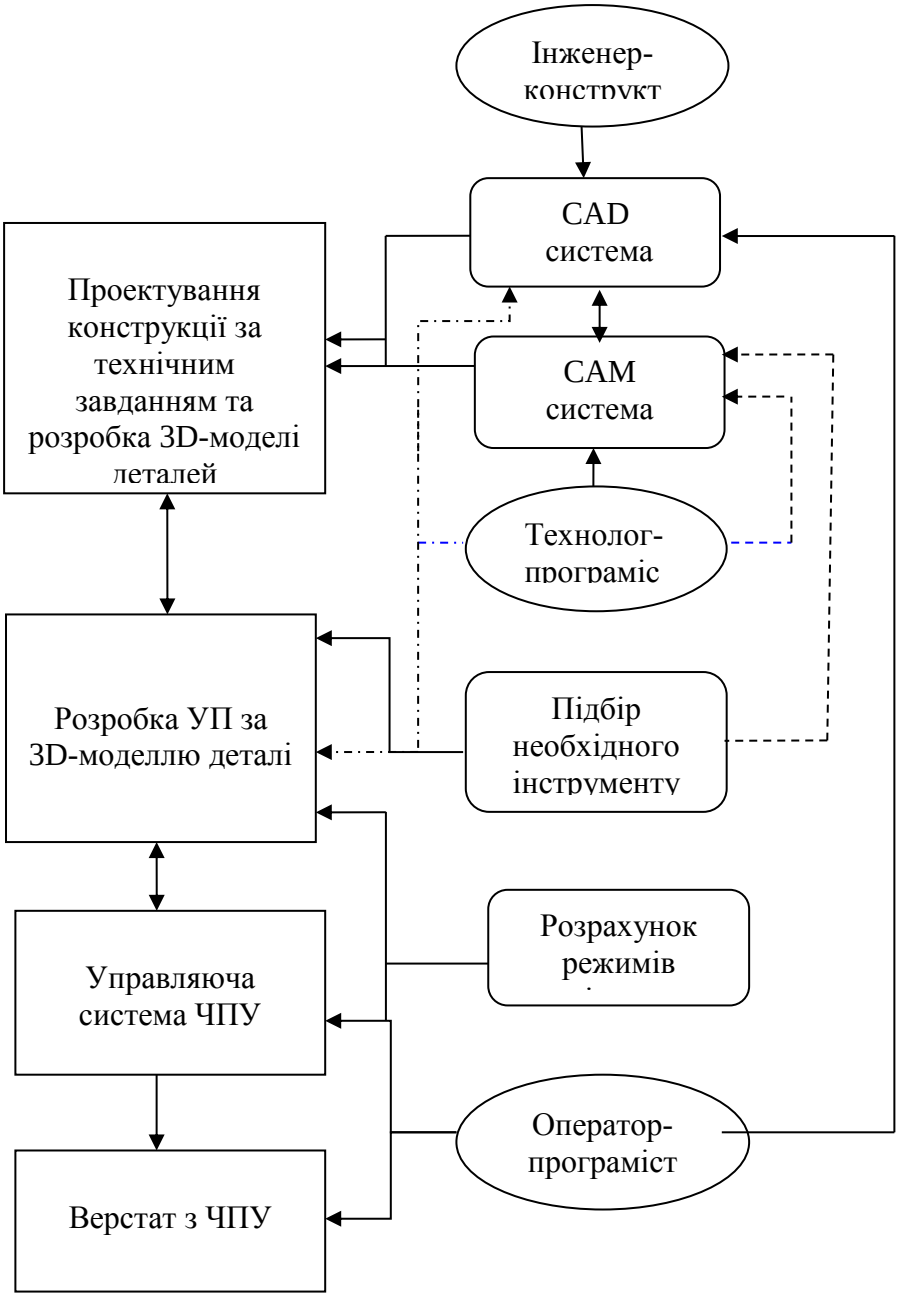


Рис. 2. CAD/CAM система – верстат з ЧПУ

Наступний крок полягає в розробці УП для верстата з ЧПУ. З трьох методів розробки УП найоптимальнішим є метод програмування за допомогою CAM-системи, яка в декілька разів прискорює роботу технолога-програміста в порівнянні з ручним написанням програми, а використання інтегрованого модуля iMachining додатково полегшує цю роботу, при цьому, як вже було зазначено, важливо вказати параметри верстата, інструмента та матеріалу, що обробляється. Технолог-програміст вказує послідовність обробки деталі, а програма автоматично розраховує режими різання. В підсумку точність виготовлення деталі буде залежити тільки від закладених в програму параметрів, що не завжди задовольняє вимогам розробленої конструкції.

Щоб досягти необхідної точності та якості деталей, що виготовляються на верстатах з ЧПУ, необхідно втручання технолога-програміста, тому що в програму закладаються лише загальні параметри різання, такі як частота обертів шпинделя (N, об/хв), подача стола верстата (F, мм/хв) та діаметр фрези (D, мм). Однак на сумарну похибку виготовлення деталей на верстаті з ЧПУ найбільше впливає не просто частота обертів шпинделя (N) та діаметр фрези (D), а швидкість різання, яка визначається за формулою:

$V = \pi \times D \times N / 1000$ (об/хв)

© Юшков А. Г.

Тобто на похибку при обробці впливає правильне співвідношення частоти обертів шпинделя та діаметру інструмента.

Також необхідно мати на увазі кількість зубів фрези (Z), що використовується при конкретній обробці, тому що дуже велике значення має такий параметр, як подача на зуб, який залежить не тільки від точної кількості зубів конкретної фрези, а і від загальної подачі стола верстата (F) та розраховується за формулою:

$fz = F / N \times Z$ (мм/зуб)

Значення подачі на зуб повинне знаходитись в розрахунковому співвідношенні з таким параметром як подача на оберт, що визначається за формулою:

$fn = F / N$ (мм/об)

Таким чином, оптимальне поєднання таких параметрів різання, як діаметр фрези (D), швидкість різання (V), подача на зуб (fz), подача на оберт (fn) та, якщо програма розроблена по 3D-моделі, виконаної в номінальних розмірах, зазначених в КД, має в кінцевому результаті відобразитися на точності виготовлення та шорсткості поверхонь, що обробляються.

Для того щоб досягти найвищої точності та якості деталі, що виробляється на верстаті з ЧПУ, технолог-програміст не повинен покладатися на параметри обробки, запропоновані автоматично модулем iMachining, а провести інженерні розрахунки за наданими формулами і відкоригувати розроблену програму в частині значних відхилень відповідних параметрів.

До цього треба додати необхідність точного визначення матеріалу інструмента. Фрези виготовляються з матеріалів (інструментальні сталі, швидкорізальні сталі, тверді сплави) що дуже сильно відрізняються між собою за механічною стійкістю, швидкістю зношення, стійкістю до високих температур тощо. Також для різного матеріалу, що обробляється на верстаті з ЧПУ, фрези використовуються різні за конструкцією, розмірами і таке інше. Тому не менш важливо технологу-програмісту зважати на цей аспект і своєчасно корегувати програму під конкретний інструмент.

Після розробки та верифікації УП технологом-програмістом наступним кроком є встановлення програми на управляючу систему верстата з ЧПУ, після чого можна приступати до роботи. Зазвичай так і робиться і оператор верстата тільки контролює процес виготовлення, не маючи можливості вплинути на нього (часто оператор не має достатньої кваліфікації для цього).

Аналіз даного питання показує, що це не зовсім вірно, тому що похибка виготовлення, пов'язана з особливістю конкретного верстата з ЧПУ, дасться взнаки в кінцевому результаті. Тому важливо щоб оператор володів навичками ручного програмування на стійці управляючої системи верстату з ЧПУ для оперативного корегування процесу виготовлення деталі.

В підсумку можна зробити висновок, що всупереч традиційних підходів до аналізу похибки виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПУ, точність та якість кінцевої продукції залежить не тільки від апаратних параметрів роботи обладнання (точність позиціонування, повторюваність, зношеність обладнання тощо), а і від похибок на етапах розробки 3-D моделі деталі, що виготовляється, написання програми та особливостей управляючої системи конкретного верстата з ЧПУ (рис.1). Також, як можна бачити на рис.2, в процесі виготовлення деталі, починаючи від її проектування і розробки технології, приймають участь декілька спеціалістів (інженер-конструктор, технолог-програміст, оператор верстата з ЧПУ). І коли при серійному виготовленні продукції цей поділ абсолютно виправданий (за умови що до цього розроблена програма для верстата з ЧПУ була відпрацьована на цьому верстаті з конкретним приладдям та інструментом), то вразі опитного виробництва (виготовлення дослідних зразків чи дослідних партій) або одиничного виробництва (чи разове виготовлення виробу) це не дуже раціонально з точки зору максимальної мінімізації сумарної похибки проектування та виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ. Тому в такому випадку для досягнення більш якісного результату (при менших витратах часу) дуже бажано, щоб розробку 3-D моделі деталі, УП для верстата з ЧПУ і управління системою верстата (при необхідності поточного корегування програми) здійснював один спеціаліст достатньої кваліфікації.

Таким чином, запропонований підхід та рекомендації до процесу розробки конструкції, написання управляючої програми до верстата з ЧПУ та методів фрезерування деталей дозволить максимально зменшити сумарну похибку виготовлення виробу.

References.

1. Jain A.K., Lad B.K. A novel integrated tool condition monitoring system. *Journal of Intelligent Manufacturing*. June 2017. P. 1-14.
2. Nitin Ambhore, Dinesh Kambleb, Satish Chinchanikar, Vishal Wayal. Tool condition monitoring system: A review. Materials Today: Proceedings 2.2015. P. 3419-3428.
3. Alonso F.J., Salgado D.R. Analysis of the structure of vibration signals for tool wear detection. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Issue 3. 2008. P. 735-748.

© Юшков А. Г.

4. Rao K.V., Murthy B.S.N., Rao N.M. Cutting tool condition monitoring by analyzing surface roughness, work piece vibration and volume of metal removed for AISI 1040 steel in boring. *Measurement*, 2013. P. 4075-4084.

Список бібліографічного опису.

1. Ловигін А.А. SolidCAM: наша сила в iMachining. Планета CAM. URL : http:// planetacam.ru/articles/ exclusive/solidcam_nasha_sila_v_ machining/
2. Somekh E. Design with SolidWorks. Manufacture with SolidCAM. Bielefeld: VDW-Nachwuchssiftung GmbH, 2015. 230 p. ISBN 978-3-942817-28-8.
3. Старков В.К. Фізика та оптимізація різання матеріалів. М.: Машінобудування, 2009. 640 с.
4. Самарцев А.А. Imachining 3D. Логічний розвиток технології. CADmaster, 2013. №2(69). С. 60-63

© Юшков А. Г.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-28
УДК 681.3.082.5
Арпентій Сергій Петрович, старший науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0003-3326-3942
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ПРИ ОБРОБЦІ ПОТОКОВИХ ДАНИХ

Арпентій С. П. Особливості застосування розподілених обчислень при обробці потокових даних. Проведено аналіз сучасних алгоритмів потокової обробки масивів цифрових даних та методик формалізації зазначених процедур з метою побудови відповідного математичного апарату. Побудовано узагальнену схемупотокової передачі масивів даних та схему апаратно-програмного комплексу хмарного сервісу. Вказано на особливості організації апаратно-програмного комплексу мережевого вузлавідповідно до архітектурирозподіленої інформаційної системи. Вказанона задачі, що мають бути вирішені з метою оптимізації зазначеної структури, зокрема задачу налаштування графіка обробки запитів відповідно до особливостей роботи загального комплексу та задачуналаштування алгоритмів паралельної обробки. Розроблено спеціалізовану математичну модель розподіленої інформаційної системи апаратно-програмного комплексу хмарного сервісу, що складається з центрального обчислювального вузла іпериферійних обчислювальних вузлів, та включає у себе параметри відповідних компонент, функції відображення процедури розгортання завдання і функції маршрутизації потоку вхідних даних. На базі побудованої математичної моделі розроблено методикупроведення розрахункупоказників пропускної здатності і часу затримки при обробці запитів користувачів хмарного сервісу, що запропоновано розглядати як показники цільових функцій
Ключові слова: хмарний сервіс, апаратно-програмний-комплекс, розподілена інформаційна система, маршрутизація потоку даних, розгортання завдання, пропускна здатність каналу, графік завдань.

Арпентий С. П. Особенности применения распределенных вычислений при обработке потоковых данных. Проведен анализ современных алгоритмов потоковой обработки массивов цифровых данных и методик формализации данных процедур с целью построения соответствующего математического аппарата. Построена обобщенная схема потоковой передачи массивов данных и схема аппаратно-программного комплекса облачного сервиса. Указаны особенности организации аппаратно-программного комплекса сетевого узла согласно архитектуры распределенной информационной системы, а также задачи, которые должны быть решены в целях оптимизации указанной структуры. В частности рассмотрена задача настройки графика обработки запросов в соответствии с особенностями работы общего комплекса и задача настройки алгоритмов параллельной обработки. Разработана специализированная математическая модель распределенной информационной системы аппаратно-программного комплекса облачного сервиса, которая состоит из центрального вычислительного узла и периферийных вычислительных узлов, и включает в себя параметры соответствующих компонент, функции отображения процедуры развертывания задачи и функции маршрутизации потока входных данных. На базе построенной математической модели разработана методика проведения расчета показателей пропускной способности и времени задержки при обработке запросов пользователей облачного сервиса, которые рассматриваются как показатели целевых функций.
Ключевые слова: облачный сервис, аппаратно-программный комплекс, распределенная информационная система, маршрутизация потока данных, развертывание задачи, пропускная способность канала, график задач.

Arpentii Sergii. Peculiarities of the application of distributed computing for processing streaming data. The analysis of modern algorithms for streaming processing of digital data arrays and methods for formalizing the procedures in order to build an appropriate mathematical apparatus is provided. The generalized scheme of streaming data arrays and the scheme of the hardware-software complex of the cloud service are built. The features of the organization of the hardware and software complex of the network node according to the architecture of the distributed information system, as well as the tasks that must be solved in order to optimize the specified structure are indicated. In particular, the problem of optimizing the schedule for processing requests in accordance with the peculiarities of the operation of the general complex and the problem of optimizing algorithms for parallel processing are considered. A specialized mathematical model of a distributed information system of a hardware-software complex of a cloud service has been developed.The model consists of a central computing node and peripheral computing nodes, and includes the parameters of the corresponding components, functions for displaying the task deployment procedure and routing functions for the input data flow. On the basis of the constructed mathematical model, the method for calculating the indicators of throughput and delay time when processing requests from users of the cloud servicehas been developed, which are considered as indicators of objective functions.
Key words: cloud service, hardware and software complex, distributed information system, routing of data flow, task deployment, channel capacity, task schedule.

Вступ. Протягом останніх двох десятиріч значною мірою актуалізувалися мегатренди цифровізації та віртуалізації процедур обробки великих масивів даних[1-4]. Розвиток глобальної мережі Інтернет та локальних мереж і способів мобільної передачі даних, а також поява мережевих сервісів (зокрема, хмарних платформ) призвів до появи парадигми «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT) та «Інтернету всього» (Internet of Everything, IoE). Концепції, що лежать в основі зазначених парадигм, з одного боку, принципово розширюють функціональні можливості мережевих інформаційних систем (Network Information Systems, NIS), а з іншого боку — призводять до експоненційного росту вимог до параметру перепускності мережевих каналів та вимог до обчислювального ресурсу комплексу [5, 6], що, зокрема, пов'язано з необхідністю розгортання

© Арпентій С. П.

комплексної та цілісної методології захисту «чутливих» даних (Sensitive Information, SI), що формалізується через політику захисту даних від втрат (Data Leakage Prevention, DLP). Зазначені тенденції вказують на необхідність оптимізації процесу передачі даних шляхом застосування математичних алгоритмів потокової обробки даних (Data Stream Processing, DSP). Запропонований підхід дозволяє формалізувати задачу обробки даних на рівні побудови комплексної схеми оптимізації відповідних алгоритмів, які базуються на визначенні екстремумів цільових функцій, що вказує на *актуальність* даного дослідження.

Аналіз сучасних досліджень у галузі потокової обробки даних включав у себе роботу з публікаціями у фахових журналах та масиви статистичних даних[1-6]. У результаті аналізу було визначено переваги системної обчислювальної моделі процедури потокової обробки масивів даних, що працює зі вхідними запитами у режимі реального часу [7-11]. Пріоритет було надано підходам, що включають у себе централізацію компонент потокової обробки даних (Data Streaming Centralized Components, DSCC), зокрема роботу з мережевими середовищами структурованої потокової передачі даних «Spark Streaming» [9-10]. Особливості зазначеного підходу полягають у застосуванні алгоритмів обробки вхідних запитів з більшою пропускною здатністю і, відповідно,мінімізацією показника затримки [9-11]. Аналіз також включав у себе роботу з моделямиграничних мережевих середовищ, зокрема такими як то оверлейні мережі, а відповідно імоделях розгортання вузла обробки потокових даних та його оптимізації через зменшення навантаження на обчислювальний ресурс загальної системи і перепускність каналу передачі даних та застосування запиту подібності [12, 13]. Крім цього у аналіз було включено методи організації багатоетапної процедури роботи з потоковими даними [14-16] і методики стабілізації виконання мережевих алгоритмів шляхом включення принципу реплікації даних [9-11, 17, 18].

Проведений аналіз вказав на необхідністьузагальнення методик побудови мережевих алгоритмів для роботи з потоковими даними шляхомпроведення розподілених обчислень, що було виділено як ***невирішену частину загальної проблеми***.

Таким чином, ***метою роботи*** стала розробка цілісної методології оптимізації процедури організації розподілених обчислень при роботі з потоковими даними шляхом обчислення екстремумів цільових функцій пропускної здатності і часу затримки при обробці вхідних запитів.

1. Загальні принципи потокової передачі масивів даних у рамках хмарного сервісу

Математичне моделювання процедури потокової передачі масивів даних базується на визначенні форматів та об'ємів даних, з якими працює мережевий ресурс, актуальних підходів побудови програмних алгоритмів і апаратних засобів реєстрації, передачі, обробки та збереження даних. Так, аналіз показує зростання загальних об'ємів цифрових даних, що передаються через глобальні і локальні мережі пов'язано з наступними ключовими факторами у сфері інформаційних технологій (ІТ):

- розробка і активне впровадження дешевих, компактних та високоякісних систем аудіо-, фото- та відеореєстрації;
- експоненційний ріст тактової частоти центральних процесорів (central processor, CP), поява мультипроцесорних систем та багатоядерних процесорів;
- експоненційний ріст щільності запису носіїв інформації (оптичних, магнітних та твердотільних накопичувачів);
- експоненційний ріст перепускності мережевих каналів;
- поява форматів стиснення цифрових мультимедійних даних (аудіофійлів, зображень та відеоданих).

Вказаний перелік включає у себе фактори розширення можливостей для передачі і обробки даних та водночас і фактори появи критичних обмежень на перепускність інформаційних каналів загальної системи. Для визначення «вузьких місць» по відношенню до конкретної задачі необхідно побудувати базову схему потокової передачі і обробки вхідних даних. Таким чином, з метою формалізації зазначених процедур на математичному рівні пропонується ввести наступні позначення (для прикладу представлено схему роботи з графічними даними та відеоданими):

- множина робочих станцій представлена набором A: $\{A_n\}$, де $n \in [1; N]$, кожен з елементів якого, у свою чергу, представляє собою набірпараметрів $\{A_n^k\}$ (середня тактова частота CP, кількість CP, кількість ядер, ядерний коефіцієнт, тощо), де $k \in [1; K]$для $\forall n \in [1; N]$;
- множина об'єктів масиву потокових данихB: $\{B_l\}$, де $l \in [1; L]$, кожен з елементів якого, у свою чергу, представляє собою набірпараметрів $\{B_l^m\}$ (кількість кольорових каналів, динамічний діапазонкольорового каналу, розмір кадру, розмір відеофрагменту, кількість кадрів у відеофрагменті, тощо), де $l \in [1; L]$ для $\forall m \in [1; M]$;

© Арпентій С. П.

- функція що моделює завантаження робочої станції при обробці вхідних запитів $F_A(A_n)$;
- функція стиснення відповідно форматувхідних данихі алгоритму стиснення$F_B(B_l)$.

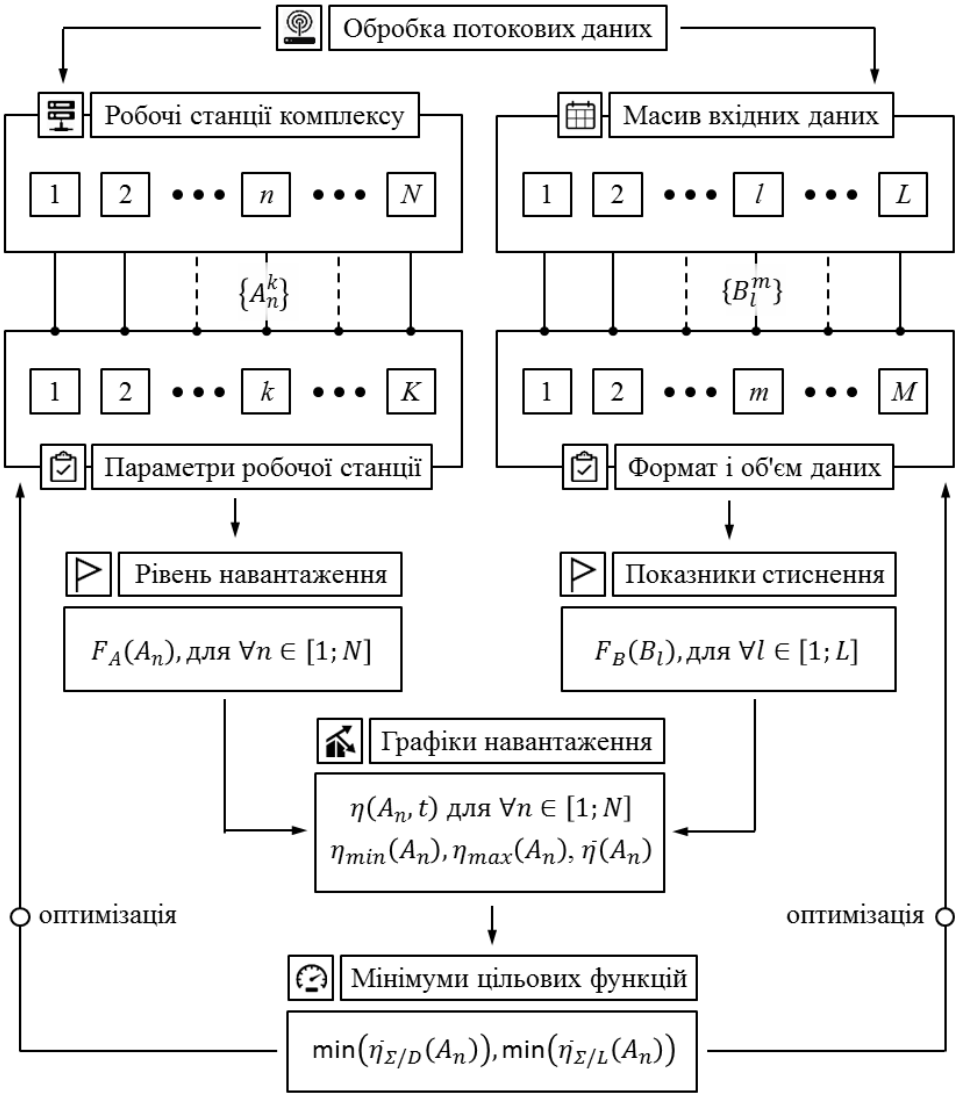


Рис. 1. Базова схема організації та оптимізації процедури потокової передачі масивів даних

Відповідно до побудованого математичного апарату можна визначити графіки навантаження для кожною з робочих станцій $\eta(A_n, t)$від часу, а також отримати набори мінімальних, максимальних і середніх значень. Відповідно до цього необхідно обрахувати усередненні значення затримки $\bar{\eta}_{\Sigma/D}(A)$ та втрат$\bar{\eta}_{\Sigma/L}(A)$ для загальної системи аналізу, пошук мінімумів яких, відповідно, надалі дозволить оптимізувати процедуру обробки вхідних потокових даних (рис. 1).

Аналіз сучасних мережевих систем обробки потокових даних, що працюють з великими масивами вхідних даних, вказує на надмірний рівень затримки і втрат. Це пов'язано з нестабільністю навантаження на вузол координації обробки запитів, що, у свою чергу пов'язано з архітектурою апаратно-програмної платформи типового хмарного сервісу. На сьогоднішній день найбільш ефективним підходом вирішення поставленого завдання є організація розподіленої інформаційної системи (Distributed Information System, DIS) шляхом застосування стандартної методики периферійних обчислень (Edge Computing, ES).

© Арпентій С. П.

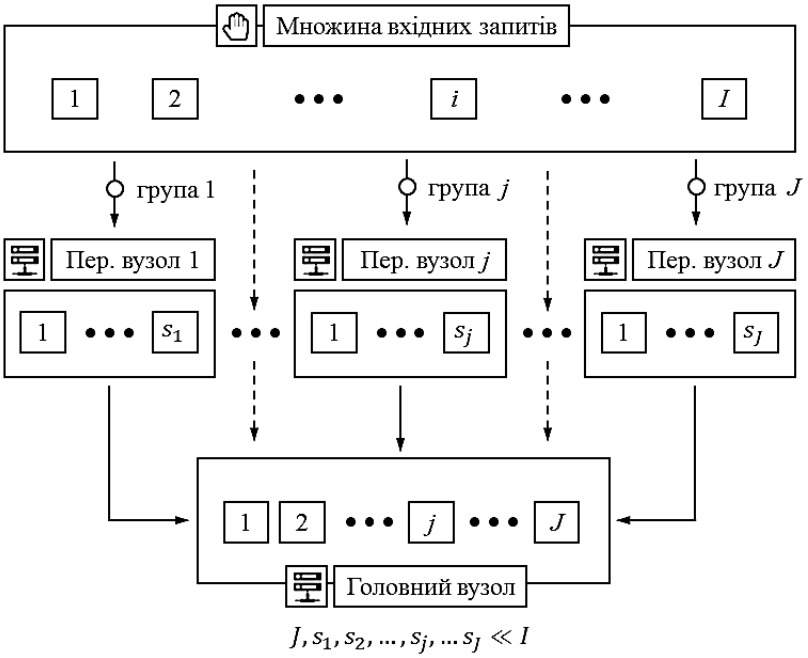


Рис. 2. Узагальнена схема організації розподіленої інформаційної системи обробки потокових даних

Відповідно методики DIS повний набір вхідних запитів $\{q_i\}$, де $i \in [1; I]$, має бути поділено на J груп запитів (набір $\{Q_j\}$), причому кількість елементів у кожній групі $\forall j \in [1; J]$ визначається через набір $\{s_j\}$. І якщо у випадку класичної організації інформаційної системи перепускність каналу визначається через максимально можливе значення I, для DIS шляхом ускладнення архітектури і організації периферійних вузлів перепускність окремого каналу можна зменшити до$max(J, s_1, s_2, \dots, s_j, \dots s_J) \ll I$, як це показано на рис. 2.

При цьому має бути вирішена задача рівномірного розподілу периферійних вузлів відносно обчислювальних ресурсів робочих станцій та задача узгодження процедур обробки запитів при обробці потокових даних. Слід зазначити, що у рамках DIS-архітектури один запит може оброблятися кількома периферійними вузлами, що характеризуються різними показникамиобчислювальної потужності і, відповідно, часу затримки. Це зумовлює впровадження алгоритмів паралельної обробки потокових даних. При цьому узгодження графіка виконання процедур обробки запитів включає у себе етап розгортання завдань з фіксованою маршрутизацією потоку та введення політики потокової маршрутизації з фіксованим розташуванням окремих завдань, причому аналіз складності завдання враховує необхідність виконанняхзазначенихетапіввідповідно мети мінімізації параметри затримки обробки вхідного запиту.

2. Математичне моделювання та оптимізація виконання процедури маршрутизації потоків даних

Математичне моделювання апаратно-програмного комплексу з архітектурою DIS, що складається з одного центрального вузла ($j = 0$) та $j \in [1; J]$ периферійних вузлів, включає у себе формалізацію наступних параметрів:

- набір запитів, що підлягають обробці (множина $\{q_i\}$, де $i \in [1; I]$);
- потік даних, що включає у себе набір елементів $\{d_i\}$(де $d_i \in [d_i^1; d_i^{N_i}]$), який має бути оброблено при виконанні завдання q_i для всіх $i \in [1; I]$;
- копія потоку даних, що включає у себе набір елементів $\{\mathrm{c}_i\}$, для якихc$_i \in [\mathrm{c}_i^1; \mathrm{c}_i^{K_i}]$), яка може бути розгорнута при виконанні завдання q_i для всіх $i \in [1; I]$;
- перепускність $\sigma(d_i)$, що характеризує затримку при обробці потоку даних $\{d_i\}$ та перепускність окремого вузла обробки даних σ_j (для $\forall j \in [0; J]$);
- матриця$M(i, j)$ затримки міжвузлом потоку даних $\{d_i\}$ та іншими вузлами;
- функція $\vartheta(i, j, \mathrm{c}_i)$ відображення процедури розгортання копії c_i на окремому вузлі j;
- функція $\theta(i, d_i, \mathrm{c}_i)$відображення процедури маршрутизації потокових данних d_i через копію c_i.

© Арпентій С. П.

Відповідно, розгортання копії c_i визначається за допомогою функції $\vartheta(i,j,c_i)$, що співвідносить завдання, копію потоку та вузол. Якщо функція приймає значення $\vartheta(i,j,c_i)=1$ на відповідному вузлі розгортається одна копія, у протилежному випадку, коли функція $\vartheta(i,j,c_i)=0$ — копія не розгортається. Формалізувати множину значень функції та визначення K_i можна за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\left[\begin{array}{l} \vartheta(i,j,c_i)\in\{0;1\} \\ K_i=\sum_{j=0}^{J}\left(\sum_{i=1}^{I}\vartheta(i,j,c_i)\right) \end{array}\right. . \quad (1)$$

Аналогічно, функція $\theta(i,d_i,c_i)$ застосовується для відображення процедури маршрутизації потокових данних d_i через копію c_i завдання, що підлягає обробці. Якщо функція приймає значення $\theta(i,d_i,c_i)=1$ відбувається маршрутизація потоку d_i, а коли функція $\theta(i,d_i,c_i)=0$ — маршрутизація потоку d_i не відбувається. На рівні побудови математичного апарату це формалізується як:

$$\theta(i,d_i,c_i)\in\{0;1\} \text{ для } \forall q_i,d_i,c_i \text{ де } i\in[1;I]\,. \quad (2)$$

Запропонований підхід на базовому рівні дозволяє провести розрахунок та, відповідно, оптимізувати параметри обробки потокових даних відповідно споживання обчислювальних ресурсів, перепускності обчислювальних вузлів а також рівню затримки під час обробки вхідних запитів.

З метою розширення функціональності побудованої моделі слід ввести поняття ресурсу каналу, що відображатиметься функцією $R(i,j,c_i)$. Відповідна величина характеризує ресурс, що використовується для виконання системою функцій прийому та передачі потокових даних. Якщо копія c_i запиту q_iпо обробці потокових даних d_iрозгорнута на вузлі j',функція $R(i,j,c_i)$, що обчислюється через функцію $\vartheta(i,j,c_i)$ і перепускність $\sigma(d_i)$, визначатиме ресурс, що споживається копією c_i на всіх вузлах $\forall j\neq j'$:

$$\begin{cases} R(i,j,c_i)=\sum_{d_i}\left(\sigma(d_i)\cdot\vartheta(i,j,c_i)\right) \\ j\neq j' \end{cases} . \quad (3)$$

Повне значення спожитого ресурсу каналу при передачі потокових даних на вузлі j у рамках обробки запиту q_i має бути меншим за перепускність вузла. Тому необхідно визначити максимальне значення ресурсу каналу $R_{max}(i,j,c_i)$,при цьому сумарне значення ресурсу, що споживається запитом вузлом j —$R_{\Sigma}^{j}(i,j,c_i)$таіншими вузлами — $R_{\Sigma}^{+}(i,j,c_i)$, має бути меншим або дорівнювати $R_{max}(i,j,c_i)$:

$$\begin{cases} R_{\Sigma}^{j}+R_{\Sigma}^{+}\leq R_{max}(i,j,c_i) \\ \left[\begin{array}{l} R_{\Sigma}^{j}(i,j,c_i)=\sum_{d_i\in\{d_i^j\}}\left(\sum_{c_i\in[c_i^1;c_i^{K_i}]}\left(\vartheta(i,j,c_i)\cdot R(i,j,c_i)\right)\right) \\ R_{\Sigma}^{+}(i,j,c_i)=\sum_{d_i\notin\{d_i^j\}}\left(\sum_{c_i\in[c_i^1;c_i^{K_i}]}\left(\vartheta(i,j,c_i)\cdot R(i,j,c_i)\right)\right) \end{array}\right. \end{cases} . \quad (4)$$

Аналогічним чином на основі функції $\theta(i,d_i,c_i)$ і матриці$M(i,j)$ затримки міжвузлом потоку даних $\{d_i\}$ та іншими вузлами можна розрахувати значення затримки при виконанні запитів:

$$S(i,d_i,c_i)=\sum_{d_i\notin\{d_i^j\}}\left(\theta(i,d_i,c_i)\cdot M(i,j)\right). \quad (5)$$

Сумарна затримка при обробці всіх запитів системи, що може бути використана як цільова функція оптимізація процесу обробки потокових даних, відповідно розраховуватиметься як:

© Арпентій С. П.

$$S_{\Sigma} = \sum_{i\in[1;I]} \left(\sum_{c_i \in \left[c_i^1; c_i^{K_i}\right]} \left(\sum_{j\in[0;J]} \left(\vartheta(i,j,c_i) \cdot S(i,d_i,c_i) \right) \right) \right). \quad (6)$$

Таким чином, задача оптимізація роботи системи обробки потокових даних апаратно-програмним комплексом хмарного сервісу може бути вирішена через вирішення математичної задачі пошуку мінімуму цільової функції $min(S_{\Sigma})$для всіх $i \in [1; I]$, $c_i \in \left[c_i^1; c_i^{K_i}\right]$ та $j \in [0; J]$

Висновки. В результаті проведеного дослідження було визначено сучасні тенденції у області реєстрації, обробки, передачі та зберігання великих об'ємів даних. Проведено аналіз сучасних алгоритмів потокової обробки масивів цифрових даних та методик формалізації процедур обробки і передачі даних з метою побудови ефективної математичної моделі. Побудовано узагальнену схему потокової передачі великих масивів графічних даних і відеоданих, а також схему апаратно-програмного комплексу хмарного сервісу, що базується на архітектурі розподіленої інформаційної системи. Вказано на особливості організації апаратно-програмного комплексу мережевого вузла відповідно до схеми розподіленої інформаційної системи, вказано на задачі, що мають бути вирішені з метою оптимізації зазначеної архітектури. Проведено аналізоптимізації налаштування графіка обробки запитів відповідно до особливостей роботи загального комплексу обробки потокових даних та вирішення задачі налаштування алгоритмів паралельної обробки. Розроблено математичну модель розподіленої інформаційної системи апаратно програмного комплексу хмарного сервісу, що складається з центрального обчислювального вузла і периферійних обчислювальних вузлів, та включає у себе параметри складових архітектури, функції відображення процедури розгортання завдання і функції маршрутизації потоку вхідних даних. На базі побудованої математичної моделі розроблено методику проведення розрахунку часу затримки при обробці запитів користувачів хмарного сервісу, що запропоновано розглядати як показники цільових функцій.

References.

1. Hummer, W., Satzger, B., & Dustdar, S. (2013). Elastic stream processing in the cloud. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 3*(5), 333-345. doi:10.1002/widm.1100.
2. Zeadally, S., Das, A. K., & Sklavos, N. (2019). Cryptographic technologies and protocol standards for Internet of Things. *Internet of Things,* 100075. doi: 10.1016/j.iot.2019.100075.
3. Li, J., Pu, C., Chen, Y., Gmach, D., & Milojicic, D. (2016). Enabling elastic stream processing in Shared Clusters. *2016 IEEE 9th International Conference on Cloud Computing (CLOUD).* doi:10.1109/cloud.2016.0024.
4. Akidau, T., et al.: The dataflow model: a practical approach to balancing correctness, latency, and cost in massive-scale, unbounded, out-of-order data processing. In: Very Large Data Bases 2015, vol. 8, pp. 1792–1803 (2015).
5. Kersten, H., & Klett, G. (2014). Data leakage prevention. Heidelberg: Mitp.
6. Löhel, J. (2014). *Data Leakage Prevention: Der Einsatz von Datenträgerverschlüsselung zur erweiterten Absicherung der mobilen IT-Nutzung.* Erscheinungsort nicht ermittelbar: Verlag nicht ermittelbar.
7. Soyata T., et al.: Combat: mobile cloud-based compute/communications infrastructure for battlefield applications. *In: Proceedings of SPIE,* vol. 8403, pp. 1–13. https://doi.org/10.1117/12.919146.
8. Mayer-Schonberger, V. (2013). *Big Data.* London: John Murray General Publishing Division..
9. Dixit, A., Choudhary, J., & Singh, D. P. (2018). Survey of Apache Storm Scheduler. *SSRN Electronic Journal.* doi: 10.2139/ssrn.3168564.
10. Ganesan, D. *Apache Spark: Einführung zu Technologie und Anwendung*. (2017). Troisdorf: SIGS DATACOM GmbH..
11. Chintapalli, S., et al.: Benchmarking streaming computation engines: storm, flink and spark streaming. In: International Parallel and Distributed Processing Symposium 2016, pp. 1789–1792 (2016).
12. Rahman, A., Liu, X., & Kong, F. (2014). A survey on geographic load balancing based data center power management in the smart grid environment. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 16*(1), 214-233. doi:10.1109/surv.2013.070813.00183.
13. Jonathan, A., Chandra, A., Weissman, J.B.: Multi-query optimization in wide area streaming analytics. In: Symposium on Cloud Computing 2018, pp. 412–425 (2018).
14. Femminella, M., Pergolesi, M., & Reali, G. (2016). Performance evaluation of edge cloud computing system for big data applications. *2016 5th IEEE International Conference on Cloud Networking (Cloudnet).* doi:10.1109/cloudnet.2016.56.
15. Heintz, B., Chandra, A., Sitaraman, R.K.: Optimizing grouped aggregation in geo-distributed streaming analytics. *In: High Performance Distributed Computing* 2015, pp. 133–144 (2015).
16. Barretto, W., B. Kochem Vendramin, A. C., & Fonseca, M. (2019). RW-Through: A data replication protocol suitable FOR GeoDistributed And Read-intensive workloads. *Workshop Em Clouds E Aplicações*. doi:10.5753/wcga.2019.7592.
17. Yin, F., Li, X., Li, X., & Li, Y. (2019). Task Scheduling for Streaming Applications in a Cloud-Edge System. *Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage Lecture Notes in Computer Science,* 105–114. doi: 10.1007/978-3-030-24900-7_9.
18. Hwang, J., Cetintemel, U., Zdonik, S.B.: Fast and highly-available stream processing over wide area networks. *In: International Conference on Data Engineering 2008,* pp. 804–813 (2008).

© Арпентій С. П.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-29
УДК 004.9
Григоренко Володимир Андрійович, провідний науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0003-0511-3402
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ ЗА ЗРАЗКАМИ КОДОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

Григоренко В. А. Особливості організації алгоритмів пошуку за зразками кодових послідовностей. Проведено аналіз сучасних підходів, що застосовуються при побудові та оптимізації алгоритмів пошуку блоків даних відповідно дозаданих зразків кодових послідовностей.Значна увага приділена вирішенню задачі захисту «чутливих» даних та, відповідно, організації високофункціональної системи забезпечення інформаційної безпеки. З цією метою запропоновано адаптацію математичної моделі атрибутивного пошуку за ключовими словами у відповідності до алгоритмів полегшеного декодування і впровадженню режиму мультиавторизації. На основі вдосконаленого математичного апарату розроблено базові підходи для розробки, оптимізації і проведення оцінки на чисельному рівні алгоритмів пошуку за кодовими послідовностями ключових слів, що надає можливість автоматичного формування методологічних рекомендацій. Система оцінки ефективності і функціональності алгоритмів пошуку базується на обчисленні цільових функцій точності виділення блоку даних у відповідності до вхідного запиту, часу виконання запиту відповідно до середнього рівня затримки, та навантаження на обчислювальний ресурс апаратно-програмного комплексу інформаційної системи центру обробки даних.
Ключові слова:центр обробки даних, системи забезпечення інформаційної безпеки, пошук за ключовими словами, атрибутивне кодування, режим мультіавторізація, мультиваріантний пошук, цільові функції.

Григоренко В. А. Особенности организации алгоритмов поиска по образцам кодовых последовательностей. Проведен анализ современных подходов, применяемых при построении и оптимизации алгоритмов поиска блоков данных в соответствии с заданными образцов кодовых последовательностей. Значительное внимание уделено решению задачи защиты «чувствительных» данных и, соответственно, организации высокофункциональной системы обеспечения информационной безопасности. С этой целью предложено адаптацию математической модели атрибутивного поиска, по ключевым словам, в соответствии с алгоритмами облегченного декодирования и внедрению режима мультиавторизации. На основе усовершенствованного математического аппарата разработаны базовые подходы для разработки, оптимизации и проведения оценки на численном уровне алгоритмов поиска покодовыми последовательностями ключевых слов, предоставляет возможность автоматического формирования методологических рекомендаций. Система оценки эффективности и функциональности алгоритмов поиска базируется на вычислении целевых функций точности выделения блока данных в соответствии с входящего запроса, времени выполнения запроса в соответствии с средним уровнем задержки, и нагрузка на вычислительный ресурс аппаратно-программного комплекса информационной системы центра обработки данных.
Ключевые слова: центр обработки данных, системы обеспечения информационной безопасности, поиск, по ключевым словам, атрибутивное кодирования, режим мультиавторизация, мультивариантный поиск, целевые функции.

Hryhorenko Volodymyr. Peculiarities of the search algorithms organization based on the samples of the code sequences. The analysis of modern approaches used in the construction and optimization of algorithms for searching data blocks in accordance with the given samples of code sequences is carried out. Considerable attention is paid to solving the problem of protecting "sensitive" data and, accordingly, organizing a highly functional information security system. For this purpose, it is proposed to adapt the mathematical model of attributive search by keywords in accordance with the algorithms for lightweight decoding and the implementation of the multi-authorization mode. On the basis of the improved mathematical apparatus, basic approaches have been developed for the development, optimization and evaluation at the numerical level of search algorithms by code sequences of keywords, it provides the possibility of automatic generation of methodological recommendations. The system for evaluating the efficiency and functionality of search algorithms is based on calculating the target functions of the accuracy of the data block allocation in accordance with the incoming request, the query execution time in accordance with the average latency level, and the load on the computing resource of the hardware and software complex of the data center information system.
Keywords: data center, information security systems, keywords search, attributive coding, multi-authorization mode, multivariate search, target functions.

Вступ. Активний розвиток у сфері інформаційних технологій (ІТ), що спостерігається протягом останніх двох десятиріч, зокрема, широке впровадження компактних і дешевих мобільних пристроїв реєстрації і передачі даних, експоненційне зростання параметрів перепускності інформаційних каналів, обчислювального ресурсу інформаційних систем та щільності цифрового запису, поява концепцій граничних і хмарних обчислень, поєднання інформаційних ресурсів у рамках «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT), «Інтернету транспортних засобів» (Internet of Vehicles, IoV) і, зрештою, «Інтернету всього» (Internet of Everything, IoE), призвів до росту інформаційних потоків та необхідності впровадження для центрів обробки даних (ЦОД) принципово нових політик забезпечення інформаційної безпеки. Як зазначається у сучасних дослідженнях [1-3] відповідні політики, у першу чергу, мають базуватися на стратегіях запобігання витокам інформації (Data Leak/Loss Prevention, DLP), що пов'язано з проблемою втрати, так званих, «чутливих» даних (стратегічної інформації, яка може

© Григоренко В. А.

бути використана зловмисниками, для порушення роботи ЦОД або здійснення противоправних дій по відношенню до користувачів відповідного сервісу), що вказує на актуальність даного дослідження.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій у галузі побудови багатофункціональної системи забезпечення інформаційної безпеки вказав на типові недоліки схем шифрування з відкритим ключем при їх адаптації для інфраструктури сучасних ЦОД, що базуються архітектурі розподілених інформаційних систем [4-6], а також пріоритет алгоритмів атрибутивного кодування блоків даних (Attribute Based Encryption, ABE). У рамках застосування алгоритмів ABE можуть бути побудовані наступні політики захисту інформаційного середовища [3, 8-9]:політика атрибутивного кодування на основі криптографічного коду (Cipher-Text Policy, CT) та політика застосування відкритого ключа(Public Key Policy, PK).Було показано, що адаптація ABE-алгоритмів відповідно до CT-політики [1, 7] ефективно застосовуються при організації розподілених інформаційних систем ЦОД, зокрема забезпечує захист «чутливих» даних [10, 15] при роботі у режимі мультиавторизації користувачів сервісу(Multi-AuthorityService, MAS).

Крім того, для побудови математичного апарату і адекватного математичного моделювання процесу машинного пошуку за вхідним набором ключових слів (Keyword Search, KS), зокрема мультиваріантного пошуку (Multi-Keyword Search, MKS) та полегшеного декодування (Light Weight Decryption, LWD)з метою розширення функціоналу користувачів та зменшення навантаження [11, 12] на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи загальної системи ЦОД [3, 13].

Проведений аналіз вказав на необхідність побудови комплексної методології, що може бути використана при розробці, оптимізації та побудові системи оцінки ABE-алгоритмів, що організовано відповідно до CT-політики, що мають бути використані при організації системи захисту інфраструктури ЦОД.

Таким чином, за **мету дослідження** була поставлена розробка методів математичного моделювання процедури атрибутивного кодування у режим імультиваріантного пошуку відповідно до кодових послідовностей ключових слів, що надається користувачем сервісу ЦОД.

1. Методика оптимізації системи захищеного мультиавторизаційного доступу до сервісу ЦОД

Модель сучасної системи захисту процедури мультиавторизаційного доступу до сервісу ЦОД як було показано вище, включає у себе застосування ABE-алгоритміввідповідно до CT-політики, а також MKS- і LWD-алгоритми, а також впровадження MAS-режиму. Узагальнена схема, що надає можливість провести математичне моделювання зазначеної системи захисту «чутливих» даних ЦОД у рамках стратегії DLPпредставлена на рис. 1.

Як показано на схемі, застосування MKS- та ABE-алгоритмів, що адаптуються до CT-політики, збільшує точність виконання запиту по вхідному набору кодових послідовностей(ключових слів) за умов забезпеченням конфіденційності. У свою чергу застосування LWD-алгоритмів призводить до зниження рівня навантаження на обчислювальні ресурси ЦОД, а мультиавторизаційний доступ надає можливість застосувати схеми балансування навантаження відповідно структури апаратно-програмної платформи ЦОД та графіку надходження запитів від користувачів сервісу.

Слід окремо зазначити, що конкретна схема системи захисту ЦОД у рамках політики DLP розробляється відповідно до поставлених задач та обмежень, таким чином, функціональні елементи, зазначені на рис. 1 можуть бути вилучені або модифіковані, що необхідно врахувати при побудові математичної моделі. Оцінка її ефективності при цьому може бути визначена на чисельному рівні відповідно до показників цільових функцій.

© Григоренко В. А.

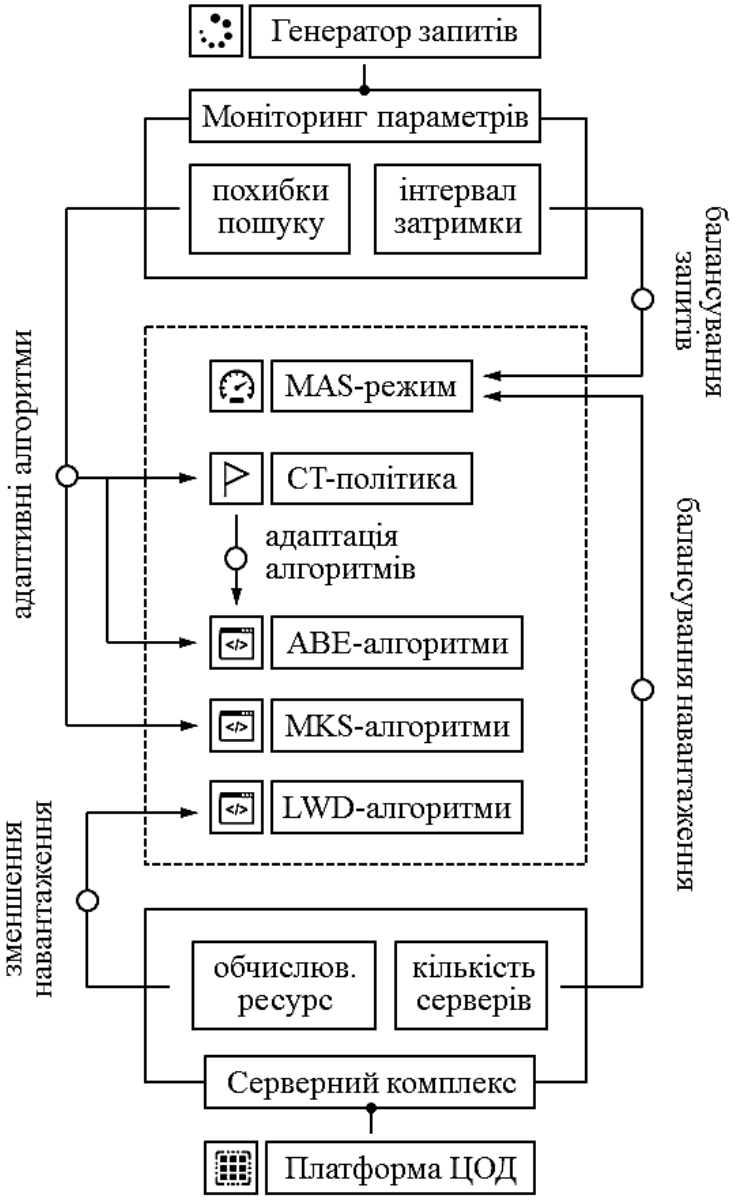


Рис. 1. Узагальнена схема побудови математичної моделі системи захисту мультиавторизаційного доступу до сервісу ЦОД

2. Побудова архітектури системи розподіленої інформаційної системи у рамках концепції IoT

У рамках даного дослідження математичну модель розподіленої інформаційної системи ЦОД пропонується побудувати відповідно загальних принципів концепції IoT. У рамках зазначеного підходу системі моніторингу відповідатиме агрегатор даних, що надходять від сенсорних вузлів інформаційної системи (Owner of Sensor Nodes Data,OSN).Аналогічно архітектура включає у себе центр ідентифікації користувачів сервісу (CertificateAuthorityCenter, CAC), що генерує адресу і глобальний ідентифікатор користувача (GlobalID, GID) та атрибутивні центри (Attribute Authority Centers, AAC), що генерують відкриті атрибутивні ключі користувача (Attribute Public Key, APK) і закриті атрибутивні ключі користувача (Attribute Secret Key,ASK). Ефективність роботи ЦОД визначається перепускністю інформаційних каналів, ємністю інформаційних сховищ та потужністю обчислювальних ресурсів, відповідно до статистичних значень (середнє, медіана, пікове, тощо) навантаження відповідно до графіку надходження запитів користувачів по пошуку за кодовими послідовностями ключових слів. Базове налаштування політики DLPзумовлює необхідність моніторингу максимального об'єму даних кожного користувача, що є доступним для аналізу відповідно початкових домовленостей у рамках угоди. Система захисту ЦОД виконує процедури декодуванню даних, що передаються разом з запитом користувача у закритому атрибутивному ключі, що у свою чергу базується на адресі користувача згідно зналаштуванням GID. На основі декодованого ASK у системі автоматично формується код доступу (рис. 2).

© Григоренко В. А.

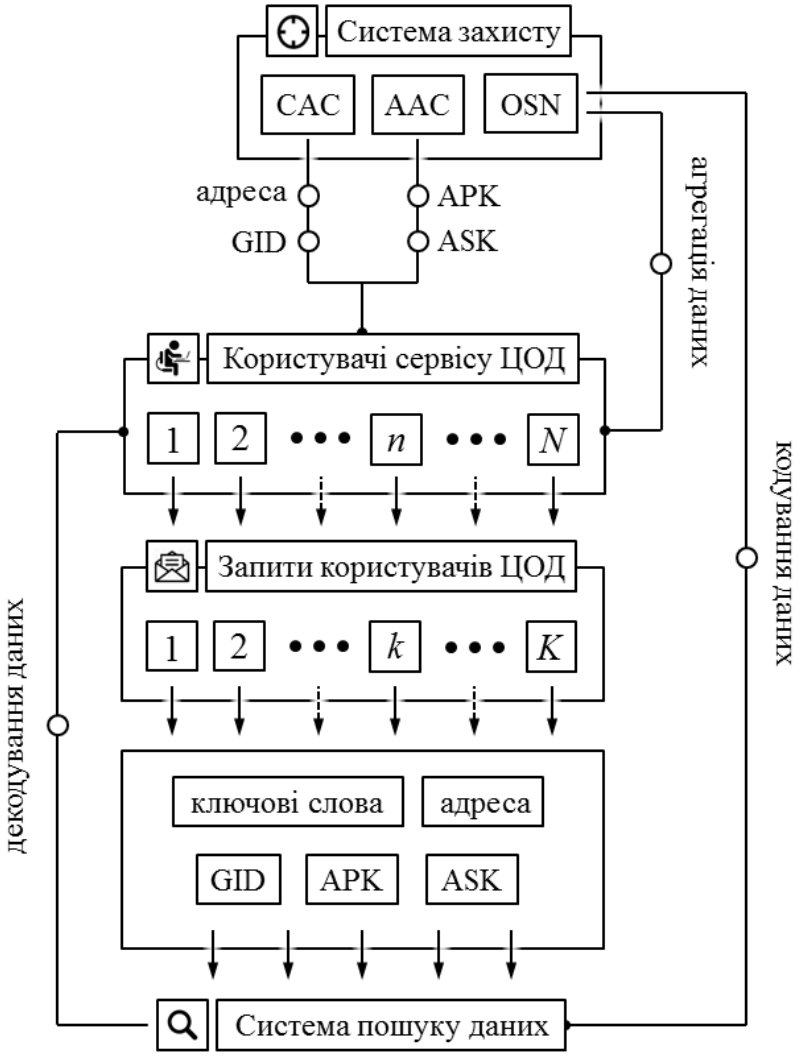


Рис. 2. Модель роботи системи захисту процесу передачі даних на базі атрибутивних центрів і центрів ідентифікації

Представлена схема вказує на необхідність формалізації процедури захисту процесу передачі даних у мультиавторизаційному середовищі ЦОД на рівні побудови відповідного математичного апарату, що базуватиметься на таких функціях і параметрах як:

F_{Σ} — функція налаштування загальної системи захисту;

S_C — параметр стійкості протоколу передачі кодування послідовностіGID від зламу сторонніми особами;

набір відкритих параметрів $\{P_m\}$, де $m \in [1; M]$;

K_S — послідовність, що відповідає закритому ключу;

P_{GID}— послідовність GID.

Таким чином основа математичного апарату складатиме визначення залежності функції налаштування загальної системи захисту, атрибутом якої є параметр стійкості протоколу передачі кодування від набору відкритих параметрів, закритого ключа та GID: $F_{\Sigma}(S_C) \sim F(\{P_m\}, K_S, P_{GID})$.

3. Математичне моделювання процедури пошуку і передачі даних у середовищі сервісу ЦОД

Як було показано у попередньому розділі, математичне моделювання процедури захисту процесу передачі даних на базі атрибутивних центрів і центрів ідентифікації базується функції налаштування загальної системи захисту, що визначається через набір відкритих параметрів, закритий ключ таGID-послідовності. Набір відкритих параметрів$\{P_m\}$, у свою чергу визначається через функцію авторизації F_A:

© Григоренко В. А.

$$F_A(P_m) \sim F\left(K_P^{i,j}, K_S^{i,j}\right), \text{ для } \forall m \in [1; M], \text{ де } i \in [1; I], j \in [1; J]. \quad (1)$$

У рамках запропонованої схеми $K_P^{i,j}$ і $K_S^{i,j}$ — відкриті і закриті атрибутивні ключі, де через параметр J визначає загальну кількість атрибутивних центрів, а I — загальну кількість атрибутів.

Організація моделі захисту, таким чином, зумовлює необхідність побудови для кожного атрибута $i \in [1; I]$ атрибутивного ключа K_S^i, що формується на основі GID-послідовності:

$$K_S^i(P_{GID}) \sim F^i\left(K_P^{i,j}, K_S^{i,j}, \{P_m\}, P_{GID}\right) \text{ для } \forall i \in [1; I]. \quad (2)$$

Введемо функцію F_C кодування вхідного коду $\{C\}$, політику доступу P_A набір кодових послідовностей ключових слів $\{K\}$. Якщо закодований текст представити як послідовність $\{A_C\}$, що формуєтьсяна базі вхідних даних $\{A\}$та параметру захисту кодування P_C, процес кодування даних з метою захисту можна формалізувати на математичному рівні:

$$\{A_C(\{A\}, P_C)\} \sim F_C\left(\{C\}, \{K\}, \{P_m\}, K_P^{i,j}, P_A\right). \quad (3)$$

Відповідно код доступу визначається на базі параметрів закритого ключа, набору ключових слів і відкритих параметрів. Крім того модель включає у себе функцію ключ перетворення (transformationkey), що будується на основізакритого ключа, а також функції пошуку, що базується на множинах $\{A_C\}$ і $\{K\}$ та приймає набір значень $\{0; 1\}$ (де значення «1» відповідає виконанню запиту, а значення «0» блокує процедуру кодування).

Представлена математична модель може бути використана як методологічна база для побудови алгоритмів захищеного мультиваріантного пошуку наборам кодових послідовностей у середовищі ЦОД на основі визначення екстремумів цільових функцій точності виділення блоку даних у відповідності до вхідного запиту, часу виконання запиту відповідно до середнього рівня затримки, та навантаження на обчислювальний ресурс інформаційної системи ЦОД.

Висновки. В результаті проведеного дослідження було визначено та класифіковано сучасні підходи, що застосовуються при побудові та оптимізації алгоритмів пошуку блоків даних відповідно до заданих зразків кодових послідовностей ключових слів у середовищі ЦОД. Було показано, що вирішення задачі захисту «чутливих» даних користувачів ЦОДбазується на організації високофункціональної системи забезпечення інформаційної безпеки. Запропоновано методи побудови математичної моделі атрибутивного пошуку за кодовими послідовностями у відповідності до алгоритмів полегшеного декодування і впровадженню режиму мультиавторизації. Запропонований математичний апаратвключає у себе базові підходи для розробки, оптимізації і проведення оцінки алгоритмів пошуку, що надає потенційну можливість автоматичного формування методологічних рекомендацій.

References

1. Bhattacharjee, A., Borgohain, S. K., Soni, B., Verma, G., &Gao, X.-Z. (2020). Machine Learning, Image Processing, Network Security and Data Sciences Second International Conference, Mind 2020, Silchar, India, July 30 - 31, 2020, Proceedings, Part Ii. Springer Singapore.
2. Bracciali, A., Clark, J., Pintore, F., Rønne, P. B., &Sala, M. (2020). Financial Cryptography and Data Security Fc 2019 International Workshops, Voting and Wtsc, St. Kitts, St. Kitts and Nevis, February 18-22, 2019, Revised Selected Papers. Springer International Publishing.
3. Bonneau, J. (2020). Financial cryptography and data security: 24th international conference, Fc 2020, Kota Kinabalu, Malaysia, February 10-14, 2020: revised selected papers. Springer.
4. Long, J., Zhang, K., Wang, X., & Dai, H.-N. (2019). Lightweight Distributed Attribute Based Keyword Search System for Internet of Things. Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage Lecture Notes in Computer Science, 253–264. doi: 10.1007/978-3-030-24900-7_21.
5. Huang, D., Dong, Q., & Zhu, Y. (2020). Comparable Attribute-Based Encryption. Attribute-Based Encryption and Access Control, 19–42. https://doi.org/10.1201/9781351210607-2
6. Fuzzy identity and attribute based encryption for fine grained access control of encrypted data. (2018). International Journal of Modern Trends in Engineering & Research, 5 (7), 23–26. doi: 10.21884/ijmter.2018.5172.m7iz2.
7. Qiuxin, W. (2014). A generic construction of ciphertext-policy attribute-based encryption supporting attribute revocation. China Communications, 11 (13), 93–100. doi: 10.1109/cc.2014.7022531.
8. Zhenpeng, L., Xianchao, Z., &Shouhua, Z. (2014). Multi-authority Attribute Based Encryption with Attribute Revocation. 2014 IEEE 17th International Conference on Computational Science and Engineering.doi: 10.1109/cse.2014.343.
9. Li, Q., Feng, D., & Zhang, L. (2012). An attribute based encryption scheme with fine-grained attribute revocation. 2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM).doi: 10.1109/glocom.2012.6503225.

© Григоренко В. А.

10. Yang, Y., Chen, X., Chen, H., & Du, X. (2018). Improving Privacy and Security in Decentralizing Multi-Authority Attribute-Based Encryption in Cloud Computing. IEEE Access, 6, 18009–18021. doi: 10.1109/access.2018.2820182.
11. Rane, D. D., &Ghorpade, V. (2015). Multi-user multi-keyword privacy preserving ranked based search over encrypted cloud data. 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC)
12. Zhang, W., Lin, Y., Xiao, S., Wu, J., Zhou, S.: Privacy preserving ranked multi-keyword search for multiple data owners in cloud computing. IEEE Trans. Comput. 65 (5), 1566–1577 (2016).
13. Belguith, S., Kaaniche, N., &Russello, G. (2018). Lightweight Attribute-based Encryption Supporting Access Policy Update for Cloud Assisted IoT. Proceedings of the 15th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications.doi: 10.5220/0006854601350146
14. Wei, J., Liu, W., Hu, X.: Secure and efficient attribute-based access control for multiauthority cloud storage. IEEE Syst. J.12 (2), 1731–1742 (2018).

© Григоренко В. А.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-30
УДК: 004.413.5
Костючко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-1262-6268
Кирилюк Людмила Миколаївна, асистент
https://orcid.org/0000-0002-8279-3133
Абрамович Владислав Вікторович, студент
Бобилєв Максим Олександрович, студент
Петрук Богдан Михайлович, студент
Луцький національний технічний університет

AR-APPLICATIONS BY MEANS OF UNITY AND C#

Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б. AR-програми за допомогою Unity та C #. У даній роботі розглядаються та порівнюються різні гральні рушії. Виявляються їх переваги та недоліки і на основі зібраних даних робляться висновки у вигляді виділення, із списку порівнюваних рушіїв, найкращого. Також робиться короткий огляд існуючих рішень і методів роботи з доповненою реальністю.
Ключові слова: Unity, AR-applications, Marmalade, Corona, ShiVa3D, Flash.

Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобылев М., Петрук Б. AR-applications by means of Unity and C#. В данной работе рассматриваются и сравниваются различные игровые двигатели. Выявляются их преимущества и недостатки и на основе собранных данных делаются выводы в виде выделения из списка сравниваемых двигателей, лучшего. Также делается краткий обзор существующих решений и методов работы с дополненной реальностью.
Ключевые слова: Unity, AR-applications, Marmalade, Corona, ShiVa3D, Flash.

Kostiuchko S., Kyryliuk L., Abramovych V., Bobylev M., Petruk B. AR-applications by means of Unity and C#. In this paper, different gaming engines are considered and compared. Their advantages and disadvantages are revealed and on the basis of the collected data conclusions are made in the form of selection, from the list of the compared engines, the best. There is also a brief overview of existing solutions and methods of working with augmented reality.
Keywords: Unity, AR-applications, Marmalade, Corona, ShiVa3D, Flash.

Introduction

The technology's development in the 21st century is indescribably fast. Every year at world technology conferences we see a huge number of new things. There are so many of them and their scale can be so large that humanity may simply not be ready to accept this or that technology. Due to the fact that people are not ready, and most importantly, developers are not ready, many bold decisions remain undisclosed to the end. That is why it is necessary to constantly improve the educational system so that it has time to train specialists worthy of their time. One such technology is Augmented Reality (AR). This technology has a direct vector for the future. Its application can be easily represented in navigation. For example, using a smartphone (equipped with a camera), you can easily find the right way, even if you have problems navigating the map. This result can be achieved through the synchronous operation of global positioning systems loaded on a smartphone, maps, and algorithms that can link data from the map to the image obtained from the smartphone's camera. As a result, we will be able to see a dedicated path (for example, a green line) that will be projected into reality and indicate the user's required path.

Review of game engines

Marmalade

© Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б.

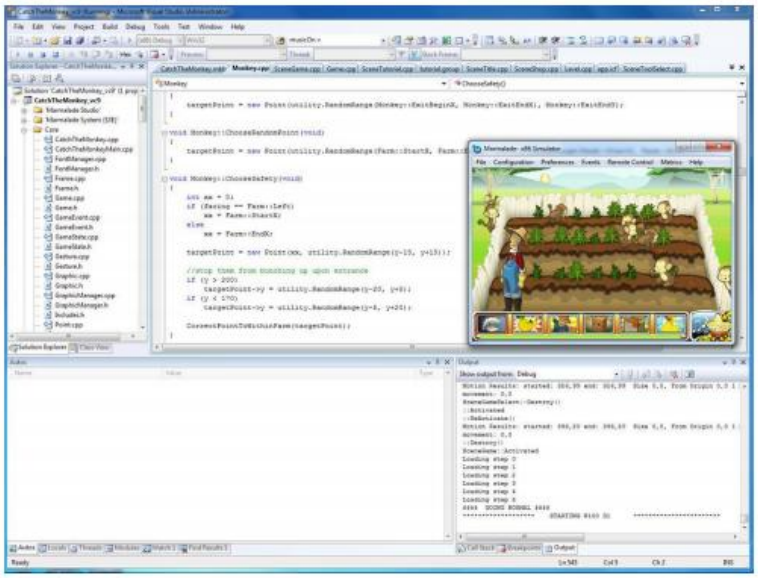


Fig.1 – Marmalade

Demo version: 90-day test copy available for non-commercial use. This game engine is a fairly professional tool for serious gaming. Marmalade has a rather complex interface (Figure 1), which emphasizes the need to have a high level of developer training. Among the games created on its basis are the following: Pro Evolution Soccer (PES) 2011 and Need for Speed Shift. Such examples are quite popular and high quality, from well-known companies that have used Marmalade, based on its professional qualities. However, Marmalade is not the engine, but the environment for creating their engines (example below). In addition, it allows you to use various C/C++ libraries available from the developer (or in the public domain).

Corona

Fig.2 – Corona

Corona is a 2D engine for creating simple games on mobile platforms in the spirit of Angry Birds. Corona has a simple interface (Figure 2), which greatly simplifies the game development process. An example is the Bubble Ball, written by a 14-year-old boy from America.

© Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б.

Corona has a fairly extensive API for all occasions, which will allow you to easily implement all the needs of the developer. However, everything in the API is impossible to predict and it is likely that sooner or later the developer will want to use some native (familiar to a particular platform) feature of Android or IOS. Disappointment will be waiting for the developer here - Corona does not have such opportunities. However, there is good news for flash developers. The creators of the engine claim that those who write flash games, it is not difficult to switch to Corona, so they are very similar.

Unity3d

Fig.3 – Unity3d

Unity3d also allows you to use its limited functionality for free for an unlimited time period. Unity3d has absorbed a bunch of different interesting technologies used in professional and well-known engines.

The engine has many built-in features, as well as a number of interesting third-party plugins that greatly expand the functionality. In addition, you can use libraries written in the native language of the platform (say Java for Android), which is very important for serious projects. Also in the arsenal of Unity3d is a visual editor with a huge number of various settings. The Unity3d interface is quite functional, although it remains intuitive, which greatly expands the range of user experience (Figure 3). The main advantage of Unity3d is its ability to easily create applications or games on multiple platforms.

ShiVa3D

© Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б.

Fig.4 – ShiVa3D

ShiVa3D is an engine with a built-in visual editor (as in Unity3d). To implement multiplatform, the engine uses Marmelade (see above). The engine has many built-in features: there are third-party plug-ins and the ability to use libraries written in the native language of the platform (say Java for Android).

Flash

Recently, there was a fresh version of AIR, which has the ability to develop for iOS, Android and BlackBerry PlayBook. The new version has brought more stability and performance. Although among the demonstration of the capabilities of the engine were listed only the usual programs (not games). It is also not yet possible to use native libraries. And the API itself is also very poor in capabilities.

After reviewing some well-known game engines, it was decided to use the Unity engine. This decision is based on the following criteria:

• Cost. Using Unity for their own purposes, the developer uses it for free;

• Programming languages. C# and JavaScript are fairly common uses.

• Functional. Because Unity supports the ability to download plugins, the functionality of this engine can be unlimited.

• Interface. The Unity interface is quite intuitive, which makes it easier to work with.

• Multiplatform.

Thanks to Unity, you can easily and efficiently create games and applications on a large number of well-known platforms.

Mobile augmented reality systems

Mobile augmented reality systems include mobile applications for phones. The use of mobile phones for augmented reality has both advantages and disadvantages. Most mobile devices are now equipped with cameras, which makes the mobile phone one of the most convenient platforms for the implementation of augmented reality systems. In addition, most modern phones have additional built-in sensors such as accelerometers, magnetometers and GPS receivers, which can improve the performance of AR applications. In mobile augmented reality (AR), users look at the direct image obtained from the camcorder on their mobile device and the scenes they see (ie the real world) are enriched (supplemented) by integrated three-dimensional virtual objects (ie augmented reality objects). This technology has a huge potential in such areas as advertising, navigation, entertainment, cultural and exhibition sphere, etc. If a virtual object is simply superimposed on a real image, and not integrated into it, then to create an augmented reality environment can be used additional sensors present in modern mobile devices, such as accelerometer, compass, GPS. Using location information, the user can navigate the world of augmented reality. If virtual objects have a direct connection to the real world, greater than just a global position, such as a virtual building built

© Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б.

on a real wasteland, then such augmented reality requires additional information, such as the boundaries of the wasteland and its size. Obtaining this additional information is usually achieved by means of special markers or by means of special recognition functions.

Such markers can be: an image that was prepared in advance, elementary three-dimensional shapes or objects that can be recognized by additional algorithms.

Overview of existing technologies for working with AR

OpenCV is a library of open source computer vision, image processing, and numerical algorithms. Implemented in C/C++, also developed for Python, Java, Ruby, Matlab, Lua and other languages. Can be used freely for academic and commercial purposes - distributed under the terms of the BSD license. Vuforia SDK is mobile software that allows you to create augmented reality applications. It uses computer vision technology to recognize and track flat images and simple 3D objects in real time. This image registration capability allows you to determine the location and orientation of virtual objects, such as 3D models, in the real world when viewed through a mobile camera. The position and orientation of a virtual object is tracked in real time, so that the viewer's point of view on the object is correlated with their point of view on the image, so that it seems that the virtual object is part of the real world scene. The Vuforia SDK supports a variety of 2D and 3D target types, including unmarked targets. Additional features of the SDK include localized occlusion detection using "virtual buttons, target selection images, and the ability to create and modify target sets programmatically at runtime. Vuforia provides APIs for C++, Java, Objective-C, and .Net languages. There is an extension to the Unity game engine, so the SDK supports both native iOS and Android languages, and allows you to develop augmented reality applications in Unity that can be easily ported to both platforms. That's why applications developed using Vuforia are compatible with A wide range of mobile devices, including iPhone, iPad, Android phones and tablets running Android version 2.2 or higher and ARMv6 or 7 processor with FPU ARToolkit is a computer tracking library for creating applications with augmented reality. For this purpose, it uses the capabilities video surveillance, calculation of the real state and orientation of the camera in relation to the square physical marker in the mode flax time. When the actual state of the camera is known, the virtual camera can be located at the same point and the 3D model is superimposed on the real marker. So ARToolKit solves two key problems in augmented reality: sight tracking and virtual interaction of objects. ARToolKit was originally developed by the Hirokazu Kato Nara Institute of Science and Technology in 1999 and was released at HIT University Laboratory, Washington. It currently operates as an open source project on SourceForge with a commercial license available from ARToolWorks. ARToolKit is very widely used (a library with more than 160,000 downloads since 2004). Metaio SDK is a ready-made library for creating augmented reality mobile applications. Uses OpenGl uses SLAM methods for more accurate operation 47 String - a library for creating mobile applications focused on iOS devices.

Conclusion.

A review of existing applications has shown the main trends in the development of augmented reality technology. This technology is developing very rapidly nowadays and can be used in many areas. Analysis of applications has shown that they are now mainly either entertaining or narrowly focused. The focus of such applications is on their capabilities when interacting with the environment and the user. Given this, we can conclude that the relevance of the dissemination of knowledge on the development of applications that use augmented reality, among students. A review of alternatives based on the most important criteria showed that the best environment for developing the system is Vuforia. Vuforia is a free library, constantly updated, allows you to work with both native applications and create cross-platform programs using a special game engine Unity.

References.

1. S. Kostiuchko and V. Tchaban, "Variational Method of Auxiliary Equations in Nonlinear Systems Analysis and Synthesis Problems," *2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CPEE47179.2019.8949123.

© Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б.

2. S. Kostiuchko, O. Kuzmych, A. Aitouche, S. Grinyuk and O. Mekush, "Application of Parametric Sensitivity Method to Analysis of Automatic Mooring Winch with Electric Drive System," *2019 4th Conference on Control and Fault Tolerant Systems (SysTol)*, Casablanca, Morocco, 2019, pp. 294-299, doi: 10.1109/SYSTOL.2019.8864751.
3. Ronald T. Azuma A Survey of Augmented Reality // In Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1997. – No 4. – P. 355–385.
4. Miika Tikander. Development and evaluation of augmented reality audio systems: Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. – Helsinki, 2009.
5. Joseph Rozier. Hear&There: An Augmented Reality System of Linked Audio / Joseph Rozier, Karrie Karahalios, Judith Donath // Online Proceedings of the ICAD,2009
6. Karrie Karahalios. GaitAid Virtual Walker for Movement disorder patients Augmented Reality, 2007
7. Dan Morris. Visuohaptic Simulation of Bone Surgery for Training and Evaluation / Dan Morris, Christopher Sewell, Federico Barbagli // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2006.

© Костючко С., Кирилюк Л., Абрамович В., Бобилєв М., Петрук Б.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-31
УДК: 004.71
Костючко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-1262-6268
Кирилюк Людмила Миколаївна, асистент
https://orcid.org/0000-0002-8279-3133
Протасюк Андрій Русланович, студент
Кривдік Олег Андрійович, студент
Романюк Денис Сергійович, студент
Луцький національний технічний університет

МОНІТОРИНГ ПРОГРАМ НА КЛАСТЕРІ RASPBERRY PI

Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдік О., Романюк Д. Моніторинг програм на кластері Raspberry Pi. У цій статті йдеться про програми моніторингу, розгорнуті в кластері Kubernetes, що працює на Raspberry Pi, зокрема про інфраструктуру моніторингу. Важливо зазначити, що, хоча у цій статті основна увага приділяється платформі Raspberry Pi, більша частина описаного, крім спеціальних областей ARM, застосовується до інших апаратних платформ.
Ключові слова: Raspberry Pi, кластер, Prometheus, Elasticsearch, Kibana, Telegraf.

Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдик А., Романюк Д. Мониторинг программ на кластере Raspberry Pi. В этой статье речь идет о программах мониторинга, развернутые в кластере Kubernetes, работающий на Raspberry Pi, в частности об инфраструктуре мониторинга. Важно отметить, что, хотя в этой статье основное внимание уделяется платформе Raspberry Pi, большая часть описанного, кроме специальных областей ARM, применяется к другим аппаратных платформ.
Ключевые слова: Raspberry Pi, кластер, Prometheus, Elasticsearch, Kibana, Telegraf.

Kostiuchko S., Kyryliuk L., Protasyuk A., Kryvdik O., Romaniuk D. Monitoring of programs on the Raspberry Pi cluster. This article discusses the monitoring programs deployed in the Kubernetes cluster running on the Raspberry Pi, including the monitoring infrastructure. It is important to note that, although this article focuses on the Raspberry Pi platform, much of what is described applies to other hardware platforms in addition to special ARM areas.
Keywords: Raspberry Pi, cluster, Prometheus, Elasticsearch, Kibana, Telegraf.

Вступ

Будь-яка виробнича програма потребує хорошого стека моніторингу. Для більшості програм це включатиме поєднання журналів та показників.

Метрики реєструються програмою для відстеження таких речей, як частота запитів, частота помилок та тривалість запиту. Метрики корисні для швидкого виявлення проблем - наприклад, надмірного рівня помилок або неприйнятної тривалості запиту. Метрики не визначають, що спричинило конкретну проблему, лише те, що сталася подія проблеми. Prometheus – це фреймворк, який надає додатку можливість записувати та зберігати метрики за відносно низькою вартістю.

Реєстрація, як правило, включає запис у файл або stdout. Записи журналу зазвичай містять такі речі, як мітки часу та деталі події, що сталася. Наприклад, запис журналу може містити інформацію про неправильно сформований HTTP-запит і містити інформацію про клієнта-запитувача, а також інформацію про те, що саме було не так із запитом. Таким чином, журнали дуже хороші для розслідування та вирішення проблем.

І метрики, і ведення журналу мають місце в моніторингу додатків. Метрики мають мінус щодо входу, оскільки вони не містять контексту, а лише інформацію про те, що щось сталося. На відміну від цього, журнали можуть надавати контекст, необхідний для розслідування та усунення неполадок. Недоліком журналювання є те, що контекст є дорогим порівняно з метриками. Показники дуже малі, часто це лише мітка, число та позначка часу. Журнали можуть бути досить об'ємними, інциденти може бути порівняно важко попередити з журналу.

Існує ряд ресурсів, що охоплюють філософію та механіку моніторингу. Два чудові ресурси – це посібник Google SRE, зокрема Глава 6: Моніторинг розподілених систем . Weaveworks має чудові результати щодо використання метрик з Prometheus та Grafana.

Огляд статей

© Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдік О., Романюк Д.

Ця стаття охоплює набір інструментів, які зазвичай використовуються як для показників, так і для ведення журналу. Журнали можна захоплювати, індексувати та візуалізувати за допомогою так званого стеку EFK: Elasticsearch, Fluentd та Kibana. EFK – це модифікація ELK, де Logstash використовується для пересилання журналів замість Fluentd. Метрики можна запитувати, візуалізувати та сповіщати про них через Prometheus та Grafana.

Діаграма нижче ілюструє стек Elasticsearch-Fluentd-Kibana.

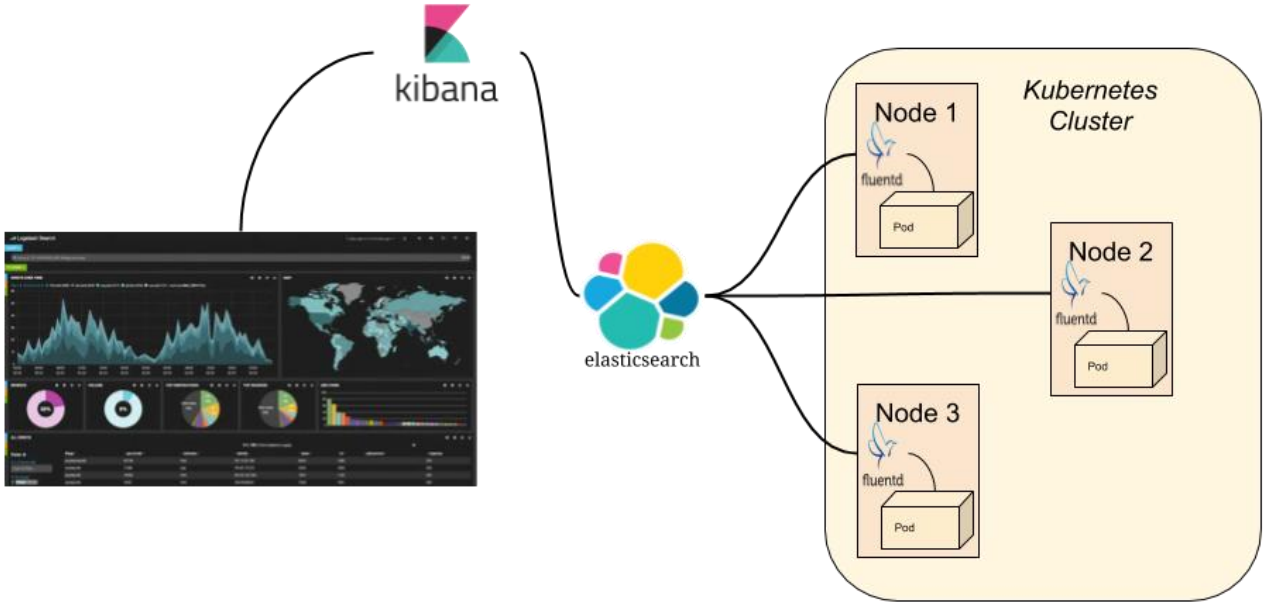


Рис. 1 – Стек EFK

Загалом, потік повідомлень журналів виглядає так:

1. Контейнер реєструється в stdout.
2. Fluentd працює на тому самому вузлі, що і контейнер, і фіксує потік повідомлень журналу.
3. Fluentd може бути налаштований для пересилання повідомлень журналу на цілу низку кінцевих сторінок, включаючи Elasticsearch.
4. Elasticsearch зберігає та індексує, наскільки це можливо, повідомлення журналу, які він отримує від Fluentd. Структурований журнал значно покращує здатність Elasticsearch індексувати повідомлення журналу.
5. Kibana може запитувати базу даних Elasticsearch і представляти результати як візуалізацію.

На наведеній нижче схемі показано, як Prometheus та Grafana вписуються в архітектуру програми:

© Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдік О., Романюк Д.

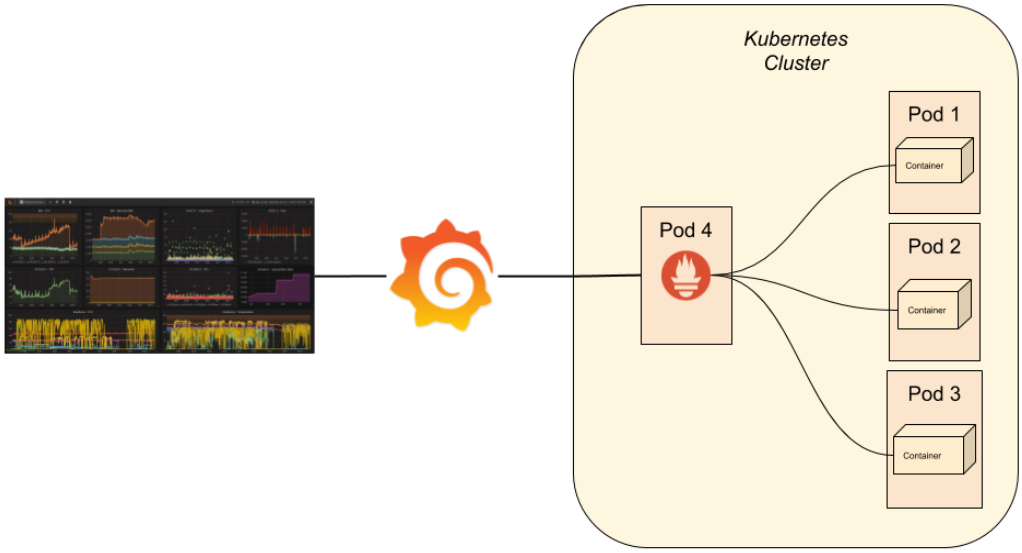


Рис. 2 – Prometheus та Grafana

Потік даних метрик такий:

1. Prometheus *викреслює* (тобто *витягує*) дані метрик із програми. Програми виявляють кінцеву точку, як правило, на порту 5000, яку Prometheus періодично опитує.
2. Prometheus зберігає дані метрик у власній базі даних часових рядів.
3. Grafana використовує PromQL, мову запитів Prometheus, для створення інформаційних панелей, які можна використовувати для візуалізації даних метрик. Grafana також може використовуватися як джерело попередження. У Grafana можна встановити порогові значення для спрацьовування попередження, коли дана метрика поза межами (наприклад, запити тривають занадто довго).

Проникливі спостерігачі відзначать, що і Kibana, і Grafana є інструментами візуалізації даних. Причиною потреби обох є поточна підтримка візуалізації журналів у Grafana (обмежена та в бета-версії), тоді як Kibana та Elasticsearch можуть керувати та відображати дані Prometheus.

Prometheus

Prometheus - це повний "набір інструментів для моніторингу та попередження систем". До його компонентів належать:

- Сервер, який вилучає дані метрик із увімкнених програм, а також є базою даних, що зберігає дані часових рядів, отримані з цих програм
- PromQL, мова запитів Prometheus, яка використовується для запитів до бази даних
- Клієнтські бібліотеки для різних мов (підтримується більшість основних мов)
- І інші компоненти (документація Prometheus розглядає їх більш детально)

Для встановлення Prometheus потрібні Helm та контролер Traefik Ingress.

Кроки встановлення Prometheus та розгортання-перевірки такі:

1. Клонуйте сховище.
2. Запустіть helm install ...команду, щоб розгорнути Prometheus.
3. Перевірте розгортання, відкривши інформаційну панель Prometheus у веб-браузері.

Prometheus також доступний із helm/charts/prometheus сховища. Зазвичай це хороше джерело для діаграм Helm, які можна використовувати для розгортання програм у кластері Kubernetes.

Grafana

Grafana - це платформа, яка дозволяє "запитувати, візуалізувати, оповіщати та розуміти ваші показники незалежно від того, де вони зберігаються". Ця можливість включає підтримку Prometheus як джерела даних. Grafana також може бути використана для того, щоб зробити те саме з метриками, виробленими Telegraf.

Щоб перевірити версію Grafana, необхідно протестувати за допомогою розгортання Prometheus. Для цього виконуються наступні дії:

1. Відкрийте інформаційну панель Grafana та увійдіть до системи. **Примітка** . Ймовірно, доведеться змінити адресу інформаційної панелі Grafana на щось на зразок

© Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдік О., Романюк Д.

http://xxx.xxx.xxx.xxx:3000 IP-адреси Raspberry Pi, де була встановлена Grafana. Потрібно встановити Grafana на Raspberry Pi, до якої можна дістатись поза кластером Kubernetes. У даній роботі URL-адреса інформаційної панелі Grafana є http://10.0.0.100:3000.

2. Перевірка доступності Prometheus, проводиться налаштуванням джерела даних Prometheus.

Elasticsearch, Fluentd та Kibana

У цій роботі використано Fluentd замість Logstash. На підставі деяких обмежень Fluentd з точки зору її інфраструктури та безперешкодної інтеграції в Docker. Я також Fluentd замість Fluent Bit.

Як і у випадку з Grafana, розгорнуто Elasticsearch та Kibana в кластері Kubernetes.

Elasticsearch

Багато джерел пропонують встановлювати Elasticsearch за допомогою Homebrew.

Важливо зазначити, що Elasticsearch - це програма Java, для якої потрібна Java 8. Java 8 можна завантажити та встановити з сайту Oracle Java для завантаження. Завантаження - це .dmg файл, тому встановити його досить просто.

Запуск Elasticsearch є простим - запустіть /usr/local/elasticsearch-7.6.0/bin/elasticsearch (шлях може бути різним, залежно від завантаженої версії та місця, де він був фактично витягнутий).

Kibana

Як і у випадку з Elasticsearch, багато джерел також рекомендують встановлювати Kibana через Homebrew. Запуск Kibana - запустіть /usr/local/kibana-7.6.0-x86_64/bin/kibana (шлях може бути іншим, залежно від завантаженої версії та місця, де вона була фактично видобута).

Telegraf

Telegraf підтримує моніторинг машинних ресурсів, таких як використання процесора та диска. Оскільки Telegraf вимагає InfluxDB, вам доведеться його встановити. Оскільки Telegraf контролює машинні ресурси, він не встановлюється в кластер Kubernetes. Його слід встановити безпосередньо на хості Raspberry Pi, як це було зроблено з Grafana вище. Його потрібно буде встановити на кожному вузлі кластера, якщо ви хочете контролювати використання ресурсів у кластері.

Рис. 3 – Інформаційна панель Telegraf

Висновки.

У цій статті встановлено та протестовано Prometheus разом із Grafana. Встановили стек EFK і перевірено встановлення. Розгорнуто Telegraf на машинах, на яких розміщений кластер Kubernetes, і встановлено інформаційну панель Grafana для відображення метрик хосту Telegraf.

© Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдік О., Романюк Д.

References.

1. S. Kostiuchko and V. Tchaban, "Variational Method of Auxiliary Equations in Nonlinear Systems Analysis and Synthesis Problems," *2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CPEE47179.2019.8949123.
2. S. Kostiuchko, O. Kuzmych, A. Aitouche, S. Grinyuk and O. Mekush, "Application of Parametric Sensitivity Method to Analysis of Automatic Mooring Winch with Electric Drive System," *2019 4th Conference on Control and Fault Tolerant Systems (SysTol)*, Casablanca, Morocco, 2019, pp. 294-299, doi: 10.1109/SYSTOL.2019.8864751.
3. Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54(15):2787–2805, 2010, doi:10.1016/j.comnet.2010.05.010.
4. Algirdas Avizienis. Fault-Tolerant Systems. IEEE Trans. Computers, 25(12):1304–1312, 1976, doi:10.1109/TC.1976.1674598.
5. Paul Barham, Boris Dragovic, Keir Fraser, Steven Hand, Timothy L. Harris, Alex Ho, Rolf Neugebauer, Ian Pratt, and Andrew Warfield. Xen and the Art of Virtualization. In Proceedings of the 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles, SOSP 2003, Bolton Landing, NY, USA, October 19-22, pages 164–177, 2003, doi:10.1145/945445.945462.
6. Luiz André Barroso, Jimmy Clidaras, and Urs Hölzle. The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of WarehouseScale Machines, Second Edition. Morgan & Claypool Publishers, 2013. doi:10.2200/S00516ED2V01Y201306CAC024, ISBN: 9781627050098.
7. David Bernstein. Containers and Cloud: From LXC to Docker to Kubernetes. IEEE Cloud Computing, 1(3):81–84, 2014, doi:10.1109/MCC.2014.51.
8. Rajkumar Buyya. High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 1999. ISBN: 0130137847.
9. Rajkumar Buyya, Chee Shin Yeo, Srikumar Venugopal, James Broberg, and Ivona Brandic. Cloud Computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. Future Generation Comp. Syst., 25(6):599–616, 2009, doi:10.1016/j.future.2008.12.001.
10. Marcos Dias de Assunção, Rodrigo N. Calheiros, Silvia Bianchi, Marco A. S. Netto, and Rajkumar Buyya. Big Data computing and clouds: Trends and future directions. J. Parallel Distrib. Comput., 79-80:3–15, 2015, doi:10.1016/j.jpdc.2014.08.003.

© Костючко С., Кирилюк Л., Протасюк А., Кривдік О., Романюк Д.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-32
УДК 004.05(075.8)
[1]**Марценюк Василь Петрович**, д.т.н., професор,
https://orcid.org/0000-0001-5622-1038
[2]**Сверстюк Андрій Степанович**, д.т.н., професор,
https://orcid.org/0000-0001-8644-0776
[3]**Андрущак Ігор Євгенович**, д.т.н., професор,
https://orcid.org/0000-0002-8751-4420
[3]**Риковська Лілія Олексіївна,** асистент,
https://orcid.org/0000-0001-9282-1639
[3]**Кошелюк Віктор Андрійович,** к.т.н., доцент,
https://orcid.org/0000-0002-4136-5087
[1]Університет Бєльсько-Бяли, Польща
[2]Тернопільський національнийний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна
[3]Луцький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ КІБЕРБЕЗПЕКИ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЧАС ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А. Особливості кібербезпеки сучасних інформаційних технологій в час цифрової трансформації. У статті розглянуті загальносистемні погляди на питання забезпечення кібербезпеки в час цифрової трансформації, виділені ключові фактори, що визначають проблеми захисту інформаційних систем. Наводиться відповідна трансформація систем управління інформаційною безпекою. Розглядаються нові загрози цифровому виробництва, їх особливості та канали впливу.
Ключові слова: кібербезпека, цифрова трансформація, кіберзагроза, дистанційне обслуговування, цифрове виробництво, кіберзахист.

Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак И.Е., Риковска Л.А., Кошелюк В.А. Особенности кибербезопасности современных информационных технологий во время цифровой трансформации. В статье рассмотрены общесистемные взгляды на вопросы обеспечения кибербезопасности во время цифровой трансформации, выделенные ключевые факторы, определяющие проблемы защиты информационных систем. Приводится соответствующая трансформация систем управления информационной безопасностью. Рассматриваются новые угрозы цифровом производства, их особенности и каналы воздействия.
Ключевые слова: кибербезопасность, цифровая трансформация, киберугрозы, дистанционное обслуживание, цифровое производство, киберзащита.

Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rykovska L.O., Koshelyuk V.A. Features of cybersecurity of modern information technologies during the digital transformation. The article considers system-wide views on cybersecurity during the digital transformation, highlights the key factors that determine the problems of information systems protection. The corresponding transformation of information security management systems is given. New threats to digital production, their features and channels of influence are considered.
Key words: cybersecurity, digital transformation, cyber threat, remote maintenance, digital production, cyber protection.

Formulation of the problem. The changes in the modern world caused by the rapid growth from information technology and universal digitalization could not but affect production systems. The invention and widespread use of programmable controllers, robots and digital control systems integrated with corporate networks of enterprises led to a change in approaches to production management, the rapid development of several new technological departments. This so-called "new industrial revolution" could not but find reflection in the tasks of ensuring the safety of industrial systems.

The evolution of technologies and management tools towards the widespread use of computerized components has led to the emergence and rapid growth of the number of new attacks on industrial systems. A modern attacker uses targeted attacks on digital production facilities, specialized arsenals of means of influence; not only technical methods, but, for example, social engineering.

In this paper, the authors consider the main changes in industrial systems with the emergence of the concept of "digital production", the transformation of production processes and approaches to ensuring their safety when moving to the digital economy. Changes in the object of protection, or production system, lead to new, targeted attacks, expansion of channels of influence. A new class of threats, called, in accordance with the requirements of the time, "cyber threats" is being put in correspondence with a new class of security systems: cybersecurity systems of digital production.

© Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А.

Analysis of research. Modern production is undergoing significant changes due to the widespread introduction of information technologies and systems. Almost all industrial elements are equipped with electronic sensors and controllers, and thanks to them, information flows are also added to the process of organizing the flows of matter and energy during production. The book "The Fourth Industrial Revolution", which declared these changes in 2019 [1], describes in detail the process of changing the production economy caused by the rapid pace of technological development, the breadth of application of information and telecommunication technologies and the consistency of the use of digital devices. The term "Industry 4.0", widely used to denote new production realities, sounded for the first time in 2016 at the Hanover Fair when referring to the process of radical transformation of global value chains [1,2]. The technology of "smart" production, equipment, household appliances became the main part of this process. Today, the flexible interaction of various physical systems through digital technologies is changing the appearance not only of industry, but also of the economy as a whole.

The modern period is called the "second machine age" [3], emphasizing the difference between the traditional approaches to using hardware and software that have been steadily developing throughout the twentieth century, and new trends, solutions of global computing and artificial intelligence. Despite the fact that software and hardware control appeared in production for a relatively long time, its use in recent years has significant differences. The scale of penetration of digital technologies is significantly increasing, both in various industries and areas of activity, and in individual production processes.

A synthesis of technologies is taking place, from decoding the genome to nanotechnology and renewable energy systems. The rate of change is rapidly increasing - unlike previous industrial revolutions, industrial revolution 4.0 is developing not linearly, but exponentially [1].

The main value of the "Industry 4.0" society is not products, but information and the potential of information impact, due to the widespread use of automation and data exchange, computerized production systems, the Internet of things and cloud services. According to forecasts, the potential of the Industrial Internet of Things (IIOT, Industrial Internet of Things) [4], which unites networks of physical objects, platforms, systems and applications with embedded technologies for exchanging data with each other, the external environment and people, is estimated by analysts at more than thirty trillions of dollars and will continue to grow [5].

All these technologies are directly related to the digital transformation of production and new, cyber-physical systems. They affect both the systems of controllers and interacting industrial devices themselves, and related areas. The leading directions of development, in addition to the actual cybernetization of production, analysts [6] consider:

- Changes in ACS interfaces associated with the development of graphical interfaces, the use of touch-screen technologies and augmented / virtual reality technologies. Despite the fact that the rapid development of this area is taking place in the segment of consumer devices, its advance into the area is also not far off.

- Technologies for processing data generated by devices in the course of operation and interaction. According to analytical reports, 40% of such data has never been saved, and the remaining 60% is stored for a short time, locally and is hardly analyzed and processed. Integrated control of digital manufacturing requires the collection and processing of all this information in data centers and computing systems.

Data analytics and artificial intelligence technologies are at the top of the list. They are necessary to get real benefits from the collected and processed production data, operational and long-term monitoring and planning of the production process. The technological breakthrough should result in production systems that are resistant to external changes and self-adapting.

The object of protection, previously understood as a set of classified data, acquires a more complex representation - as a cyberspace, including not only data, but also systems for their transmission, processing and storage; control systems; means of protection; as well as their dynamically changing relationships, which constitute a certain value. Segments of cyberspace include supercomputers, corporate and home networks, mobile systems, cloud services, and even social networks and consumer devices. Let us define cyberspace as a global sphere in the information space, which is an interconnected set of infrastructures and information technologies, including the Internet, telecommunication networks, computer systems, embedded processors and controllers. The transformation of industrial informatization can be represent, and now we can talk not about two (old and new, cyberphysical), but about three stages of changing the industrial environment. The first includes traditional information systems and information and telecommunication systems. The emergence of the second stage is caused by the cybernation of the production process and the widespread introduction of industrial controllers. The third is a look into the future, already voiced by a number of specialists. It involves the digital integration of not only physical systems, but also organizational ones: the cybernetization of the business processes of enterprises.

© Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А.

Today there is an active development of cyber-physical systems and a transition to the stage of integration with business processes - digital production and the digital economy. Formal concepts of cyber-physical objects and systems. A cyberphysical object (CFO) is a conceptual paradigm for representing production and technological schemes in the form of a conglomerate of means for converting various types of matter and energy and an information and telecommunication environment that provides both information exchange between components and the stable functioning of the entire system under external influences using auto - matized management.

Presentation of the main material and the justification of the results. Manufacturing systems have undergone significant changes as a result of computerization. Two generalized stages of production can be distinguished, characteristic of both traditional and modern, computerized systems of Industry 4.0.

The first stage is the creation of a digital twin of an industrial product or product - for production systems, this can be a computer model or a 3D image of a product in design systems. In this case, production systems are relatively localized and we can talk about them as traditional design systems to which we can apply generally accepted information security measures: creating a trusted environment, controlling external access, and so on. The second stage is modern additive manufacturing, in the management of which computer technology is also widely used - as shown above, it is integrated with the external environment much more than is accepted in traditional solutions. In this case, it becomes almost impossible to completely control or exclude external influences on the production system, and an urgent problem arises to ensure the stability of the production process in conditions of a variable set of different external influences. In the future, the article focuses specifically on the safety of additive manufacturing and production process control, as a new area in the field of ensuring the safety of industrial systems.

The features of security incidents in recent years have become an increasing increase in serious incidents associated with. According to the distribution of statistics of cyberattacks in the fall of 2016, industry accounted for more than 20% of all recorded incidents, together with the state and the military industry, confidently exceeding 50% of all attacks. The share of areas such as social media, file hosting, news sites, mobile telecommunications companies together accounted for less than 13% of all incidents. In many ways, the growth of attacks on production systems is associated with changes in their structure, digitalization and the emergence of new security challenges. Today's intruder, acting through telecommunication channels or having access to information resources of the corporate network of an enterprise, has the ability to influence production as a whole The second important point is the ability for an intruder to influence through digital control components (networks and controllers) the material output of the production system, the result of the production process.

According to SecurityLab, for 2019, it can be noted that cybercriminals gain access to the personal data of users of the LastPass service, and, thus, to a variety of credentials, including production systems. Viruses in images on legitimate websites were used as penetration channels for the same data in various incidents; a vulnerability found in Samsung smartphones; and even electrical interference in DRAM. The main channels of influence that an intruder can use are influence on devices; impact on the control subsystem; impact on protocols and network equipment; impact on the human-machine interface. Within the framework of digital production, impacts through all of the above channels can be implemented as informational. According to the statistics of security breaches, there is currently an abrupt increase in the number of incidents related to their cybersecurity, and is due to the trend of integrating technological process control systems and corporate information networks.

In almost 50% of cases, impacts on automated control systems for technological processes already occur from the corporate network, and in almost 20% of cases - from the Internet. According to statistics, the general nature of attacks on cyber-physical systems is changing. Targeted attacks that can be carried out transitively are becoming characteristic of digital production. For their frequent preparation and implementation, specialists are involved in the relevant industrial sectors and the equipment involved. Attackers use several methods and "vectors" of attacks at once, an integrated approach to the implementation of the impact. Attacks include a wide range of not only technical methods, but also methods based on social engineering and psychology. Also new is the purpose of the attack itself - it is not theft of information, but the impact directly on the ongoing technological process. Today, this threat is often assessed more seriously than data theft [6,7]. Separately, it is necessary to note the emergence of additional critical modules due to informatization and the lag of the regulatory framework. The widespread use of cloud systems and systems with a fuzzy perimeter is associated with the development of the following threats:

1) Threats aimed at using the computing power of the cloud to solve the tasks of an attacker (for example, brute force passwords and hashes) or to mask the source of influence on other objects.

© Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А.

2) Threats directed to platforms, infrastructures and software of cloud users from other cloud users or from the Internet.

The emergence of smart home systems, or more generally the emergence of the concept of the Internet of Things, has led to the possibility of violating the security of personal space in the form of:

1) The use of household devices to penetrate personal computers and mobile phones.

2) Threat to the life and health of users (disruption of the operation of household devices can lead to fires, poisoning, etc.).

3) Substitution of media content as a means of waging information wars.

SCADA security threats are determined by the fact that the number of industrial networks connected to the Internet is growing - this is due, among other things, to the introduction of smart grids and smart meters, but many of them still use isolation as the main measure of protection, which means the number and complexity of attacks on ICS is increasing. The systematization of new threats is given in Table 1.

Table 1.

Technology	**Vulnerable elements**	**Consequences of threat realization**	**Protection features**
Virtualization	Hypervisor	Capturing control	Protection of the "last resort" - it is impossible to detect a successful attack
Cloud technologies	Access control mechanisms	Destruction of the structure of the cloud	The need to differentiate personal resources
Mobile systems	Authentication and encryption mechanisms (not used or partially used)	Interception of data management and use for attacks on related devices	Lack of energy resources
"Smart House"	Insecure connection to the Internet, software integrity	Collecting critical information, incapacitation, takeover of control	Impossibility of interactive interaction with user

The main difficulties in assessing and solving the problem of information security of modern industrial cyber-physical systems, and, as a consequence, digital production, are:

- lack of due attention to the problem;
- changes in the characteristics of the impact;
- lagging of the regulatory framework.

Indeed, less than 2% of attacked enterprises report incidents, and experts overestimate the degree of security of their systems: lack of Internet connection, firewall capabilities, security of emergency protection systems and their protection from external influences.

The combination of new attack targets such as interception and disruption of technological processes, new penetration mechanisms and new targets of attacks leads to the need for new approaches to ensuring the security of industrial systems in the era of digital production.

The information globalization of industry and energy in the post-industrial era goes through several stages, characterized by varying degrees of transfer of the functions of a human operator to a computer system. In the early stages, this was expressed in the degree of automation of the production sphere, which consists, first of all, in the automation of workflow, the processes of collecting and processing information and preparing it in an appropriate format for the user who makes decisions or retaining full control over the process for the person.

Further integration with computer systems led to the gradual transfer of the right to form decisions from a human operator to an automated system, which was primarily caused by the need to speed up the execution of the corresponding actions or commands as much as possible. This stage is characterized by the intensive development of methods and means of artificial intelligence, as a tactic of substantiation and optimization of the decision-making process, which led to the creation of expert systems, fuzzy inference, predictive systems.

Along with the transformation of traditional production, there is a transformation of information security. With the advent of cyber-physical systems and Internet things, flagships of digital production, the

© Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А.

concept of cyber security was added to the concept of information security based on the security of information and telecommunication systems. Assessments and methods are being developed to support this new direction. Also, when integrating with business processes, the traditional concept of information security can be expanded to one more level. It is still difficult to say what it will be today.

The nature of digital production determines the main difficulty arising in the creation of a threat model for this class of systems. A large number of users, components, and production integration make it impossible to use traditional attack models, which can be seen from the example of work in the field of threat modeling of modern industrial systems. It becomes difficult, if not impossible, to predict and describe all the variety of possible impacts - and their number increases with the development and integration of technologies.

Cybersecurity is a set of principles and tools for ensuring the security of information processes, approaches to security management and other technologies that are used to actively counter the implementation of cyber threats. The tasks of ensuring cybersecurity can be systematized as an analysis of the mechanisms of violation of the protection of cyberspace, modeling of destructive influences; cyber security management, determination of the stability zone of the protected object, analysis of cyber risks, development of standards and norms for cyberspace security; synthesis of cyberspace protection means and control of the current state and functioning of cyberspace components. Accordingly, the modern security paradigm includes:

1. Revision of access control models, taking into account openness, flexibility and distribution. Models should be based on temporal logic.

2. Adoption of virtualization technology as a powerful means of protection, which allows you to move from the concept of a "protected system" (from a fixed set of threats) to the concept of "a system with predictable behavior."

3. Implementation of the principle of separation of the information processing environment and protection means.

4. Construction of theoretical foundations of dynamic protection management (adapting to current threats) as an object of automatic regulation with the concept of a stability zone, aftereffect (inertia) of dynamic characteristics

5. Acceptance of the openness of systems (connection with the Internet) as an integral property and construction of protection with this in mind:

6. Development of the basis for assessing the elasticity (customizability of the system) and scalability. Development of new principles for detecting attacks, viruses, rootkits, worms.

7. Taking into account the possibility of using super-computers to create new attack scenarios, scanning systems, intervention in production management, cryptanalysis. Considering that we have entered the era of cyber warfare, the supercomputer is an opportunity to create new weapons.

8. Analysis of the existing trends in the development of security means allows us to conclude about a change in protection paradigms based on protection technologies, which can be conditionally defined as static, active, adaptive and dynamic. The idea of such a classification of protection technologies is borrowed from control theory. Despite the difference in the goals pursued in the theory of control and the theory of information security, one can see the similarity of the approaches used to achieve these goals and aimed at keeping the system within a certain set of states. At the same time, control theory has a longer history of development and, due to this, a richer terminological base. The set of criteria on the basis of which the classifications of management methods are built, usually include the following parameters:

- the presence of feedback - in the general case, controllers with feedback can use many (more than one) measured values and form several control actions on the controlled object;

- the presence of an adaptive control loop is built on top of the control loop, the purpose of which is to adjust the internal parameters of the regulator so that an optimum is achieved, characterized by a certain set of criteria - quality indicators;

- the presence in the feedback loop of functions for predicting the state of the system - on the basis of indicators characterizing the system and its environment, a set of conditional scenarios is built that predict the development of the system. The forecast is fed to the input of the regulators and affects the formation of the current control action.

On the basis of the listed criteria, it is possible to unambiguously classify the existing protection technologies - each of the classes is characterized by the presence of a certain set of the listed circuits. In a static protection technology, the control function does not change over time, and the operating mode is described by the functions of the dependence of the output state of the protected object on constant values of control actions and other destabilizing factors, feedback, adaptive control and prediction of the system state are absent. Active protection technology complements the static one by introducing feedback - the results of experimental testing of the protected object are used to change the configurable parameters of the security

© Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А.

systems. Adaptive protection technology, accordingly, requires an adaptive control loop - the parameters of security systems are periodically changed in such a way that the protection efficiency indicators (calculated based on the characteristics of the protected object during monitoring) tend to the maximum. The set goal of management within the framework of dynamic protection technology is dynamic compensation of undesirable changes in the state of the system "on the fly" by interacting with both the protected object and its infrastructure. The fundamental distinguishing feature of dynamic protection is that the protected system is treated by the protection system as a nonlinear dynamic object with continuous time, and the protection system itself becomes discrete-continuous.

Therefore, the full set of dynamic protection methods that underlie the cyber security paradigm include methods of studying and influencing the environment of the object under study, aimed at predicting the state of the system depending on the dynamics of changes in internal and external (in relation to the protected system) factors. This is how we come to the concept of "predictable behavior system" - to ensure cybersecurity, it is not enough to describe the state of the system's security. It is necessary to be able to predict the behavior of the system in a given (but uncontrolled and untrusted) environment, and in the future - to predict the dynamics of changes in external influences on the protected system.

This means that dynamic protection should be aimed at studying not only the protected system and mechanisms for the implementation of threats, but also the environment of the protected object, and promising means of violating security. The authors propose an integrated approach to ensuring cybersecurity, the main task of which is to preserve the operability of the digital production system in the context of various targeted impacts. This concept corresponds to the main direction of development of protection systems today - this is the implementation of a proactive protection strategy: the presentiment of the threat and adapting the system to future exposure.

The safety block must ensure control of the main parameters of the production process and assess the safety of the current state of the system based on data from all major levels: controllers, SCADA - networks and devices, communication network. The general set of stages of functioning of the safety unit corresponds to the position of active dynamic protection [9] in order to meet the new requirements for the need to predict impacts. These are the stages of monitoring, assessment, decision-making and development of a control action from the security subsystem (if necessary).

Monitoring is implemented by a set of methods and components that collect and preprocess data on the processes occurring in the digital production system, using big data processing technologies, methods for normalizing and aggregating information, integrating information from various sources.

The assessment is carried out through the hierarchy of indicators of sustainability of digital production. The basic is the self-similarity indicator, which reflects the current state of the system. Depending on the specifics of the data and the process, self-similarity can be determined based on the analysis of correlations, Hurst exponent, Fano factor, fractal estimates [10]. An additional important component is the prediction block included in the evaluation module. Forecasting is necessary for analyzing the behavior of the system in the nearest time interval, assessing the applicability of certain compensating influences, since each of them requires a certain time of implementation. Forecasting in digital manufacturing systems is based on big data analysis technologies and methods for evaluating the behavior of dynamic systems.

The stability of the system as a whole is determined by its ability for homeostasis, that is, the ability to develop and implement compensating influences. The decision-making module can be based on one or several, applied simultaneously, approaches. This is the choice of a scenario from the ready-made knowledge base, the development of a compensating effect based on the rules laid down or obtained as a result of machine learning, or another decision-making mechanism. The basis for the construction of this module should be the theory of situational management, based on the assessment of the current situation and the formation of a course of action. The tool for implementing the selected scenarios and reactions is already present in modern technologies. These are software-defined and managed solutions such as software-defined networks.

Built according to the described principles, the security unit will be able to adequately assess the situation, generate forecasts for its development, make and implement a decision on compensating or anticipatory impact with all the variety of threats to digital production.

Conclusion and prospects for further research

The authors considered modern trends in the development of production systems, the features of digital production and the digital economy, from the point of view of technological changes and changes in the field of security. The main technologies that formed the basis of industrial changes and their impact on production and information security technologies are presented.

© Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А.

The digital transformation of production, the emergence of cyber-physical objects and systems, the formation of a cyber environment is an inevitable consequence of the widespread use of programmable controllers and computerization of control processes. At the same time, there has been an increase and change in the specifics of attacks on production systems. The main ones are APT (advanced persistent threat) attacks, targeted, implemented by groups of attackers using various technologies from specialized software solutions to social engineering, implementing several attack vectors. Often, these attacks are not aimed at obtaining data from production systems, but at controlling the production process itself, controlling physical objects. New attacks are diverse and rather ingenious; for large heterogeneous digital production systems, all of their diversity becomes difficult to describe with generally accepted models. Attackers use a wide range of channels of influence, ranging from direct influence on equipment and ending with penetration through corporate networks and the general communication environment.

In these conditions, the development of cybersecurity as a part of information security is becoming an important direction. Cybersecurity combines approaches, methods and means of protecting cyber-physical systems of digital production. The authors propose an integrated approach to protection based on the development of a secure security management module. The main components of the module are: a monitoring unit based on big data technologies; a block of threat-invariant system self-similarity assessment and forecasting; a decision making unit and a homeostasis control unit. Successful implementation of security solutions is ensured by the use of configurable components and networks in process control.

References

1. Shvab K. Chetvertaya promishlennaya revolutsia / K. Shvab - «Aksmo», 2016 - (Top Business Awards)
2. Briniiolfsson A., MacAffi A. «Vtoraya era mashin: rabota, progress i protsvetanie v epochy blestyashih technologii» / A. Briniiolfsson, A. MacAffi, W. W. Norton & Company, 2014.
3. Evans P. C., Annunziata M. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines // Peter C. Evans, Marco Annunziata November 26, 2012 http://files.gereports.com/wp-content/uploads/2012/11/ge-industrial-internet-vision-paper.pdf
4. Annenkov M. Osnovi kiberustoichivosti na finansovom rinke Bezopasnost delovoi informatsii. Cyberustoichivost. No 17 2017.
5. Akinin A. Cyberustoichivost: velenie vremeni !Bezopasnost delovoi informatsii. Cyberustoichivost. No 17 2017.
6. Vasilev U.S., Zegzhda D.P., Poltavtseva M.A. Problemi bezopasnosti tsifrovogo proizvodstva i ego ustoichivost k cyberugrozam. Problemi informatsionnoi besopasnosti. Computer systems. 2017. No 4. P. 47-63.
7. Zegzhda P.D., Poltavtseva M.A., Lavrova D.S. Systematizatsia cyberphizicheskih system i ozenka ih bezopasnosti Problemi informatsionnoi besopasnosti. Computer systems. 2017. No 2. P. 127-138.
8. Zegzhda D.P. Sustainability as a criterion for information security in cyber-physical systems // Automatic Control and Computer Sciences. 2016. T. 50. No 8. P. 813-819.
9. Drobotyn E.B. Teoreticheskie osnovi postroenia systemi zachity ot computernih atak dlya avtomatizirovannich system upravlenia. SPb: Naukoemkie technologii, 2017. – 120 p.
10. D. P. Zegzhda E. Yu. Pavlenko Cyber-Physical System Homeostatic Security Management // Automatic Control and Computer Sciences ISSN 0146-4116. Vol. 51, No. 8, 2017

© Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Риковська Л.О., Кошелюк В.А.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-33
УДК 004.89
Мельник Катерина Вікторівна, к.т.н., доцент,
http://orcid.org/0000-0002-9991-582X
Мельник Василь Михайлович, к.ф.-м.н., доцент,
http://orcid.org/0000-0001-8282-6639
Нестерук Віктор Олександрович, магістрант
Луцький національний технічний університет

МЕТОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ТРЕНУВАННІ ІГРОВОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ПРИКЛАДІ АГЕНТА У ГРІ SNAKE

Мельник К. В., Мельник В. М., Нестерук В. О. Методи машинного навчання у тренуванні ігрового штучного інтелекту на прикладі агента у грі Snake. У даній статті розглянуто низку концепцій, що використовуються в ігровому штучному інтелекті (скорочено "ігровий ШІ"). У цій роботі наведено методи, доступні для вирішення проблем у галузі ігрового ШІ. Розглянуто проблеми ігрового ШІ у широкому розумінні, що включає все, від простих закодованих шаблонів, до нейронних мереж та генетичних алгоритмів.
Ключові слова: ігровий штучний інтелект, алгоритми машинного навчання, гра Snake.

Мельник К. В., Мельник В.М., Нестерук В. А. Методы машинного обучения в тренировке игрового искусственного интеллекта на примере агента в игре Snake. В данной статье рассмотрен ряд концепций, используемых в игровом искусственном интеллекте (сокращенно "игровой ИИ"). В этой работе приведены методы, доступные для решения проблем в области игрового ИИ. Рассмотрено проблемы игрового ИИ в широком смысле, включающий все, от простых закодированных шаблонов, к нейронным сетем и генетическим алгоритмам.
Ключевые слова: игровой искусственный интеллект, алгоритмы машинного обучения, игра Snake.

Melnyk K., Melnyk V., Nesteruk V. Methods of machine learning in the training of game artificial intelligence on the example of an agent in the game Snake. This article discusses a number of concepts used in gaming artificial intelligence (shortened "game AI"). This paper presents methods available for solving problems in the field of game AI. We looked at the problems of game AI in a wide sense, which includes everything from simple coded patterns to neural networks and genetic algorithms.
Keywords: game artificial intelligence, machine learning algorithms, Snake game.

Вступ. Ігри є хорошим майданчиком для дослідження та використання штучного інтелекту(ШІ). Необхідність ШІ вирішувати складні проблеми з прийняття рішень в іграх дозволяє вивчити більшість його аспектів. Часто, ігровий ШІ зводиться до створення агентів ШІ, які є конкурентоспроможними для людини, проте, існують і інші цікаві аспекти у цьому напрямку, такі як, використання ШІ для проектування нових ігор та наповнення ігрового вмісту. Розглянуто однин із напрямків створення ігрового штучного інтелекту.

Сучасні здобутки у сфері ігрового ШІ продемонстрували, що, за наявності у машини достатніх даних із людського досвіду, отриманого в результаті навчання, вона може як конкурувати як із звичайними людьми-гравцями, так і перевершувати найбільш вправних гравців у іграх будь якої складності. Проте, кожен з таких ШІ є достатньо обмеженим та вузько направленим, крім того, вони часто вимагають значних обчислювальних потужностей, не є схильними до значних змін в силу непрозорості у прийнятті рішень. Тому актуальною є проблема створення більш універсальних ШІ, адаптивних та швидких у моделюванні, більш надійних та прозорих.

Поняття ігрового штучного інтелекту

Переважно, завданням ігрового ШІ є вибір дії, або дій, зважаючи на умови, в яких він знаходиться. Традиційна література з штучного інтелекту називає це керуванням "інтелектуальними агентами". Таким агентом може бути будь який об'єкт: персонаж гри, машина, робот, або навіть щось більш абстрактне - ціла група об'єктів, країна або цивілізація. У будь-якому випадку це сутність, що стежить за своїм оточенням, що приймає на підставі нього рішення і діє відповідно до цих рішень. У тій же літературі це можна зустріти під назвою цикл «сприйняття-мислення-дія».

- Сприйняття: агент отримує та розпізнає інформацію про оточення, яка впливає, або може вплинути, на його стан (наприклад, чи поблизу небезпека, або необхідні до збору предмети, важливі місця).
- Мислення: агент обирає стратегію подальших дій у відповідь на подію (наприклад, чи безпечно зібрати необхідні предмети, чи варто йому контактувати з іншим об'єктом, чи ігнорувати)
- Дія: агент виконує відповідно обраній стратегії (наприклад, починає рухатися за маршрутом до предмету, чи іншого об'єкту)

© Мельник К. В., Мельник В.М., Нестерук В.О.

- Далі, відповідно до дій персонажів ситуація змінюється, агент отримує нові дані та цикл повторюється.

Особливо актуальні сьогодні розробки ШІ у реальному часі, які переважно зосереджені на завданнях «сприйняття» цього циклу. Наприклад, автопілот автомобіля отримує зображення дороги, яка знаходиться перед ним, поєднує ці дані з іншими (лідар-сенсору та радару) і інтерпретує отримане. Зазвичай такі завдання вирішуються алгоритмами машинного навчання, яке особливо добре працює з великими масивами даних реального світу (такими як, фотографії дороги перед автомобілем або декілька кадрів відео) і надає їм якесь значення, витягуючи важливу інформацію, наприклад «у 30-ти метрах попереду є ще одне авто». Такі завдання відносять до завдань класифікації.

Ігри, у цьому плані, унікальні тим, що для вилучення такої інформації їм не потрібна складна система, оскільки вона є частиною симуляції. Немає необхідності виконувати алгоритми розпізнавання зображень, щоб виявити і класифікувати об'єкт перед собою; гра знає , що там знаходиться і може передати цю інформацію безпосередньо процесу прийняття рішень. Тому «сприйняття» агентів зазвичай дуже спрощено, а складність полягає у реалізації «мислення» та «дії».

Обмеження у розробці ігрового ШІ

Розробляючи ігровий ШІ потрібно мати на увазі такі обмеження:

- На відміну від алгоритмів машинного навчання, ігровий ШІ зазвичай не тренується заздалегідь;
- Зазвичай вважається, що гра повинна вміти як розважати, так і кидати гравцеві виклик, а не бути «оптимальною» - тому, навіть якщо можливо навчити агентів добре протистояти гравцям, то найчастіше це не єдине, що необхідно розробникам.
- Нерідко агентам висувають вимогу «реалістичної» поведінки, щоб гравці відчували, що змагаються з подібними їм супротивниками. Тому, алгоритм потрібно налаштувати таким чином, щоб він приймав правдоподібні рішення, а не ідеальні .
- ШІ повинен виконуватися «в реальному часі». Це означає, що алгоритм не може для прийняття рішення монополізувати ресурси процесора на тривалий час.

Прийнявши до уваги наведені пункти, розглянуто різні підходи до створення ШІ, які реалізують весь цикл «сприйняття-мислення-дія» способами, що забезпечують ефективність і дозволяють дизайнерам гри створювати складну поведінку, схожу на дії людини.

Методи розробки ігрового ШІ

Як правило, методи ігрового ШІ мають два варіанти: детермінований та недетермінований.

Детермінована поведінка або дія є визначеною та передбачуваною. Прикладом детермінованої поведінки є простий алгоритм переслідування. Можна явно закодувати якийсь внутрішньо ігровий об'єкт для переміщення до якоїсь кінцевої точки, просуваючись уздовж осей координат X та Y, поки координати X та Y об'єкту не співпадатимуть з кінцевим розташуванням.

Недетермінована поведінка є протилежністю детермінованій. Така поведінка має ступінь невизначеності і є дещо непередбачуваною (ступінь невизначеності залежить від алгоритму ШІ та того, наскільки добре навчений агент). Прикладом недетермінованої поведінки є персонаж, який не є гравцем, але який навчився пристосовуватися до тактики бою гравця. Таке навчання може використовувати нейронну мережу, байєсівський метод або генетичний алгоритм.

Детерміновані методи передбачувані, швидкі та прості у впровадженні, розумінні, тестуванні та налагодженні. Логічно, що такі методи мають передбачати багато різних сценаріїв поведінки, умов та станів ігрового ШІ, кодування яких у повному обсязі лягає на плечі розробникам. Крім того, детерміновані методи ніяк не сприяють навчанню та розвитку. Після нетривалого ігрового процесу така поведінка, як правило, стає передбачуваною, що в своєму розумінні, обмежує ігрове життя.

Недетерміновані методи у цьому плані полегшують навчання та роблять ігровий процес більш непередбачуваним. Розробники не повинні чітко кодувати всі способи поведінки у всеможливих сценаріях, оскільки недетерміновані методи зазвичай використовують нейромережі для свого ШІ, які самостійно, на прикладі вхідних даних, зможуть відповідно реагувати на оточення. Недетерміновані методи також можуть вчитися і розвиватись самостійно. Крім того, вони здатні до «екстреної» поведінки, тобто, можуть знайти рішення до ситуацій, у яких вони не перебували та не отримували будь яких вказівок щодо них.

Переважно розробники не люблять ШІ, який не є детермінованим. В силу непрозорості алгоритмів нейромереж, їх непередбачуваність складно перевірити та налагодити. До недавнього часу ще одним фактором, який обмежував розвиток ігрового ШІ, був той факт, що розробники зосереджували більшу частину своєї уваги на якості графіки. Як виявилось, такий фокус на розробці кращих і швидших графічних рішень, включаючи апаратне прискорення, тепер може дозволити виділити більше ресурсів

© Мельник К. В., Мельник В.М., Нестерук В.О.

на кращого, більш досконалого ШІ. Цей факт, поряд з тиском до створення наступної популярної гри, спонукає розробників ігор до більш ретельного вивчення недетермінованих методів.

В межах цієї статті розглянуто плюси і мінуси різних підходів з навчання ігрових агентів на базі гри Snake, де агент керує змійкою. В основному, до створення агента ШІ для Snake використовують підходи таких трьох категорій: підходи без машинного навчання, генетичні алгоритми та навчання з підкріпленням.

Методи, що не стосуються машинного навчання

Правила гри у Snake доволі прості: гравець керує змією, яка повинна маневрувати навколо екрану, поїдаючи яблука. З кожним з'їденим яблуком змія збільшує свій хвіст на одну одиницю. Мета цієї гри - з'їсти якомога більше яблук, не зачепивши стіну ігрового поля чи постійно зростаючий хвіст самої змії. Гра була розроблена на Python і спирається на фреймворк Pygame, одну з Python бібліотек, яка дозволяє досить легко розробляти прості ігри. Розмір поля становить 20 × 20, і в ньому присутнє лише одне яблуко, яке з'являється у новому випадковому вільному квадраті кожного разу, коли його буде з'їдено.

Гра Snake насправді має тривіальне, ідеальне рішення. Необхідно просто створити циклічний шлях, який ніде не перетинається та проходить через кожен квадрат на полі. Проте таке рішення суперечить вище наведеним обмеженням щодо розробки ігрового ШІ, оскільки не має ніякого сприйняття та не здатне прийняти будь які рішення, не імітує поведінку гравців і явно не здатне з ними конкурувати.

Тому, метод без машинного навчання було створено наступним чином. Після старту гри алгоритм керуватиме змією на полі, не виконуючи жодного процесу навчання. Алгоритм спочатку оцінює бали для кожного з чотирьох можливих напрямків руху змії (вправо, вліво, вгору, вниз), а потім обирає дію з найвищим значенням. Для того, щоб розрахувати ці бали, змія заздалегідь імітує рух на один крок вперед у кожному з напрямків і повертає рахунок на основі результату цього руху:

- мінус 1000 при зіткненні зі стіною або тілом змії;
- 1000 мінус відстань до найближчої їжі в іншому випадку.

Таким чином, рух, який викликає зіткнення, найймовірніше буде проігноровано, тоді як перевагу отримають такі дії, які зменшують відстань між головою змії та їжею.

Метод можна додатково вдосконалити, розширивши закодований алгоритм за допомогою динамічного алгоритму для того, щоб розрахувати оцінку кожної дії глибше. Проте, це суттєво уповільнило б швидкість гри.

Отже, резюмуємо даний метод.

Плюси: агент може гарантовано закінчити гру.

Мінуси: машинного навчання не задіяно - алгоритм повинен кодуватися вручну. Необхідні певні знання у теорії графів. Алгоритм може працювати повільно на великих ігрових полях.

Генетичні алгоритми

Генетичні алгоритми - ще один популярний підхід до такого типу проблем. На створення цього підходу надихнулись з біологічної еволюції та природного відбору. Такі алгоритми часто використовуються для створення високоякісних рішень для оптимізації та пошуку несправностей шляхом моделювання процесу природного відбору, а це означає, що лише ті види, які можуть пристосуватися до змін у своєму середовищі, здатні вижити, розмножитися та перейти до наступного покоління. Кожне покоління складається з сукупності індивідів, що в нашому випадку є нейронними мережами, кожна з яких має свої ваги, отже кожна представляє різне рішення. Розглядаючи аналогію між генетичними алгоритмами та природним відбором, ми можемо порівняти ваги кожної людини з генетичною структурою хромосоми, яка мутує покоління за поколінням, щоб народити кращих особин. Модель машинного навчання відображає вплив входів на результати дій . Такими входами може бути відстань змії до перешкод у чотирьох основних напрямках. Результами будуть дії, такі як поворот праворуч чи ліворуч.

Узагальнено алгоритм працює як показано у наступних кроках:

1. Вибір структури мережі, що відповідає особі;
2. Формування популяції особин, заповнення їх матриці ваг випадковими числами від мінус 1 до 1;
3. Встановлення функції фітнесу (відповідності), це така функція, яка дозволяє розрахувати відповідність кожного індивіда;
4. Проведення ігрової сесії, та обчислення функції відповідності кожної особини на базі отриманих з цієї сесії результатів;
5. Вибір декількох найкращих (найвідповідніших) особин серед популяції та створення наступного покоління з обраних особин, використовуючи методи обміну генами та мутації .

© Мельник К. В., Мельник В.М., Нестерук В.О.

Алгоритм використовує відібраних особин (батьків), щоб створити нове потомство, яке є кращим за попереднє, як наслідок, наступне покоління виходить вже більш пристосованим до оточення;

6. Перехід до кроку 4 та повторення, поки умови зупинки не будуть виконані, а саме, гра не буде завершеною.

Плюси такого методу: проста для розуміння концепція. Після того, як модель навчена, прогнозування наступного ходу відбувається швидко.

Мінуси: необхідний результат може досягатись протягом тривалого часу, оскільки мутації випадкові. Ефективність моделі залежить від входів, доступних для моделі. Якщо вхідні дані лише описують, чи є перешкоди в безпосередній близькості до змії, то остання не бачить повної картини і схильна потрапляти в пастку всередині власного хвоста.

Навчання з підкріпленням

Навчання з підкріпленням- це швидко зростаюча та захоплююче галузь ШІ. В цілому навчання з підкріпленням включає агента, середовище, набір дій, які може виконати агент, і функцію винагороди, яка заохочує агента за хороші дії або карає за погані. Поки агент досліджує навколишнє середовище, він оновлює свої параметри, щоб максимізувати власну очікувану винагороду. У випадку зі змією агентом, очевидно, є змія. Середовище - це поле гри (з багатьма можливими станами цього середовища, залежно від того, де розташовані їжа та змія). Доступні дії - повернути ліворуч, повернути праворуч і продовжувати рухатися прямо.

Подібно до методу без машинного навчання, кожен стан гри пов'язаний із винагородою, яка може бути позитивною чи негативною, так алгоритм повинен зрозуміти, які дії можуть максимізувати винагороду, а яких слід уникати.

Власне алгоритм працює наступним чином:

1. На початку гри мережа ініціалізується з випадковими значеннями.
2. Модель аналізує поточний стан (навколишнє середовище) ;
3. Агент виконує дію на основі результату нейронної мережі. Також є ймовірність що агент виконає випадкову дію, а не на основі свого «мозку». Це реалізовано для того, щоб агент міг дослідити якомога більше ігрового поля та різних станів на ранньому етапі навчання.
4. Після виконання обраної дії, модель збирає дані про новий стан. Під час цієї фази система також обчислює кортеж, утворений старим станом, дією, винагородою та новим станом, і зберігає її в пам'яті;
5. Щоразу, коли змія вмирає, вона вчиться, відбираючи випадкові кортежі з пам'яті, що дає агенту можливість вчитися на своїх минулих діях.

Плюси: Навчання з підкріпленням доволі універсальне, може застосовуватися і до багатьох інших завдань, не вимагає нагляду, окрім налаштування середовища та системи винагород. Результатів навчання такого алгоритму не доводиться чекати так довго, як з генетичними алгоритмами, адже він не мутує випадковим чином.

Мінуси: необхідно задати базовий перелік можливих дій агента. Так само, як у випадку генетичних алгоритмів, ефективність моделі залежить від того, які входи доступні для мережі, і чим цих входів більше тим більше параметрів моделі, що призводить до збільшення часу навчання.

Практична частина

Для тестування та оцінки даних методів навчання ігрових агентів було обрано засоби мови Python, оскільки ця мова вважається однією з найкращих для використання у сфері машинного навчання. Найбільшими перевагами у використанні Python можна виділити велику кількість бібліотек та фреймворків (таких як Numpy, TensorFlow, SciKit-Learn), які спрощують написання коду і час на його розробку. Ще вагомим плюсом є гнучкість цієї мови, розробник може використовувати зручні для нього підходи, об'єктно орієнтоване програмування, або скрипти.

У роботі планується протестувати кожен з наведених методів на практиці у ігровому середовищі, яким було обрано гру Snake. Ідея полягає у тому, щоб з'ясувати, який з агентів, керований цими алгоритмами, найкраще пристосується до обраного ігрового середовища. Для цього планується провести ряд експериментів, які відбуватимуться у два етапи :

1. Для кожного з реалізованих агентів будуть проводитись тести у грі. Ми будемо по черзі запускати на ігрове поле агентів, тренувати їх та звертати увагу на: тривалість навчання агента, середню та максимальну кількість очок, які йому вдасться здобути.

2. Усі агенти одночасно будуть поміщені на ігрове поле, де будуть змагатись за спільний ресурс – їжу. Таким чином ми створимо конкуренцію для цих агентів і побачимо, який з алгоритмів виявиться найбільш конкурентоспроможним для реальних гравців.

© Мельник К. В., Мельник В.М., Нестерук В.О.

Для прикладу наведено тестування одного з алгоритмів, а саме алгоритму навчання з підкріпленням.

Перша стадія – навчання.

Потрапляючи у невідоме для себе ігрове середовище (у нашому випадку - гру Snake,), агент, маючи лише елементи керування, не розуміє цілі гри та її правил. На цьому етапі він просто рухається по полю збираючи якомога більше інформації про те, які дії позитивно впливають на його винагороду, а які навпаки, зменшують її. На рисунку 1.1 ми бачимо, як агент, з часом здобуває досвід та починає віддавати перевагу збиранню їжі. А на рисунку 1.2 – графік його навчання, з якого видно, що у середньому, за 300 проведених ігрових сесій агент у середньому навчився здобувати 32 бали, а його найкращі результати перевищували 50.

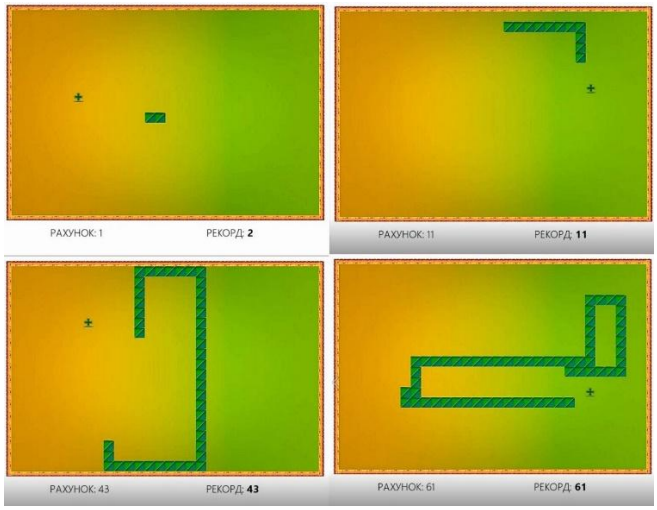


Рисунок 1.1 – Агент, керовний алгоритмом навчання з підкріпленням

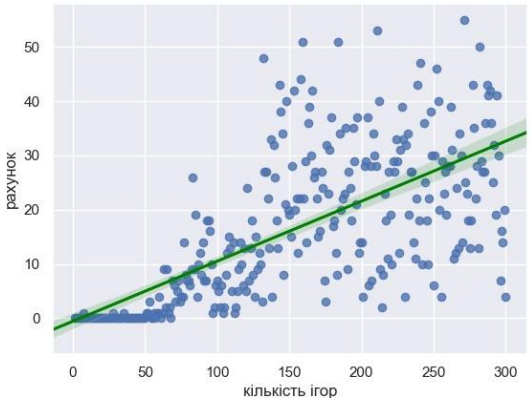


Рисунок 1.2 – Графік здобуття очок агентом під час навчання

Загалом, такі експерименти буде проведено для кожного з чотирьох алгоритмів. Щодо другої стадії, як уже згадувалось – на ігрове поле буде запущено одразу усі чотири змійки, де вони будуть конкурувати між собою.

Висновок

У даній роботі було обговорено основні завдання та обмеження розробки ігрового штучного інтелекту. Наведено основні методи, які використовуються у вирішенні завдань даної галузі. Кожен з вище згаданих методів було описано включно з їх варіаціями та алгоритмами. У результаті аналізу було відокремлено позитивні та негативні моменти у використанні цих алгоритмів.

У підсумку, можна сказати, що кожен з викладених методів заслуговує уваги. Адже є велика кількість обставин, які можуть обумовити використання саме такого алгоритму: розмір проектів, кількість даних, які повинен враховувати агент і вимоги до контакту з гравцями. Наприклад, немає необхідності у створенні «мозку» у випадку з простими об'єктами, які мають обмежений визначений функціонал, достатньо закодувати необхідну поведінку.

References.

1. Russell S. J. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. J. Russell, P. Norvig., 2019.
2. Togelius J. Playing Smart / Julian Togelius., 2019. – (Playful Thinking).
3. Lanham M. Hands-On Deep Learning for Games / Micheal Lanham., 2018.
4. Insa-Cabrera J. Comparing Humans and AI Agents / J. Insa-Cabrera, D. L. Dowe, V. M. Hernández-Lloreda // Artificial General Intelligence / J. Insa-Cabrera, D. L. Dowe, V. M. Hernández-Lloreda. – London: Springer, 2011. – С. 122–132.
5. Буковшин В. Интеллектуальные системы в компьютерных играх. Перспективы развития искусственного интеллекта в игровой индустрии / В. Буковшин, С. Воскобойников. // Современные материалы, техника и технологии. – 2017. – С. 21–32.
6. Spronck P. Difficulty scaling of game AI / P. Spronck, I. Sprinkhuizen-Kuyper, E. Postma. // Universiteit Maastricht.
7. Мероник Т. Ігровий штучний інтелект–підходи до побудови : дис. техн. наук : 121 / Мероник Тетяна – Київ, 2020. – 42 с.
8. Safadi F. Artificial Intelligence in Video Games: Towards a Unified Framework [Електронний ресурс] / F. Safadi, R. Fonteneau, D. Ernst // International Journal of Computer Games Technology. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://www.hindawi.com/journals/ijcgt/2015/271296/.

© Мельник К. В., Мельник В.М., Нестерук В.О.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-34
УДК 004.451
Мельник Василь Михайлович, к.ф.-м.н., доцент,
http://orcid.org/0000-0001-8282-6639
Багнюк Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент,
http://orcid.org/0000-0002-7120-5455
Здолбіцька Ніна Василівна, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-1345-3581
Якимчук Тарас Петрович, магістрант
Луцький національний технічний університет

МЕТОДИ ПОБУДОВИ АДРЕСНОГО ПРОСТОРУ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П. Методи побудови адресного простору безпровідних сенсорних мереж. У даній роботі розглянуто основні задачі та проблеми побудови бездротових сенсорних мереж. Оглянуто переваги й недоліки запропонованих рішень алгоритму побудови та адресації. З'ясовано, що на сьогодні не існує ідеального алгоритму адресації у безпровідних сенсорних мережах. В роботі наведено лише малу частину існуючих рішень для бездротових сенсорних мереж. Однак, велика кількість досліджень у цьому напрямку свідчить про необхідність отримання оптимального алгоритму побудови адресного простору для безпровідних мереж давачів.
Ключові слова: сенсорна мережа, бездротова мережа давачів, адресний простір, адресація.

Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбицкая Н.В., Якимчук Т.П. Методы построения адресного пространства беспроводных сенсорных сетей. В данной работе рассмотрены основные задачи и проблемы построения беспроводных сенсорных сетей. Осмотрено преимущества и недостатки предложенных решений алгоритма построения и адресации. Выяснено, что на сегодня не существует идеального алгоритма адресации в беспроводных сенсорных сетях. В работе приведено лишь малую часть существующих решений для беспроводных сенсорных сетей. Однако, большое количество исследований в этом направлении свидетельствует о необходимости получения оптимального алгоритма построения адресного пространства для беспроводных сетей давателей.
Ключевые слова: сенсорная сеть, беспроводная сеть датчиков, адресное пространство, адресация.

Melnyk V., Bahniuk N., Zdolbitska N., Yakimchuk T. Methods for constructing the address space for wireless sensor networks. This paper studies the main tasks and problems of building the wireless sensor networks. The advantages and disadvantages of the proposed solutions of the construction and addressing algorithm are considered. It has been found that there is currently no perfect addressing algorithm in wireless sensor networks. The paper presents only a small part of the existing solutions for wireless sensor networks. However, a large number of studies in this direction indicates the real need to obtain an optimal algorithm to construct the address space for wireless sensor networks.
Keywords: sensor network, wireless sensor network, address space, addressing.

Вступ

В наш час бездротова мережа давачів (БМД) збоку постачальників Інтернет (англ. wireless sensor network, WSN) – це мережа, яка складається із сенсорів, має властивість самоорганізації та служить для моніторингу різних процесів. Така мережа може покривати від декількох метрів до десятків кілометрів площі користувачів.

Базова станція (БС) або приймач відіграють роль інтерфейсу між діючою мережею і користувачами. Якщо ввести запит і зібрати результати від приймача, то можна отримати всю необхідну інформацію з мережі. Мережа БСМ може інтегрувати в собі сотні тисяч сенсорів, які можуть між собою зв'язуватися через радіосигнали. Безпровідний сенсор оснащений сенсорами, обчислювальними пристроями, радіо-приймачами і компонентами живлення.

Сфера використання залежить від типу сенсора. Загалом така мережа являє собою певну кількість пристроїв, пов'язаних між собою та/або базовою станцією через радіосигнали. Кожен пристрій, який називається *мот*, містить накопичувач даних, обчислювальний модуль, радіо-модуль і, власне, давач та елемент живлення. Сенсор обирається в залежності від цілей: температурний, датчик вологості, руху, освітлення та інші.

Основним проблемним місцем є живлення цих пристроїв, оскільки після активації вони повинні залишатися тривалий час автономними. З цією метою використовуються невеликі батареї, а рідше – сонячні елементи. Саме тому постає питання розробки алгоритмів управління сенсорними мережами, у яких буде максимально оптимізоване енергоспоживання. Поряд з цим виникає проблема раціоналізації процесів, що виконуються на вузлах мережі. Також одним із основних питань є безпека такої мережі та засоби її захисту.

© Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П.

Загалом можна сформулювати наступні якості побудови бездротової сенсорної мережі: легкість та комфортність початкового її налаштування, максимізація енергоефективності, підтримка її цілісності після виходу з ладу певних вузлів.

Із другого пункту також можна виокремити дві підзадачі: 1) точне та швидке визначення вузла у мережі та просторі; 2) мінімізація інформації передавання. Точна та швидка ідентифікація вузла в мережі – це критерії, які необхідні для ефективної маршрутизації. Ідентифікація, у свою чергу, забезпечує енергоефективність передачі даних та їх надійну доставку до кінцевого користувача.

Особливості самооранізовуючих мереж

У нинішній телекомунікації велика роль належить радіомережам з самоорганізацією (self-organizing). Уже з назви видно, що побудова радіомережі з самоорганізацією надає можливість створення бездротової мережі без або з мінімальною участю людини. Дана архітектура була названа «ad-hoc», або мережі, створені для певних цілей [0]. Характерними особливостями архітектури таких мереж є: зміна розмірності чи кількості вузлів мережі і площа покриття, мобільність і стаціонарність вузлів, випадковість мережевої топології, її динамічність і неоднорідність, організація передачі інформації через комутацію пакетів з застосуванням багатострибкової маршрутизації на кожному з мережевих вузлів, децентралізований типу управління з дотриманням автономності вузлів у роботі без фіксації будь-якої мережевої інфраструктури, динамічність і ненадійність радіо-ресурсу, колективне його використання та зміни продуктивності мережевих каналів і вузлів, масштабованість в легкому нарощенні і зміні кількості вузлів, обмеженість вузлових ресурсів, обмежена безпека обумовлена обмеженнями фізичної безпеки радіоканалу.

Реальна природа радіоканалу дає можливість зловмисникові застосовувати активні і пасивні мережеві перешкоди, прослуховувати передавання вузлів, проводити аналіз мережевого трафіку та розкривати існуючу систему мережевого управління. Динаміка топології та інтегрована робота вузлів допускають вразливість функціонування мережевих протоколів на канальному, мережевому й інших рівнях моделі взаємодії подібних відкритих систем. Зростаючий інтерес до безпровідних мереж призвів до появи стандартизації [2-5] та окремих технологій застосування на фізичному і канальному рівнях для сьогоднішніх комп'ютерів, таких як Bluetooth, IEEE 802.11 різних версій, HiperLan й інших. Однак ці протоколи і стандарти не враховують тонкощів побудови та функціонування мереж із самоорганізацією.

Швидкий розвиток елементної бази та зростання обчислювальних можливостей на сьогодні визначили широкий спектр сфер застосування МСР: мережі ad-hoc з випадковими проте стаціонарними користувачами; мобільні радіомережі з реалізацією повністю децентралізованого управління без базових станцій, мережі зонової структури зі створенням безпровідної магістралі і зони обслуговування мобільних/стаціонарних абонентів з доступом до маршрутизатора, сенсорні мережі з малогабаритних сенсорних вузлів та функціями моніторингу відповідних зовнішніх параметрів, обробки і передачі даних по каналах радіозв'язку, автомобільні та гібридні мережі з наявністю спільного функціонування згаданих вище мереж.

Отже, у наш час мобільні та безпровідні технології забезпечують глобальне покриття з метою передачі даних і на основі них розвиваються різні види технологій призначених для спілкування стаціонарних та мобільних абонентів. Сьогодні системи мобільного і безпровідного зв'язку орієнтовані на створення центрів користувачів й базуються на об'єднанні різних за типом систем доступу із метою утворення уніфікованого середовища з комутацією пакетів. Основним для користувача є отримання різноманітних послуг, мультимедійних пакетів і різноманітного контенту через різні системи доступу та пристрої. І незважаючи на значний прогрес побудова МСР залишається невирішеною, а також проблеми її створення та експлуатації.

Теоретичні основи побудови адресного простору БМД

Дослідження БСМ у своїй більшості брали до уваги однорідні сенсори, однак в наш час активні дослідницькі роботи ведуться з метою вивчення гетерогенних сенсорних мережах [6], в яких сенсори різняться своєю енергією один від одного. Паралельно досліджується і проблема розгортання сенсорів ретранслятора, який забезпечує відмовостійкість мережі з більш високим її підключенням в цілісну систему гетерогенних безпровідних сенсорних мереж, в якій сенсори володіють різними радіусами передавання. Сьогоденні мережеві архітектури саме з гетерогенними пристроями і швидке просування в цьому напрямку мережевої технології усувають існуючі обмеження, значно розширюючи діапазон можливих програм для БСМ.

Найбільш розповсюдженими протоколами, що використовуються для вирішення задач БМД є протоколи, які підтримуються і розвивається альянсом ZigBee. Мережі ZigBee – це мережі із

© Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П.

самоорганізацією та самовідновленням. Оскільки ZigBee-пристрої при вмиканні живлення, завдячуючи вбудованому програмному забезпеченню, вміють самостійно знаходити один одного й формувати мережу, а у разі поломки одного із вузлів можуть відшукувати і встановлювати нові маршрути задля передачі даних.

Розглядаючи стандарт ZigBee, призначений для формування загального поняття про побудову адресного простору в бездротових сенсорних мережах, існує два принципових механізми побудови адресного простору – стохастичного та розподіленого присвоювання адрес. Для обох цих механізмів характерним є те, що кожен батьківський вузол самостійно призначає адреси для дочірніх вузлів, без потреби взаємодії із мережевим координатором.

Стохастична адресація (алгоритм SAAM, Stochastic Address Assignment Mechanism) полягає у присвоюванні випадкової адреси новим вузлам. Адресація не є ієрархічною, тому при додаванні нового пристрою до мережі потрібно проводити перевірку на дублювання адрес, щоб не виникало конфліктів. При конфлікті адрес пристрій повинен перепідключитися до мережі для отримання нової адреси. Структура дерева не доступна для маршрутизації SAAM. Така адресація не прийнятна для сенсорних мереж малої потужності, тому що вимагає частої трансляції пакетів із заголовками великого розміру, а також протоколи маршрутизації ODRP та TDRP, які застосовуються тут, потребують додаткової передачі необхідної службової інформації та зберігання великих таблиць маршрутизації [7].

Розподілена адресація за алгоритмом DAAM (Distributed Address Assignment Mechanism) полягає у побудові деревоподібної мережі. Унікальність присвоєних адрес забезпечує функція CSkip. Попередня побудова маршрутів та таблиць маршрутизації у даному методі не потрібна. Разом із функцією CSkip та деревоподібною топологією у DAAM методі з'являються такі поняття як максимальна глибина дерева L_m, максимальна кількість нащадків C_m та максимальне число нащадків які можуть виступати роутерами R_m. Батьківський вузол використовує ці параметри для обчислення функції (1) CSkip з метою знаходження розмірів адресних пулів для вузлів-нащадків [8].

$$\begin{aligned} CSkip &= \{ 1 + Cm * (Lm - d - 1) \} \, if \; Rm = 1 \; \ldots (a) \\ &= \{ 1 + Cm - Rm - Cm * [Rm \,\hat{}\, (Lm - d - 1]) / 1 - Rm \} \end{aligned} \tag{1}$$

CSkip(*d*) – це значення глибини батьківського елемента. Припустимо, що батьківський вузол на глибині *d* має адресу A_p. Тоді *n*-му нащадку-роутеру надається адреса:

$$Ap + (n - 1) \times CSkip\,(d) + 1,$$

а *n*-му нащадку-кінцевому пристрою присвоюється адреса:

$$Ap + Rm \times CSkip\,(d) + n$$

При використанні методу DAAM важко отримати велику площу покриття мережею, оскільки при певних заданих початкових параметрах мережа швидко досягатиме лімітів підключення, так як вузли можуть ставати як дочірніми одному батьківському, так і батьківськими – наступному вузлу, побудувавши лінійний ланцюг і заповнивши глибину дерева [9]. Наприклад, при початкових параметрах $L_m = 4$, $C_m = 3$, $R_m = 3$, може виникнути проблема, коли *мот* хоче підключитися до ближнього роутера, але той уже має максимум нащадків.

© Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П.

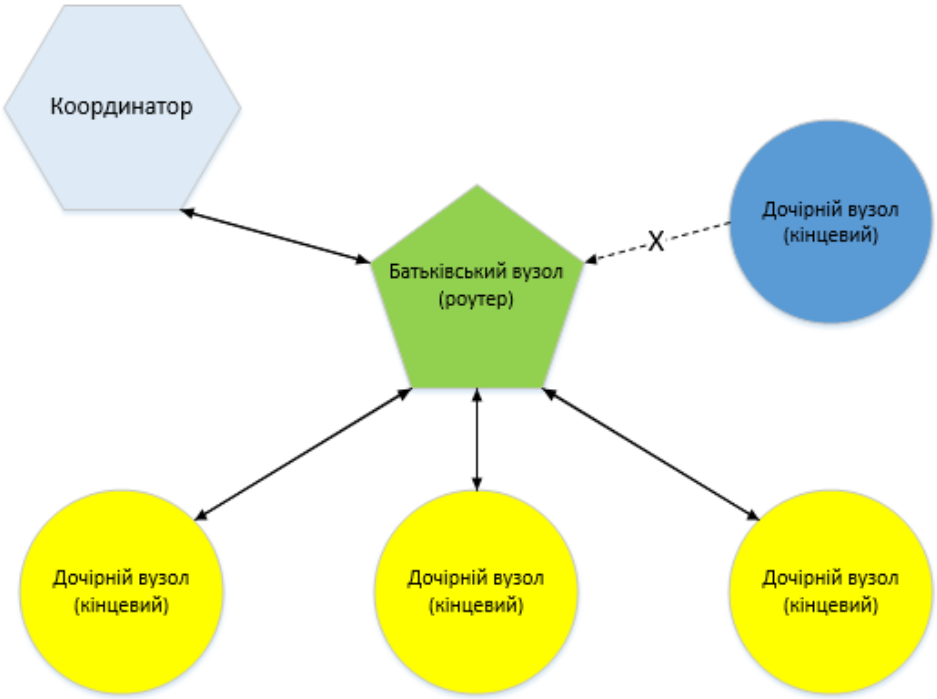


Рис. 1.1 – Проблема надання адреси новому *моту* в DAAM

Обговорення проблем основних методів

В наш час пропонується усе більше і більше алгоритмів, які можуть компенсувати недоліки двох попередніх. Наприклад алгоритм DIBA (Distributed Borrowing Addressing) – це розподілена адресація запозичених адрес. Даний метод вирішує проблему, коли адреса не може бути призначена новому *моту*, через досягнення ліміту підключених нащадків. Батьківський вузол-роутер посилає повідомлення, що хоче запозичити адресу. Отримавши дане повідомлення, дочірній кінцевий вузол записує адресу, якою він поділився з батьківським, оновлює власну таблицю маршрутизації. Далі батьківський вузол-роутер надає запозичену адресу *моту*, що бажає приєднатися [10].

Механізм конкуренції за керівництво кластером (cluster-head competitive mechanism) надає вирішення проблеми енерго-використання шляхом підрахунку споживання енергії [11]. Коли заряд певного батьківського вузла стане меншим за поточне середнє значення, координатор оголошує вибори нового батьківського вузла. Новим батьківським вузлом стане мот із найбільшим запасом енергії. Вузли із зарядом, меншим ніж поточне середнє значення, будуть проігноровані координатором, оскільки вони споживають забагато енергії. Новообраний батьківський вузол починає транслювати свій ID-номер, очікуючи під'єднання решти мотів і розподіляє ним адреси [11].

Існує багато інших алгоритмів та методів побудови адресного простору в безпровідних сенсорних мережах, такі як: алгоритм динамічного виділення адрес для контролю та управління БМД, Принцип маршрутизації та адресації без підтримки стану БМД, алгоритми побачення (рандеву) для БМД із мобільними базовими станціями, покращений алгоритм маршрутизації на базі оптимізації колонії мурашок у БМД та покращений алгоритм локалізації на основі генетичного алгоритму в БМД.

Можна сформувати наближену методику для вибору варіанту і побудови сенсорної мережі з наперед відомим призначенням, яка дозволяє підходом підбору технологій, варіантів побудови безпровідної сенсорної мережі та розрахунку технічних характеристик і параметрів експлуатації виконати вибір найбільш раціонального варіанту створення сенсорної мережі. Мета побудови сенсорної мережі та вибір її раціонального підходу реалізації для заздалегідь відомчого призначення полягає в ефективному автоматизованому управлінні конкретної сфери чи виду діяльності.

Під терміном ефективно необхідно розуміти отримання найкращого результату комунікації в залежності від використання наявних ресурсів. Основні вузлові етапи реалізації цієї методики поднюють в собі формування цілей БСМ для реалізації відповідних завдань відомчого призначення, визначення стартових даних, чіткий аналіз уже діючих технологій БСМ і виділення найбільш придатної з них. Якщо технологія вибрана, то вона ухвалюється як найкраща і найраціональніша технологія для успішного виконання накреслених завдань відповідно до поставлених цілей. Далі слід вибрати частотний діапазон та перевірити електромагнітну сумісність (ЕМС), процес перевірки якої

© Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П.

закінчується тоді, коли чітко визначається здатність одночасного функціонування радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв з очікуваною якістю в реально діючих умовах їх експлуатації та з урахуванням впливу випадкових радіоперешкод без створення недопустимих таких перешкод для інших радіоелектронних засобів під час їх роботи.

Наступними кроками є формування структури БСМ для наміченого призначення, вибір способу реалізації інформаційної безпеки в сенсорній мережі, узгодження та утвердження використовуваних топологій в БСМ, вибір робочих протоколів для передачі даних, чіткий розрахунок параметрів впливу на енергоресурси та їх мінімізацію, проведення розрахунку технічно-експлуатаційних параметрів та характеристик *n*-го варіанту побудови БСМ. Слід також розрахувати час (тривалість) побудови БСМ для реалізації поставленої мети, виконати запис отриманих робочих результатів для *n*-го варіанту побудови БСМ в відповідну базу даних. При цьому слід переглянути всі розглянуті варіанти побудови БСМ. Наступним є остаточний вибір найбільш раціонального варіанту побудованої БСМ за *k*-тим критерієм, який і затверджується прийняттям відповідних рішень на реалізацію такої побудови БСМ відповідно до ухваленого варіанту. Якщо подібне рішення приймається, то надалі розробляються проект та різні види документації і виконується побудова БСМ.

Застосування даного методичного опису наполягає на чіткості формування мети та кроків реалізації. Він допоможе розробникам переглянути найбільш можливі варіанти побудови мережі, не затрачати зайвий час та кошти, а також передбачити структурні та функціональні переваги для ефективного досягнення поставленої мети.

Висновок

У статті було обговорено вагомі завдання та проблематику побудови бездротових сенсорних мереж. Здійснено також огляд основних понять та принципів, з'ясовано переваги й недоліки запропонованих рішень в побудові безпровідних сенсорних мереж. Однак, можна сказати, що сьогодні ще не існує якогось єдиного ідеального алгоритму адресації та підходу реалізації у розробці алгоритмів побудови сенсорних мереж. Дане питання більш опирається на цілі їх застосування та види виконання сервісу.

Нами наведено тільки частину пророблених завдань для побудови бездротових сенсорних мереж. Однак, велика кількість досліджень в наш час у даному напрямку говорить про актуальність даної проблеми та отримання більш оптимального алгоритму та підходу для побудови адресного простору та безпровідних мереж давачів.

Список бібліографічного опису.

1. Chai K Toh. Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems / Chai K Toh., 2002.
2. IEEE Std 802.11-1999 Edition (Reaff 2003), Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.
3. IEEE Std 802.11a-1999 (Reaff 2003), Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
4. IEEE Std 802.11b-1999, Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
5. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.
6. X. Han, X. Cao, E. L. Lloyd and C. Shen, "Fault-Tolerant Relay Node Placement in Heterogeneous Wireless Sensor Networks", IEEE Transaction on Mobile Computing, Vol. 9, No. 5, May 2010.
7. Address assignment for wireless sensor networks in mines / [N. El Rachkidy, A. Guitton, B. Bakhache та ін.].
8. Nikunj S. Review on address assignment mechanism in ZigBee wireless sensor networks / S. Nikunj, J. Shraddha.. – (Vol. 2 Issue 11).
9. Chun-Hsien Wu. Heterogeneous Wireless Sensor Network Deployment and Topology Control Based on Irregular Sensor Model / Chun-Hsien Wu, Yeh-Ching Chung. – Taiwan: Department of Computer Science, National Tsing Hua University, Hsinchu 30013.
10. Distributed Borrowing Addressing Scheme for ZigBee/IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks / [P. Sungjin, J. Eun, H. Jae та ін.].
11. An optimized cluster structure routing method based on leach in wireless sensor networks / [X.-X. Ding, M. Ling, Z.-J. Wang та ін.].

References

1. Chai K Toh. Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems / Chai K Toh., 2002.
2. IEEE Std 802.11-1999 Edition (Reaff 2003), Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.
3. IEEE Std 802.11a-1999 (Reaff 2003), Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
4. IEEE Std 802.11b-1999, Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
5. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.

© Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П.

6. X. Han, X. Cao, E. L. Lloyd and C. Shen, "Fault-Tolerant Relay Node Placement in Heterogeneous Wireless Sensor Networks", IEEE Transaction on Mobile Computing, Vol. 9, No. 5, May 2010.
7. Address assignment for wireless sensor networks in mines / [N. El Rachkidy, A. Guitton, B. Bakhache та ін.].
8. Nikunj S. Review on address assignment mechanism in ZigBee wireless sensor networks / S. Nikunj, J. Shraddha.. – (Vol. 2 Issue 11).
9. Chun-Hsien Wu. Heterogeneous Wireless Sensor Network Deployment and Topology Control Based on Irregular Sensor Model / Chun-Hsien Wu, Yeh-Ching Chung. – Taiwan: Department of Computer Science, National Tsing Hua University, Hsinchu 30013.
10. Distributed Borrowing Addressing Scheme for ZigBee/IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks / [P. Sungjin, J. Eun, H. Jae та ін.].
11. An optimized cluster structure routing method based on leach in wireless sensor networks / [X.-X. Ding, M. Ling, Z.-J. Wang та ін.].

© Мельник В.М., Багнюк Н.В., Здолбіцька Н.В., Якимчук Т.П.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-35
УДК 004.94
Озерчук Ігор Михайлович, провідний науковий співробітник
https://orcid.org/0000-0001-7011-0772
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ

ФОРМУВАННЯ СТІЙКОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Озерчук І. М. Формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет. Проведено дослідження принципів формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет. Розкрито моделі, методи та алгоритми реалізації передачі даних у мережі Інтернет. Описано принципи формування мережі передачі даних. Підкреслено, що такий параметр, як швидкість передачі пакетів даних у мережі Інтернет контролюється потоком даних і одночасно – непрямими вимірами. Зазначено, що особливої проблематики набуває розподіл потоків даних найкоротшими шляхами для здійснення швидкої і якісної передачі масивів даних. Наголошено, що способи передачі даних у мережі Інтернет, які вимагають мінімального часу, або способи з мінімальними перешкодами належать до такого роду проблем, на основі цього, зауважено, що оптимізація тракту повинна здійснюватися за будь-якими технічними та економічними критеріями, а обрані шляхи повинні гарантувати ефективне використання ліній та вершин зв'язку. Обґрунтована необхідність створення та розвитку нових моделей комп'ютерних мереж у зв'язку з появою глобальних мереж, зростанням інформації, що підлягає передачі, її об'ємами та необхідністю підтримки якісної комп'ютерної безпеки. Описано реалізацію методу Дейкстри, Джонсона та Джексона. Математично обґрунтовано кожен з алгоритмів та сформовано низку переваг та недоліків описаних алгоритмів у процесі передачі даних у мережі Інтернет з урахуванням умов передачі, кількості інформації, що передається та каналів, як застосовано для передачі. Наголошено, що застосування розглянутих алгоритмів передачі даних дозволить оптимізувати процес передачі та обробки даних у комп'ютерних мережах, в свою чергу, оптимізована передача та обробка даних значно скоротить час роботи, а також витрати на розробку та підтримку програмних продуктів, зменшення витрат на вдосконалення серверного програмного забезпечення можливо за рахунок інтеграції інформаційних ресурсів у центр обробки даних, за умови здійснення інтеграції, значно знизяться витрати на послуги та передачу даних у мережі Інтернет.
Ключові слова: канал передачі даних, мережа, Інтернет, формування, стійкість, вплив, пакет, безпека, швидкість.

Озерчук И. М. Формирование устойчивого канала передачи данных в сети Интернет. Проведено исследование принципов формирования устойчивого канала передачи данных в сети Интернет. Раскрыто модели, методы и алгоритмы реализации передачи данных в сети Интернет. Описаны принципы формирования сети передачи данных. Подчеркнуто, что такой параметр, как скорость передачи пакетов данных в сети Интернет контролируется потоком данных и одновременно - косвенными измерениями. Отмечено, что особой проблематики приобретает распределение потоков данных кратчайшими путями для осуществления быстрой и качественной передачи массивов данных. Отмечено, что способы передачи данных в сети Интернет, которые требуют минимального времени, или способы с минимальными препятствиями относятся к такого рода проблем, на основе этого, замечено, что оптимизация тракта должна осуществляться по любым техническим и экономическим критериям, а избранные пути должны гарантировать эффективное использование линий и вершин связи. Обоснована необходимость создания и развития новых моделей компьютерных сетей в связи с появлением глобальных сетей, ростом информации, подлежащей передаче, ее объемами и необходимостью поддержания качественной компьютерной безопасности. Описаны реализацию метода Дейкстры, Джонсона и Джексона. Математически обоснованно каждый из алгоритмов и сформирован ряд преимуществ и недостатков описанных алгоритмов в процессе передачи данных в сети Интернет с учетом условий передачи, количества передаваемой и каналов, как применено для передачи. Отмечено, что применение рассмотренных алгоритмов передачи данных позволит оптимизировать процесс передачи и обработки данных в компьютерных сетях, в свою очередь, оптимизированная передача и обработка данных значительно сократит время работы, а также расходы на разработку и поддержку программных продуктов, уменьшение затрат на совершенствование серверного программного обеспечения возможно за счет интеграции информационных ресурсов в центр обработки данных, при условии осуществления интеграции, значительно снизятся расходы на услуги и передачу данных в сети Интернет.
Ключевые слова: канал передачи данных, сеть, Интернет, формирования, устойчивость, влияние, пакет, безопасность, скорость.

Ozerchuk Ihor. Formation of a sustainable data transmission channel on the internet. A study of the principles of forming a stable data transmission channel on the Internet. Models, methods and algorithms for implementing data transmission on the Internet are revealed. The principles of data network formation are described. It is emphasized that such a parameter as the speed of data packets transmission on the Internet is controlled by the data flow and at the same time - by indirect measurements. It is noted that the distribution of data streams by the shortest ways for the implementation of fast and high-quality data arrays is especially problematic. It is emphasized that the methods of data transmission on the Internet, which require minimal time, or methods with minimal interference are such problems, on this basis, it is noted that the optimization of the path should be carried out according to any technical and economic criteria, ensure efficient use of communication lines and vertices. The need to create and develop new models of computer networks in connection with the emergence of global networks, the growth of information to be transmitted, its volume and the need to maintain high-quality computer security. The implementation of the method of Dijkstra, Johnson and Jackson is described. Each of the algorithms is mathematically substantiated and a number of advantages and disadvantages of the described algorithms in the process of data transmission on the Internet are formed, taking into account the conditions of transmission, the amount of information transmitted and the channels used for transmission. It is emphasized that the application of the considered algorithms of data transfer will allow to optimize the process of data transfer and processing in computer networks, in turn, optimized data transfer and processing will significantly reduce operating time and software development and maintenance costs. software is possible due to the integration of information resources into the data center, provided the integration, significantly reduce the cost of services and data transmission on the Internet.
Keywords: data channel, network, Internet, formation, stability, impact, package, security, speed.

© Озерчук І. М.

Вступ та постановка проблеми дослідження. За останнє десятиліття українське суспільство пройшло шлях становлення та розвитку інформаційних технологій в усіх сферах життя. Інформаційні комп'ютерні мережі вийшли на новий рівень інноваційності. Формування оптимальної системи управління інформаційними комп'ютерними мережами полягає у необхідності моделювання безпечної передачі та якісної обробки даних [1]. Комп'ютерні мережі можуть об'єднати велику кількість підмереж з різною структурою, що в даний час є основною проблемою.

Складність процесу моделювання полягає у масштабності підключених пристроїв, які зберігають і передають дані по лініях зв'язку; високому ступені невідповідності елементів, які включає мережа, це і різноманітні типи комп'ютерів, і комунікаційне обладнання, операційні системи та додатки; також впливовим фактором є засоби об'єднання під мереж, до їх числа варто віднести лінії сполучення, телефонні канали, супутниковий зв'язок, тощо.

Регулювання інформаційних комп'ютерних мереж має змінити передачу та обробку інформації в мережі. Комп'ютерна мережа також повинна забезпечити оптимальне використання ресурсів, а також сумісність мережевого обладнання та роботи з прогнозування

До проблем формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет варто віднести: забезпечення адаптованості алгоритмів управління в ситуаціях, коли наявної інформації недостатньо для прийняття рішень; прогнозування роботи інформаційних комп'ютерних мереж для підвищення продуктивності управління; прийняття рішень, що відповідають реальним життєвим ситуаціям передачі інформації; забезпечення операційної системи із самокеруванням для її вдосконалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет в умовах глобальної інформатизації сучасного суспільства є пріоритетним напрямком напрацювань багатьох як вітчизняних так і зарубіжних вчених.

М.А. Владимиренко, В.Ю. Соколов та В.М. Астапеня [2] провели дослідження стійкості роботи однорангових безпроводових мереж із самоорганізацією. У статті наведено принципові електричні схеми пристроїв, список використаного обладнання та програмного забезпечення, що було використано та наведено фотоматеріали прототипів створеної системи. Дана система може бути використана в реальних умовах для утворення системи розумного дому, отримання інформації з певних IoT датчиків.

Моделі та методи підвищення якості зв'язку в безпроводових телекомунікаційних системах на основі формування паралельних інформаційних потоків дослідив С. О. Нікітін [2]. Автором розроблено математичну модель оцінювання поточної пропускної здатності телекомунікаційної мережі та стану її компонентів на основі просторового розділення користувачів. Запропонована модель дозволяє виконати оцінювання впливу завад на швидкість передачі інформації у пакетних системах передачі даних, оцінити характеристики бездротового середовища передачі даних та надати бездротовому пристрою можливість динамічно змінювати параметри MAC-рівня в залежності від зміни параметрів середовища. Вперше розроблено метод оптимізації довжини інформаційного пакету передачі інформації у бездротових мережах за дії завад. Відмінність від існуючих полягає у тому, що оптимальна довжина переданого пакету формується в залежності від рівня завад і типу модуляції, що дозволяє підвищити швидкість передачі інформації, пропускну здатність мережі й якість обслуговування в цілому.

У [4] висвітлено принципи та технологію функціонування цифрових мереж. Розглянуто методики проєктування та єдиного системного підходу до оцінки телекомунікаційних сервісів.

Технології забезпечення безпеки мережевої інфраструктури розкривають В. Л. Бурячок, А. О. Аносов, В. В. Семко, В. Ю. Соколов та П. М. Складанний [5].

Із зарубіжних варто рів варто відзначити такі роботи як: M. M. Zanjireh and H. Larijani [6], C. K. Toh, A. N. Le, and Y. Z. Cho [7], F. Stajano and R. Anderson [8], U. Wilensky, R. William [9], S. Zhu, S. Xu, S. Setia, and S. Jajodia [10] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Мета статті. Провести дослідження принципів формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет.

Викладення основного матеріалу дослідження. Системи передачі даних часто функціонують в умовах значних коливань властивостей ліній передачі, через які передаються дані по мережі Інтернет. Такі коливання залежать від зовнішніх умов, а також від змін у взаємному положенні приймача-передавача.

При моделюванні каналів передачі даних у мережі Інтернет часто використовується модель прихованого марківського процесу. Окремим випадком цього процесу є модель Гілберта. Координація

© Озерчук І. М.

швидкості передачі даних з поточним станом лінії передачі набуває вирішального значення. Один із відомих розроблених підходів складається з ідентифікації характеристик лінії передачі та вибору оптимального методу кодування сигналу, узгодженого з поточною частотною характеристикою лінії передачі. Зазначений підхід є складним у апаратній реалізації. У той же час методи управління швидкістю передачі даних у мережі Інтернет, які дозволяють узгодити її з поточним станом лінії передачі, вже використовуються в операційних системах зв'язку тат є доволі ефективними.

Так, можна вказати протокол TCP / IP, де швидкість передачі пакетів зростає лінійно на противагу втраті пакетів. Після цього максимальна швидкість поступово зменшується у фіксованій пропорції, а потім знову зростає за лінійним законом. Необхідно підкреслити, що цей метод управління є типовою реалізацією стохастичного управління процесом на неповних даних, що передаються у мережі Інтернет. Насправді швидкість розриву втрат пакетів є спостережуваним процесом, пов'язаним як зі станом лінії передачі, так і зі швидкістю розірвання пакетів.

Швидкість передачі пакетів також контролюється потоком даних і одночасно – непрямими вимірами. В останні роки були запропоновані механізми управління, в яких здійснюється безпосереднє вимірювання параметрів пакетів, що були втрачені при передачі і налаштуванні мережі, таким чином, щоб забезпечити максимальну зручність для користувача.

Проста передача вже існуючих технічних рішень бездротовими лініями зв'язку призведе до очевидно неоптимального рішення, оскільки рівень коливань в бездротових лініях зв'язку і, що найголовніше, їх тимчасові характеристики суттєво відрізняються від тих, що є у фіксованих волоконно-оптичних носіях та дротових лініях зв'язку.

З іншого боку, у стохастичній теорії управління в системах із прихованими марківськими процесами є результати, які дозволяють розраховувати на успіх під час їх застосування при вирішенні проблем систем передачі даних. Запропонований підхід базується на таких передумовах: умова каналу описується ходою Маркова з кінцевим набором станів і відомою інтенсивністю переходів; швидкість передачі даних є робочим параметром, а інтенсивність втрат пакетів є відомою монотонною функцією від швидкості передачі та стану каналу; метою операції є вибір такого закону зміни швидкості передачі даних, за допомогою якого досягається максимальне середнє значення успішно переданих пакетів у мережі Інтернет.

Основною проблемою в організації мереж є розподіл потоків даних найкоротшими шляхами. Способи передачі даних у мережі Інтернет, які вимагають мінімального часу, або способи з мінімальними перешкодами належать до такого роду проблем. Відповідно, оптимізація тракту повинна здійснюватися за будь-якими технічними та економічними критеріями, а обрані шляхи повинні гарантувати ефективне використання ліній та вершин зв'язку.

Використання адаптивної маршрутизації дозволяє зменшити середній час знаходження пакета в мережі, дає можливість зменшити витрати на його доставку та підвищити загальну надійність мережі завдяки автоматичному вибору маршруту на основі даних топології мережі. Але всі ці функції надзвичайно навантажують комп'ютерні центри. Тому використання адаптивної маршрутизації можливо в обмеженому режимі. З цієї причини існує проблема розробки програмного забезпечення оптимізації вибору шляху з метою зменшення навантаження на комп'ютерні центри, а також отримання можливості використання багатопроменевої маршрутизації. Для вибору найбільш підходящого маршруту для відправки даних у мережі Інтернет до наступного вузла використовується графік директив. Вершини графіка це маршрутизатори, а ребра, що з'єднують вершини, це фізичні лінії зв'язку, кожній з яких відповідає якесь інтегральне значення.

Сьогодні існує кілька алгебраїчних методів, які дозволяють описати процес отримання результатів у формі, зручній для подальших досліджень.

Теорія черг відіграє важливу роль у формуванні стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет. Свого часу використання теорії дозволило вирішити багато завдань, наприклад, моделювання магістральних мереж, які управляють трафіком між системами.

Слід зазначити, що ця теорія охоплює широкий спектр моделей, серед яких можна відзначити: мережі Джексона; мережі Маркова з різними класами вимог та параметрів, що залежать від стану; мережі із випадковим вибором каналу в блоці та узагальненим процесором спільного використання; мережі з дисципліною обслуговування «узагальнений обмін процесорами» та різними класами вимог; мережі черг з різними каналами.

Багато «черг» та «каналів обслуговування», які отримують запити на обслуговування, є предметом теорії доменів систем масового обслуговування. Цей математичний алгоритм поширюється в процесі подання заявок на аналіз комп'ютерних мереж.

© Озерчук І. М.

На основі систем масового обслуговування формування нових технологій передачі даних, а також поява глобальних мереж, які, у свою чергу, пов'язані зі зростанням інформації та комп'ютерною безпекою, призвели до необхідності створення та розвитку нових моделей комп'ютерних мереж [3].

Існуючі методи, як правило, використовують перші два моменти (середнє значення та дисперсію) розподілу часу у вхідному потоці та часу обслуговування. Але вони досить невизначені, і не завжди вдається отримати надійні результати. Тому деякі автори пропонують використовувати підходи щодо обміну. Метод теорії черг дозволяє визначити розміри найкоротших шляхів між усіма вершинами, а також довжини всіх можливих шляхів між кожним набором з двох вершин мережі. Це дозволяє знаходити найменші відстані в цій мережі. Методи лінійного програмування, ці методи пов'язані з визначенням найкращої програми адміністративних дій у випадку, коли лінійна залежність, в якій невідомі знаходяться на першому ступені, виступає як цільова функція та обмеження. Визначення проблеми лінійного програмування має надзвичайний характер. Він полягає у визначенні таких змінних значень, при яких цільова функція досягає свого максимуму або мінімуму залежно від характеру проблеми.

Особливе місце в математичному забезпеченні процедур формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет займає Дейкстра алгоритм, який базується на принципі оптимальності. Цей метод дозволяє знайти найкоротший шлях між одним вузлом у графіку та всіма іншими. Алгоритм працює лише для графіків без ребер, що мають негативну вагу, хоча зараз існують узагальнені методи усунення цього недоліку (метод Дейкстри з потенціалами). Суть алгоритму полягає у покроковій побудові дерева найкоротших маршрутів від початкової вершини. Виникає необхідність після додавання на кожному етапі лінії зв'язку і вузла щоб новостворений найкоротший шлях був мінімально можливим на всіх кінцевих вершинах, яких ще немає в дереві. Існують обчислювані вектори масштабів шляхів і коригування початкових векторів найкоротших шляхів у процесі створення дерева найкоротших шляхів. Складність алгоритму Дейкстри залежить від способу пошуку вершини v, а також від способу зберігання безлічі не відвіданих вершин та способу оновлення тегів. На графіку G, n і m – це відповідно кількість вершин, а ребра для пошуку вершини, використовуючи найкоротший шлях до вершини v, проходять через всю сукупність n.

Час роботи алгоритму мінімізації становить $O(n^2 + m)$. Для розряджених графіків (для яких $m << n$) при використанні спеціальних алгоритмів оптимізації швидкості роботи робочий час може становити $O(n\,log\,n + m\,log\,n)$ або навіть $O(n\,log\,n + m\,)$. Метод Дейкстра широко застосовується в мережевому програмуванні. Використання модифікованого алгоритму Дейкстри як ефективного інструменту для розподілу потоків вхідної інформації в основних мережах IP за допомогою протоколу OSFP дозволяє поліпшити надійність мережі, захищаючи її від перевантажень даних.

Алгоритм Джонсона дозволяє знайти найкоротший шлях між усіма парами вершин у розрідженому, зваженому на ребра, спрямованому графіку. Цей метод діє, якщо графік містить ребра з позитивною або від'ємною вагою, але немає циклів з від'ємною вагою. Якщо в алгоритмі Дейкстри не зменшується черга з пріоритетами у формі послідовності Фібоначчі, час роботи алгоритму Джонсона становить $O(n^2 \lg n + nm)$.

Теорія графів використовується паралельно з теорією нечітких множин та теорією ймовірностей. Ця сумісність не дозволяє залучити великий клас завдань до лінійного програмування.

В даний час теорія графів є одним з основних математичних алгоритмів, які використовуються для вивчення поведінки мережі при передачі пакетів. Одним із рішень проблеми оптимізованої маршрутизації та зменшення потоку трафіку в кожному вузлі мережі є використання теорії графів та мереж Петрі.

Класична мережа Джексона вивчається з припущенням, що тривалість сервісного додатка має експоненціальний розподіл.

Існує метод розрахунку характеристик стохастичних систем обробки додатків на основі дифузійних моделей. Процес функціонування вузла обробки додатків розглядається як двовимірний дифузійний процес, який складається з двох потоків: потоку надходження заявок н передачу пакетів по мережі Інтернет (i = 1) та вихідного потоку (i = 2).

$$\frac{\partial p(x_i,t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^{2}\left\{a_i \frac{\partial^2 p(x_i,t)}{\partial x_i^2} - b_i \frac{\partial p(x_i,t)}{\partial x_i}\right.$$

© Озерчук І. М.

де $p\ (x, t)$ – щільність вірогідності прийому (i = 1), обробка (i = 2) запитів: a – коефіцієнт дифузії, b – коефіцієнт дрейфу.

Такий підхід дозволяє використовувати нові алгоритми системи застосувань стохастичної обробки. Але в цьому випадку мережева структура відокремлена, і модель працює під час середнього часу прийому та обслуговування додатків, під час дисперсій приходу, під час простою технічного обслуговування додатків та вузла. Таким чином, ця модель є затратною в часі та не зручною в обслуговуванні. Доведено, що якщо дискретний процес Маркова, що описує роботу мережі Джексона зі змінною структурою, є ергодичним, його обмежувальний розподіл $P\ (n)$ задовольняє наступному рівнянню:

$$P(n) = \frac{\prod_{i=1}^{m} \left(\frac{\overline{\lambda_i}}{\mu_i}\right)^n}{\prod_{i=1}^{m} \frac{\mu_i}{\mu_i - \overline{\lambda_i}}}$$

де λ і μ – інтенсивності вхідного та вихідного потоку даних і-го – типу, відповідно; n – кількість робочих одиниць, m – гранична кількість різних типів даних.

Таким чином,аналіз алгоритмів формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет дає можливість здійснити узагальнення:

1. Для мереж з потоковою передачею даних переважно використовувати метод Джонсона, оскільки він забезпечує збільшення швидкості у випадку топології мережі, що описується великим графіком.

2. Серед алгоритмів передачі одиничних пакетів даних можна відзначити алгоритм Дейкстри (протокол OSFP). Цей алгоритм активно використовується як частина протоколу OSFP для маршрутизації в автономних системах (протокол внутрішнього блокування).

3. Матричний алгоритм, як і інші багатопроменеві алгоритми, має перевагу у випадку здійснення передачі даних по одному каналу, що складається заздалегідь розрахованими альтернативними відстанями, що призводить до підвищення надійності мережі та можливості перерозподілу навантаження між лініями зв'язку.

4. Визначення найкоротшого шляху може бути здійснено методами лінійного програмування, що дозволяє оцінити ефект тимчасового відставання мережі при мінімізації середнього часу передачі повідомлення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі досліджено, принципи формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет. Застосування розглянутих алгоритмів передачі даних дозволить оптимізувати процес передачі та обробки даних у комп'ютерних мережах. Оптимізована передача та обробка даних значно скоротить час роботи, а також витрати на розробку та підтримку програмних продуктів. Зменшення витрат на вдосконалення серверного програмного забезпечення можливо за рахунок інтеграції інформаційних ресурсів у центр обробки даних, за умови здійснення інтеграції, значно знизяться витрати на послуги та передачу даних у мережі Інтернет.

Перспективи подільних досліджень ґрунтуються на вдосконаленні алгоритму формування стійкого каналу передачі даних у мережі Інтернет з подальшим впровадженням за потребою.

Список бібліографічного опису.

1. Давидовський, Ю. К., Рева, О. А., & Малєєва, О. В. (2018). Метод моделювання параметрів мережі передачі даних для її модернізації. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 4 (6), 15-22.
2. Владимиренко М.А., Соколов В.Ю., Астапеня В.М. (2019). Дослідження стійкості роботи однорангових безпроводових мереж із самоорганізацією. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*, *3*, 6-26.
3. Нікітін, С. О. (2016). *Моделі та методи підвищення якості зв'язку в безпроводових телекомунікаційних системах на основі формування паралельних інформаційних потоків* : дис. ... канд. техн. наук : 05.12.02 ; Укр. держ. ун-т залізн. трансп. Харків, 2016.168 с.
4. Гах, І. (2020). Моделі мереж для передачі мультимедійної та комунікаційної інформації в інформаційно-бібліотечному середовищі. *Наукові праці Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського,* (60), 259-275.
5. Бурячок, В. Л. (2019). Технології забезпечення безпеки мережевої інфраструктури: Підручник. Київ: КУБГ.

References.

1. Zanjireh, M. M., & Larijani, H. (2015, May). A survey on centralised and distributed clustering routing algorithms for WSNs. In *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)* (pp. 1-6). IEEE.

© Озерчук І. М.

2. Toh, C. K., Le, A. N., & Cho, Y. Z. (2009). Load balanced routing protocols for ad hoc mobile wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, *47*(8), 78-84.
3. Stajano, F., & Anderson, R. (1999, April). The resurrecting duckling: Security issues for ad-hoc wireless networks. In *International workshop on security protocols* (pp. 172-182). Springer, Berlin, Heidelberg.
4. Wilensky, U., & Rand, W. (2015). An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and. In *and engineered complex systems with NetLogo*. The MIT Press.
5. Zhu, S., Xu, S., Setia, S., & Jajodia, S. (2003, May). LHAP: a lightweight hop-by-hop authentication protocol for ad-hoc networks. In *23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings.* (pp. 749-755). IEEE. doi: 10.1109/icdcsw.2003.1203642.

© Озерчук І. М.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-36
УДК 004.45, 004.08
Тулашвілі Юрій Йосипович, д.пед.н., професор,
https://orcid.org/0000-0002-0780-9529
Лук'янчук Юрій Анатолійович, к.т.н., ст.викладач
https://orcid.org/0000-0001-9690-6197
Луцький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А. Використання програмного забезпечення на основі штучного інтелекту для обробки зображень. В даній статті описуються проблеми обробки графічної інформації, шляхи їх вирішення та перспективи розвитку програмного забезпечення на основі штучного інтелекту. Також описано раціональне використання різного типу нейромереж в повсякденому житті, їх якісний вплив на розвиток підприємств різних галузей науки та виробництва та інші важливі шляхи застосування програмних продуктів на базі ШІ.
Ключові слова: програмне забезпечення, нейромережі, обробка графічної інформації.

Tulashvili Y., Lukianchuk I. Use of artificial intelligence software for image processing. This article describes the problems of graphic information processing, ways to solve them and prospects for the development of software based on artificial intelligence. It also describes the rational use of different types of neural networks in everyday life, their qualitative impact on the development of enterprises in various fields of science and production and other important ways to use software products based on AI.
Keywords: software, neural networks, graphic information processing.

Тулашвили Ю.И., Лукьянчук Ю.А. Использование программного обеспечения на основе искусственного интеллекта для обработки изображений. В данной статье описываются проблемы обработки графической информации, пути их решения и перспективы развития программного обеспечения на основе искусственного интеллекта. Также описано рациональное использование различного типа нейронных сетей в повседневной жизни, их качественное влияние на развитие предприятий различных отраслей науки и производства и другие важные пути применения программных продуктов на базе ИИ.
Ключевые слова: программное обеспечение, нейросети, обработка графической информации.

Сьогодні компанії будь-якого профілю мають необхідність обробки великої кількості даних та зображень. Від якості і швидкості їх аналізу залежить ефективність прийняття рішень і рівень підтримки клієнтів. Впоратися зі зростанням інформаційних потоків допомагають технології штучного інтелекту. В їх основі лежать алгоритми глибокого машинного навчання, що поєднують в собі нейромережі певних типів. Однак в сучасному світі існує проблема обробки отриманої графічної інформації, оскільки вона потребує додаткового редагування. Тому використання програмного забезпечення на основі штучного інтелекту, що покращує роздільну здатність зображень, потребує додаткового вивчення.

Згідно із дослідженнями [1,2,3] вважається, що штучні нейронні мережі ANN - це проривна технологія, однак на рівні алгоритмів вони були описані ще в другій половині минулого століття. Наразі з'явилася технічна можливість реалізувати їх в кінцевих продуктах - людство накопичило достатні обсяги інформації і створило засоби для її швидкого аналізу. До теперішнього часу найбільшого поширення набули такі види нейромереж: - нейронні мережі CNN, що імітують роботу зорової кори головного мозку і частково виконують функцію абстрактного мислення. Вони прекрасно справляються із завданням розпізнавання зображень, а їх обчислення можна розподілити на графічних процесорах, що дозволяє створювати відносно дешеві апаратні платформи з елементами ШІ.

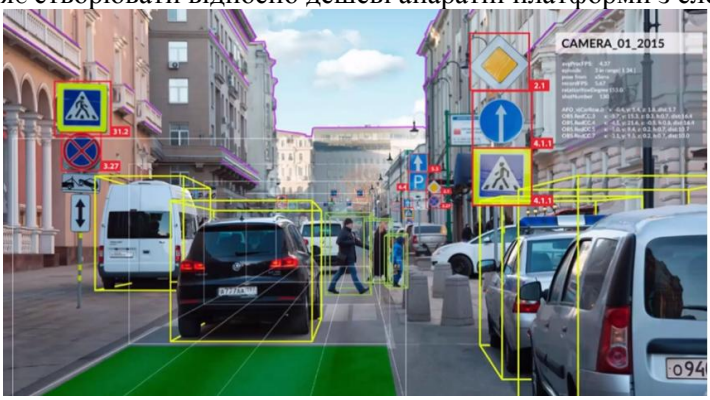


Рис. 1. Розпізнавання об'єктів за допомогою CNN

© Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А.

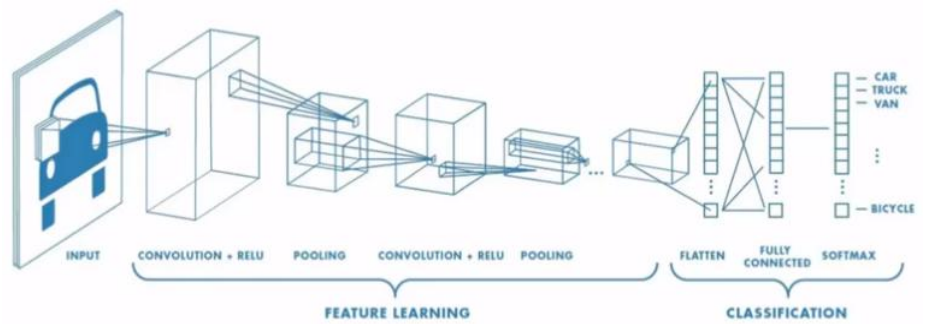


Рис. 2. Класифікація об'єктів за допомогою CNN (https://youtu.be/EQS7zjyaV_k)

CNN застосовуються в системах машинного зору безпілотних автомобілів, комерційних дронів, роботів, а також в охоронному відеоспостереженні. Людина щодня використовує CNN, якщо ввімкнено в налаштуваннях смартфона розблокування за допомогою розпізнавання особи.

- нейронні мережі RNN, мають короткочасну пам'ять, за рахунок чого легко аналізують послідовності довільної довжини. RNN розбивають потік даних на елементарні частини і оцінюють взаємозв'язки між ними. Ці алгоритми знайшли основне застосування в розпізнаванні рукописного тексту й мови. Наприклад, під час пошуку мелодії на слух в Shazam, розмови з Siri, Google Now або Алісою від «Яндекса», роблячи замітки від руки для Cortana - на хмарних платформах працюють нейромережі.

- мережі з довготривалою і короткочасною пам'яттю LSTM, що стали наступним етапом розвитку RNN. За допомогою них відбувається прогнозування змін будь-якої величини (наприклад, біржових курсів або купівельного попиту) шляхом екстраполяції. Також їх застосовують для глибокого аналізу природної мови. Наприклад, Google використовує LSTM в персональному помічнику і системі машинного перекладу Google Translate.

- керовані блоки GRU - нова модифікація RNN, що з'явилася в 2014 році. Їх використовують для синтезу мови, яка володіє емоційним забарвленням і звучить як справжня. Наприклад, в тестах сервісів Google Duplex і Microsoft XiaoIce люди не змогли відрізнити розмову ботів від живих співрозмовників. Це призвело до того, що XiaoIce дозволила Microsoft зміцнитися на азіатському ринку, де розвиток компанії завжди стримувався мовним бар'єром.

- глибокі нейронні мережі DNN - будь-яка мережа більш ніж з трьома шарами. Вони лежать в основі механізмів глибокого машинного навчання, знаходячи неявні взаємозв'язки між різнорідними даними. Наприклад, пошук кореляцій між розвитком захворювань і різними потенційними факторами у величезних масивах наукових статей за допомогою IBM Watson.

- генеративні мережі GAN - це комбінація нейромереж, одна з яких генерує варіанти, а інша відсіває їх. Таке поєднання дозволяє реалізувати машинне навчання без вчителя, що підвищує його автономність. Наприклад, PixelDTGAN генерує окремі зображення одягу, взуття та аксесуарів для каталогів онлайн-магазинів. В якості вхідних даних використовуються фотографії, на яких ці предмети гардеробу демонструють фотомоделі. Поки зйомку для каталогів одягу вважається досить витратною частиною електронної комерції, але цілком можливо, що в найближчі роки нейромережі дозволять швидко проілюструвати каталог, навіть не залучаючи фотографа. Обробка фотографій теж забирає багато часу. На практиці це відбувається набагато швидше, додаючи і прибираючи графічні об'єкти за допомогою іншої нейромережі - IBM GANPaint. Подібна їй нейромережа DRAGAN вже застосовується для автоматичного відтворення персонажів аніме і мультфільмів. Вона дозволяє пришвидшити вихід нових серій і утримати аудиторію розважальних каналів, не перевантажуючи аніматорів колосальним об'ємом роботи. Також, GAN дозволяє анімувати тривимірну модель людини, переносячи на неї рух іншої людини в реальному часі. Перші результати виглядають не дуже переконливо, однак особливість нейромережі в тому, що вона покращується з кожною новою порцією даних.

Google використовує нейронні мережі в усіх своїх сервісах - від онлайн-пошуку і фільтрації пошти до підбору роликів на YouTube і перекладу текстів. На відміну від старих моделей машинного перекладу, нейромережі Google оперують практично необмеженими об'ємами даних для розпізнавання мовних шаблонів. Вони можуть виявляти більше семантичних зв'язків і покращувати результат з кожним разом за допомогою постійного навчання.

З 2001 року в Google став можливий пошук по зображеннях, проте спочатку для цього застосовувався простий аналіз метаданих. Тобто фактично пошук відбувався по текстовому опису картинки, який часто був неточним. Сучасна версія цього сервісу використовує систему автоматичного

© Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А.

опису графічних файлів. Вона побудована на комбінації нейромереж, тому в ній можна шукати подібні зображення, сортувати їх по типам і навіть знаходити графічні файли без текстової анотації.

Google Cloud Speech-to-Text став необхідною інновацією для великих компаній, що працюють з клієнтами з різних країн. Вихід за межі регіону завжди потребував високих вимог до організації технічної підтримки. Якщо раніше для цього доводилося відкривати регіональні філії або наймати перекладачів, то тепер в рішення для колл-центрів може бути інтегрований цей сервіс. Він підтримує інтерфейс прикладного програмування і допомагає перетворювати запис розмов в текст, застосовуючи моделі нейронних мереж. В даний час він розпізнає понад 120 мов і продовжує освоювати нові.

LinkedIn використовує нейронні мережі спільно з лінійними текстовими класифікаторами для аналізу всіх записів, які розповсюджуються через свою платформу. Таке поєднання допомагає ефективніше виявляти спам і контент образливого змісту, а також підбирати кращі персональні рекомендації.

Facebook застосовує подібний алгоритм аналізу тексту. Він називається DeepText і переважно використовується для таргетування рекламних оголошень. Додатково Facebook використовує нейронні мережі для розпізнавання осіб і обробки зображень.

Tesla використовує набір DNN у фірмовій системі автопілота. Вони розпізнають всі об'єкти навколо машини в реальному часі, класифікують їх і визначають характеристики. Дев'ята версія автопілота стала в чотири рази складніше восьмої за рахунок збільшення потоку даних. Одних камер стало вісім штук, причому їх роздільна здатність теж збільшилася [4].

Рис. 3. Розпізнавання об'єктів за допомогою DNN в системі автопілота від Tesla

Антивірусні розробники застосовують різні нейронні мережі для пошуку нових загроз в галузі інформаційної безпеки. Вони допомагають розпізнавати невідомі модифікації шкідливих файлів і нові види мережевих атак. Із презентацією системи ICSP Neural від Symantec можна ознайомитись за посиланням [5].

Зовсім недавно штучні нейронні мережі були доступні тільки великим компаніям, але за останні роки з'явилося безліч доступних рішень, готових засобів розробки і хмарних сервісів, які легко адаптувати до своїх завдань. Наприклад, IBM випустила бета-версію Neural Network Modeler для Watson Studio. Цей інструмент дозволяє використовувати візуальний підхід при розробці архітектур DNN для обробки зображень, тексту і аудіофайлів, не маючи навичок програмування.

У березні 2018 року Microsoft представила Project Brainwave - програмно-апаратний комплекс на програмованих матрицях (FPGA) виробництва Intel, який полегшує нейромережам завдання розпізнавання і класифікації об'єктів в реальному часі. Зараз ця платформа використовується в пошуковику Bing, прискорюючи обробку запитів майже на порядок. Також вона тестується одним з партнерів Microsoft в автоматизованій системі оптичної дефектоскопії для прискорення конвеєрного складання.

У листопаді 2018 року Intel представила Neural Compute Stick 2 - нове покоління компактних прискорювачів для нейромереж. Володіючи розмірами флешки, Intel NCS2 підключається до USB-порту будь-якого пристрою. Для складних завдань можна задіяти одразу кілька таких прискорювачів, а їх число - змінити в будь-який момент, що спрощує поетапне впровадження технологій ШІ.

На практиці, досить часто виникає необхідність обробки отриманих зображень, тому розробка та використання програмного забезпечення на основі штучного інтелекту є актуальним та доцільним завданням, що потребує глибокого аналізу.

© Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А.

В дизайнерів із різних галузей виникає проблема, коли необхідне зображення із інтернету має низьку роздільну здатність і погану якість, а замовник продукту потребує саме цю картинку. Тому покращення відбувається за допомогою засобів ретушування, наприклад Photoshop, однак немає можливості детального редагування або додавання пікселів. Та й не всі фахівці володіють відповідними навичками. В цьому випадку доцільно використовувати програмне забезпечення на основі штучного інтелекту.

Нейромережі вже давно і цілком успішно справляються із ретушуванням зображень. Також існує велика кількість програм алгоритмічного редагування. Проте лідером у цій сфері є пакет програмного забезчення від Topaz Labs. Для збільшення роздільної здатності фотографій є програма під назвою Gigapixel AI. Вона не тільки збільшує роздільну здатність, а й реально покращує якість самого зображення і тому є необхідність вивчення даного продукту.

Рис. 4. Обробка зображення пейзажу за допомогою Topaz Gigapixel AI

В основі алгоритмів програми лежить цілий комплекс нейромереж. Програма розбирає фото на пікселі і сортує їх за кольором, потім формується маска в потрібній роздільній здатності і далі система схематично додає пікселі потрібних кольорів на наявне зображення, таким чином буквально «домальовуючи» його до необхідного покращення [6, 7].

Topaz Gigapixel AI буде корисна для дизайнерів у різних сферах, де використовують роботу із зображеннями. Наприклад, якщо:

• кадр зроблений на старий фотоапарат, телефон або фотоплівку;
• сталася невелика помилка з фокусом;
• фото було дуже урізано, через що постраждала деталізація;
• знімок потрібно роздрукувати великим форматом (більше 1м2).

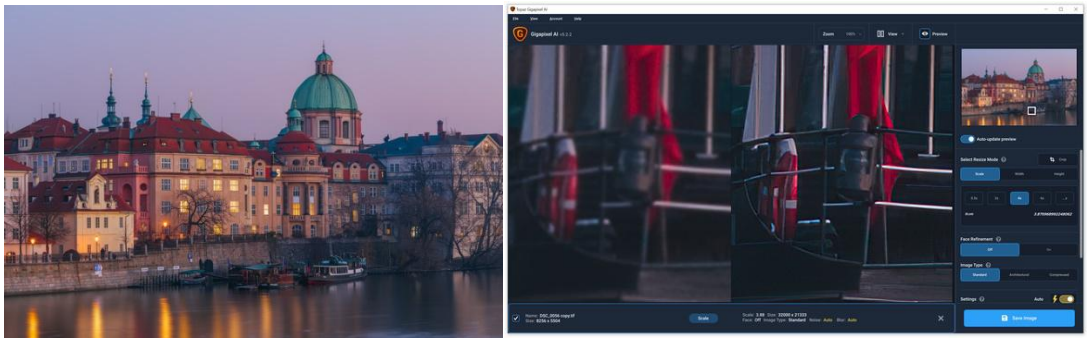


Рис. 5. Обробка зображення корми човна за допомогою Topaz Gigapixel AI

Topaz Gigapixel AI не просто «розтягує» зображення (як це відбувається в Adobe Photoshop), а розпізнає деталі і текстури, роблячи їх більш чіткими. Так знімок можна збільшити, не втративши в деталізації. Можна піти зворотним шляхом: збільшивши недостатньо якісний знімок, покращити деталізацію.

Однак завантажувати відверто нерізкі, зіпсовані знімки сенсу немає - на них не вийде розпізнати достатню кількість деталей, результат буде посереднім.

По прев'ю, що видане програмою, по картинці до/після видно, наскільки ефективно працює програма.

Програма обробляє зображення та показує прев'ю. Можна вибрати кратність збільшення знімка. Краще ставити x2 або x4, цього достатньо, щоб виявити дрібні деталі і фактури на фото. Чим більше кратність, тим довше програма буде опрацьовувати результат. Крім кратності збільшення, можна

© Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А.

більше нічого і не вибирати, у Topaz Gigapixel AI дуже лаконічний інтерфейс, програма працює практично повністю автоматично.

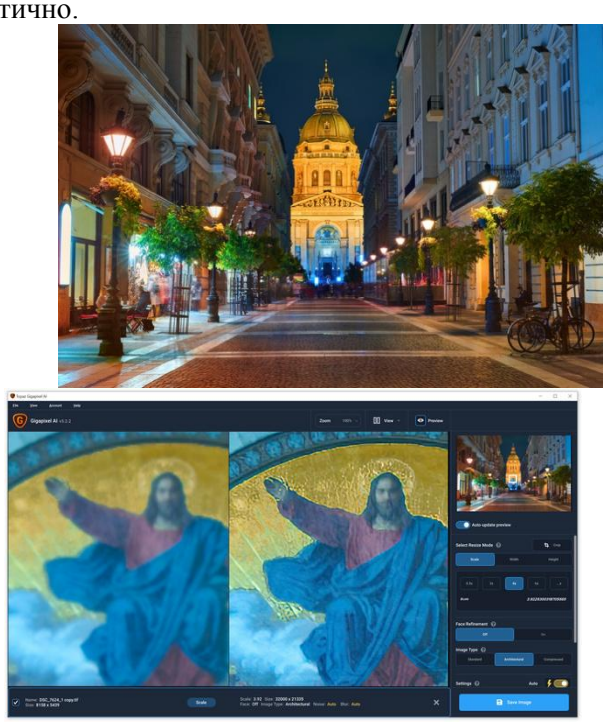


Рис. 6. Обробка зображення будівлі за допомогою Topaz Gigapixel AI

Рекомендується проводити подальшу обробку зображень за допомогою інструментів Photoshop, щоб провести ресайз та зменшити розмір файлу зображення приблизно в 2-3 рази, не втративши в деталізації. Також цей інструмент дозволяє сховати дефекти роботи Topaz Gigapixel AI (вони іноді з'являються, якщо збільшувати фотографії в 4 або 6 разів).

На сьогоднішній день створено багато нових інструментів для редагування зображень. При ручній обробці в Photoshop на картинку витрачається багато часу. А це неприпустимо в сучасному світі: поки один дизайнер робить один кадр, конкуренти зроблять сто. Тому необхідно вивчати та розробляти програмне забезпечення на основі штучного інтелекту, що пришвидшує обробку зображень. Особливість програм на основі ШІ в тому, що не завжди контролюється результат від початку та до кінця, однак в 95% він виходить відмінним. А для решти 5% випадків важливо вміти працювати з класичними інструментами Adobe Photoshop. Така синергія класичних методів обробки та сучасних технологій дозволяють робити обробку не тільки швидко, але й якісно.Нейронні мережі можуть допомогти компаніям розвиватись відразу по декількох напрямках: оптимізувати бізнес-логістику, покращити прогнозування та взаємодію з клієнтами. В кінцевому рахунку вони дають можливість підвищити конкурентоспроможність за рахунок більш глибокого аналізу всіх доступних даних. Очікування клієнтів постійно зростають, і вони вибирають сервіси на базі ШІ, оскільки вони швидше і повніше задовольняють їхні запити.

Список бібліографічного опису

1. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2002. – 1072 с.
3. https://dx.media/articles/how-it-works/neyroseti-v-biznese-zachem-i-dlya-chego/
4. https://youtu.be/7ztK5AhShqU
5. https://youtu.be/rung43Zsbpw
6. https://root-nation.com/ru/soft-all/howto-ru/ru-kak-uvelichit-razreshenie-foto-gigapixel-ai/
7. https://prophotos.ru/lessons/22466-neyronnye-seti-na-sluzhbe-fotografii/3

References

1. Artificial neural networks and applications: textbook. manual / F.M. Gafarov, A.F. Galimyanov. - Kazan: Kazan Publishing House. University, 2018 .-- 121 p.
2. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. - M .: Technosphere, 2002 .-- 1072 p.
3. https://dx.media/articles/how-it-works/neyroseti-v-biznese-zachem-i-dlya-chego/
4. https://youtu.be/7ztK5AhShqU
5. https://youtu.be/rung43Zsbpw
6. https://root-nation.com/ru/soft-all/howto-ru/ru-kak-uvelichit-razreshenie-foto-gigapixel-ai/
7. https://prophotos.ru/lessons/22466-neyronnye-seti-na-sluzhbe-fotografii/3

© Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-37
УДК 342.721
Франков Олександр Сергійович, заступник начальника центру
https://orcid.org/0000-0003-3913-4420
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

МЕХАНІЗМИ ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ У ЧАТІ

Франков О. С. Механізми захисту персональної інформації у чаті. У статті розкрито механізми захисту персональної інформації у чаті. Сформовано низку проблем, які є ключовими у забезпеченні безпечного інформаційного простору для спілкування. Запропоновано формальний опис глобальних комунікацій з використанням дискретних структур. Наголошено, що захист особистої інформації є важливою проблемою у розподілених сервісах і мережевих комунікаціях, включаючи хмарні сервіси. Тому слід застосовувати спеціальні технологічні та організаційні заходи щодо захисту персональних даних. Підкреслено призначення заходів захисту, як спеціально технічних так і організаційних. Обґрунтовано той факт, що права на конфіденційність пов'язані з особистою інформацією яку, безпосередньо, можна зібрати в процесі використання мережевих засобів спілкування. Позначено, що можна збирати і фіксувати будь-яку особисту інформацію без відома користувача, і, більш того, особисті дані можуть бути передані на законних підставах будь-якій третій особі. Сформовано модель здійснення комунікацій у мережі Інтернет, яка включає дві окремі групи: учасники / особи, визначені як сукупність користувачів, що мають можливість ініціалізації віддаленого доступу через Інтернет та інформаційне середовище, з конкретними технологічними компонентами для визначення конкретної структури і призначення простору, в тому числі модуль для попередньої реєстрації та збір даних у власній базі даних. Запропоновано графічну інтерпретацію життєвого циклу обробки персональних даних з детальним описом кожної окремої позиції. Структуровано всі можливі ланки зв'язку політики захисту даних із загальною структурою політики безпеки і структурними рівнями системи захисту персональних даних. Сформовано чотири основні механізми захисту персональної інформації у чаті та запропоновано у подальшому виконати формування єдиного підходу до реалізації системи захисту персональної інформації у соціальних мережах з урахуванням міжнародного досвіду.
Ключові слова: захист інформації, персональні дані, мережа Інтернет, чат, віртуальне спілкування, кібербезпека.

Франков А. С. Механизмы защиты персональной информации в чате. В статье раскрыты механизмы защиты персональной информации в чате. Сформирован ряд проблем, которые являются ключевыми в обеспечении безопасного информационного пространства для общения. Предложено формальное описание глобальных коммуникаций с использованием дискретных структур. Отмечено, что защита личной информации является важной проблемой в распределенных сервисах и сетевых коммуникациях, включая облачные сервисы. Поэтому следует применять специальные технологические и организационные меры по защите персональных данных. Подчеркнуто назначения мер защиты, как специально технических так и организационных. Обоснованно тот факт, что права на конфиденциальность связанные с личной информацией которую, непосредственно, можно собрать в процессе использования сетевых средств общения. Обозначены, что можно собирать и фиксировать любую личную информацию без ведома пользователя, и, более того, личные данные могут быть переданы на законных основаниях любому третьему лицу. Сформирована модель осуществления коммуникаций в сети Интернет, включая две отдельные группы: участники / лица, определенные как совокупность пользователей, имеющих возможность инициализации удаленного доступа через Интернет и информационная среда, с конкретными технологическими компонентами для определения конкретной структуры и назначения пространства, в том числе модуль для предварительной регистрации и сбор данных в собственной базе данных. Предложено графическую интерпретацию жизненного цикла обработки персональных данных с подробным описанием каждой отдельной позиции. Структурировано все возможные звена связи политики защиты данных с общей структурой политики безопасности и структурными уровнями системы защиты персональных данных. Сформированы четыре основные механизмы защиты персональной информации в чате и предложено в дальнейшем выполнить формирования единого подхода к реализации системы защиты персональной информации в социальных сетях с учетом международного опыта.
Ключевые слова: защита информации, персональные данные, сеть Интернет, чат, виртуальное общение, кибербезопасность.

Frankov Oleksandr. Defence mechanisms of the personal information in chat. The article reveals the mechanisms of personal information protection in chat. A number of problems have been identified that are key to providing a secure information space for communication. A formal description of global communications using discrete structures is proposed. It is emphasized that the protection of personal information is an important issue in distributed services and network communications, including cloud services. Therefore, special technological and organizational measures should be applied to protect personal data. The purpose of protection measures, both specially technical and organizational, is emphasized. The fact that the rights to confidentiality are related to personal information that can be directly collected in the process of using online means of communication is substantiated. It is stated that it is possible to collect and record any personal information without the knowledge of the user, and, moreover, personal data may be lawfully transferred to any third party. A model of communication on the Internet has been formed, which includes two separate groups: participants / persons defined as a set of users who have the ability to initialize remote access via the Internet and information environment, with specific technological components to determine the specific structure and purpose of space, including module for pre-registration and data collection in its own database. A graphical interpretation of the life cycle of personal data processing with a detailed description of each item is proposed. All possible links between the data protection policy and the general structure of the security policy and the structural levels of the personal data protection system are structured. Four main mechanisms for the protection

© Франков О. С.

of personal information in the chat have been formed and it is proposed to further form a unified approach to the implementation of the system of personal information protection in social networks, taking into account international experience.

Keywords: information protection, personal data, Internet, chat, virtual communication, cybersecurity.

Вступ та постановка проблеми дослідження. Модернізація та вдосконалення інформаційного суспільства (ІС) визначають нові вимоги до сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для вирішення різних проблем глобалізації, віддаленого доступу до інформаційних ресурсів і хмарних обчислень, розподіленої інформації, обслуговування віртуального середовища і визначення адекватної політики інформаційної безпеки на підприємствах. Засоби віртуального спілкування у мережі Інтернет також повинні бути включені в цю групу, тому що сучасні ІКТ дозволяють розширювати соціальні відносини і підтверджувати область «соціальних обчислень», пов'язану з побудовою мереж веб-сайтів. Інформаційне суспільство створило різні можливості для віддаленого доступу до розподілених інформаційних ресурсів і зв'язку між користувачами (віртуальні середовища, хмарні сервіси, соціальні мережі, чати і т. д.). Всі ці аспекти глобалізації змушують користувачів створювати свої власні профілі з особистими даними і публікувати персональну інформацію. Саме тому, питання захисту персональної інформації стало одним з пріоритетних завдань сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам захисту персональної інформації у мережі Інтернет присвячено чимало робіт як теоретичної так і практичної направленості.

О. В. Гронь та А. К. Погореленко [1]розкрили проблеми захисту персональних даних у контексті сучасної комунікації. У статті проаналізовано європейські законодавчі основи та принципи захисту персональних даних, які становлять основу сучасної практики в цій сфері. Викладено базові положення української системи правового захисту персональних даних. Визначено правові підстави для реалізації та захисту інтересів суб'єкта персональних даних.

Стандарти захисту персональних даних в соціальній сфері запропонували М. В. Бем, І. М. Городиський[2]. В свою чергу, Н. В. Камінська [3] підійшла до проблеми з правового аспекту. Авторка розглянула питання захисту персональних даних відповідно до чинного законодавства України, що зумовило появу проблем як теоретичного, так і практичного характеру. Зокрема, важливим є здійснення аналізу правової основи процесу захисту персональних даних, узагальнення норм міжнародного і наднаціонального права, зарубіжного досвіду в цій сфері. Це дозволяє з'ясувати відповідність національного законодавства існуючим міжнародним стандартам, визначити шляхи підвищення його ефективності, усунення суперечностей та прогалин.

І. М. Сопілко [4] розкрив механізми захисту персональних даних, визначив проблеми та перспективи. Аспекти держаного регулювання окреслила Т. І. Обуховська[5]. У дисертації здійснено теоретичне обґрунтування державних механізмів забезпечення захисту персональних даних в Україні, визначені перспективні напрямки їхнього розвитку та здійснено розробку науково-практичних рекомендацій органам влади в умовах трансформації державного управління в Україні.

Із зарубіжних варто рів варто відзначити такі роботи як: Subramanian, A., Kessler, M.[6], Weichert, T. [7], Lam, S. K., Riedl, J. [8], Bennett, C. J. [9], Romansky, R. [10], Duggan, M., Smith, A. [11]та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання захисту персональної інформації у чаті залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Основна ***мета*** цієї статті – обговорити проблеми захисту персональної інформації віртуального спілкування як компоненти конфіденційності. З цієї причини запропоновано формальний опис глобальних комунікацій з використанням дискретних структур.

Викладення основного матеріалу дослідження.Новітні ІКТ і розподілені середовища змушують користувачів створювати свої власні профілі з особистими даними і публікувати особисту інформацію, доступну іншим користувачам через глобальну мережу. Це можливість розширити соціальні контакти, але це може надати небажаний вплив на конфіденційність зареєстрованого користувача [6]. В цьому відношенні захист особистої інформації є важливою проблемою у розподілених сервісах і мережевих комунікаціях, включаючи хмарні сервіси. Тому слід застосовувати спеціальні технологічні та організаційні заходи щодо захисту персональних даних. Ці заходи повинні захищати профіль кожного користувача з особистими даними від незаконного доступу, поширення та використання інформації для інших цілей, відмінних від визначених. Необхідно сформулювати нову точку зору на правила авторизації і аутентифікації в соціальних середовищах.

© Франков О. С.

Необхідність захисту персональних даних визначається тим фактом, що конфіденційність є важливим правом людини, яке поєднує в собі комплекс окремих індивідуальних прав –точну і адекватну обробку особистих даних, різні форми особистого спілкування (поштою, через Інтернет і т. д.), безпечну підтримку особистих профілів на форумах і в соціальних мережах і т. д. Традиційне визначення терміна «конфіденційність» - це «право бути на самоті», і цей сенс повинен зберігатися у всіх соціальних контактах через глобальну мережу. Це може бути реалізовано на основі суворої політики безпеки, визначеної для кожної конкретної мети особистого спілкування і підтримки профілів людей, оскільки використання сучасних ІКТ висуває нові вимоги до політики захисту персональних даних і змінює розуміння конфіденційності в глобальному суспільстві. Ця політика повинна підвищити ефективність засобів і інструментів захисту персональних даних в новому мережевому суспільстві і, зокрема, в соціальних мережах і мережах персонального спілкування. Основна проблема полягає в тому, що існуючі процедури захисту персональних данихне відповідають реальним комунікацій в глобальному суспільстві і їх необхідно актуалізувати.

Права на конфіденційність пов'язані з особистою інформацією що можна було зібрати в процесі використання мережевих засобів спілкування. Можна збирати і фіксувати будь-яку особисту інформацію без відома користувача, і, більш того, особисті дані можуть бути передані на законних підставах будь-якій третій особі.

Комунікації в глобальному середовищі (особливо у веб-просторі) можуть бути описані за допомогою дискретної структури елементів (вузлів) $V = \{V_1, \dots, V_n\}, V \neq \emptyset$ і відносини між ними $R_{ij}: V_i \to V_j$. Кожен вузол V_i представляє фізичного учасника глобальної комунікації, і його можна розглядати як незалежний розподілений блок з власною внутрішньою функціональністю. Модель, побудована на основі цієї концепції, представлена на рис.1.

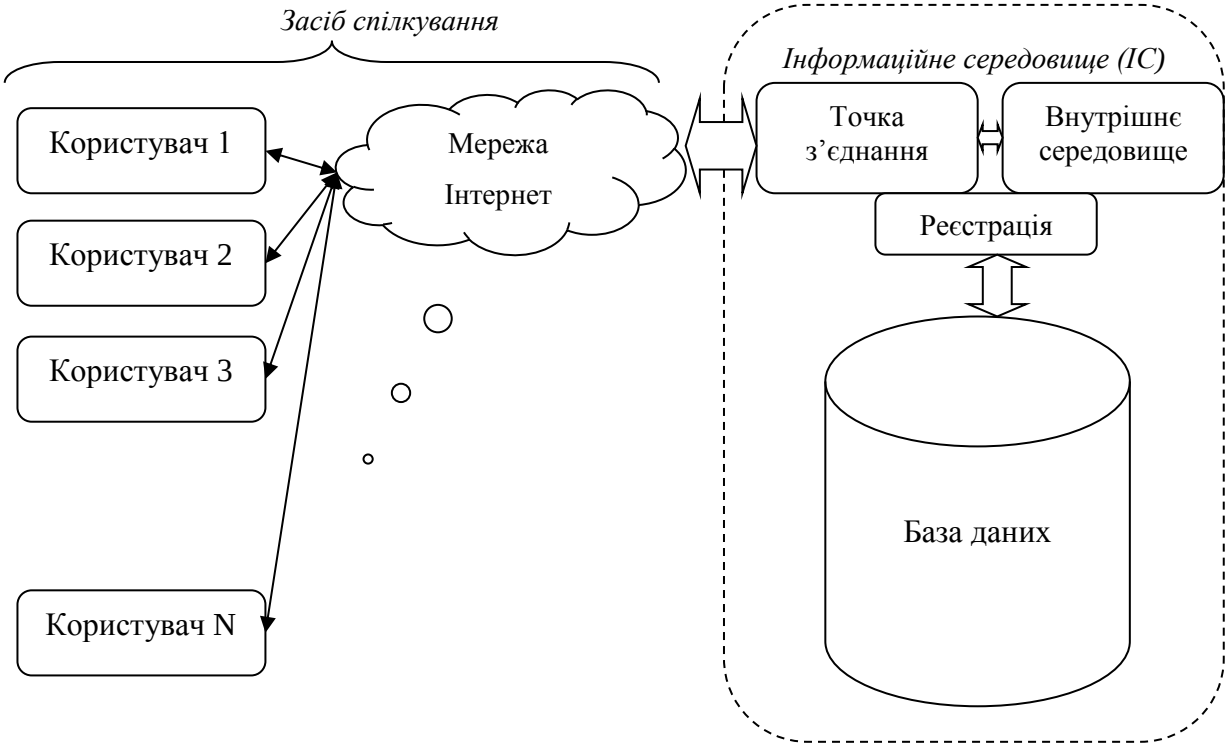


Рис. 1. Модель здійснення комунікацій у мережі Інтернет

Учасники комунікацій утворюють дві групи: це учасники / особи, визначені як сукупність користувачів $U = \{U_1, U_2, \dots, U_N\}, U \neq \emptyset$, що мають можливість ініціалізації віддаленого доступу через Інтернет; це інформаційне середовище $IE = \{IE_1, \dots, IE_M\}, IE \neq \emptyset$, з конкретними технологічними компонентами для визначення конкретної структури і призначення простору, в тому числі модуль для попередньоїреєстрації та збір даних у власній базі даних.

Організація всіх процесів глобального зв'язку здійснюється ресурсами «комунікаційного середовища», які можна описати як передавачі$T = \{T_1, \dots, T_K\}, T \neq \emptyset$. Кожен передавач складається з апаратних і програмних засобів для розподілу запитів на доступ до інформаційних об'єктів $req: \{U\} \to \{IE\}$ і повернення інформаційного змісту $inf: \{IE\} \to \{U\}$ клієнтам.

© Франков О. С.

Формалізація дозволяє описувати елементи глобальних комунікацій упорядкованим триплетом (U, IE, T) з двома типами відносин $req: \{U\} \rightarrow \{IE\}$ та $inf: \{IE\} \rightarrow \{U\}$ для $\forall U_i \in U; \forall IE_j \in IE$.

Давайте визначимо відстань $d_{ij}(i \neq j; i, j \in \{1 \div n\})$ між кожною парою вузлів (V_i, V_j). Це дозволяє побудувати матрицю відстаней DM з розмірністю n та елементами $d_{ii} = 0\ (i = 1, \ldots, n)$ та визначити мінімальну довжину шляхів між вузлами в структурі.

Представимо два бінарні параметри $u_{ik} \in \{0,1\}$ (розташування користувача $U_i \in U$ у вузлі $V_k \in V$) та $r_{jk} \in \{0,1\}$ (розташування середовища $IE_j \in IE$ у вузлі $V_k \in V$):

$$u_{ik} = \begin{cases} 1, \text{якщо користувач } U_i \in U \text{ знаходиться у вузлі } V_k \in V \\ 0, \text{інакше} \end{cases}$$

У загальному випадку можливо, що два учасники з різного типу (користувач та інформаційне середовище) фізично розподіляються разом у загальному вузлі V_k, і це можна описати виразами (рис. 2):

$$(\text{перший учасник}) \exists V_k \in V \Rightarrow (V_k \in V)(V_k \in IE)$$
$$(\text{другий учасник}) \exists V_k \in V \Rightarrow [(V_k \in V)(V_k \notin IE)] \text{або} [(V_k \notin U)(V_k \in IE)]$$

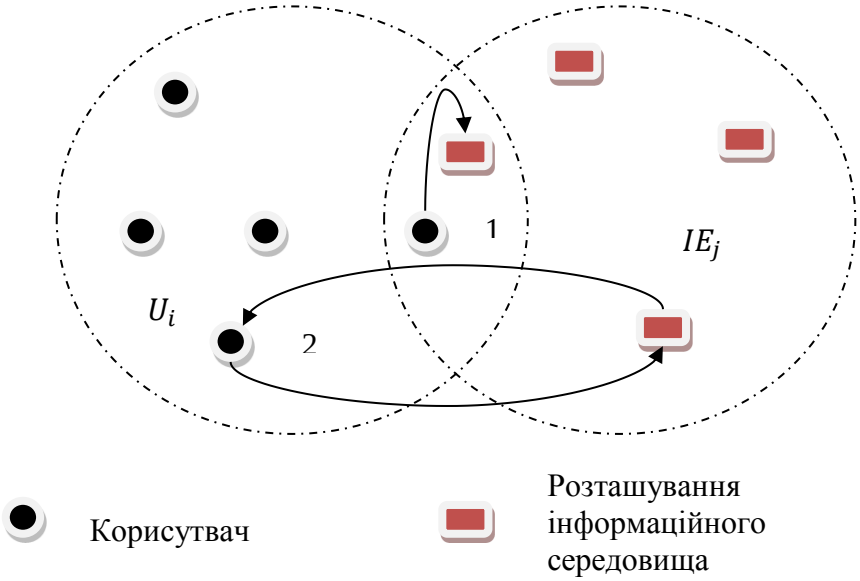


Рис. 2. Можливі типи спілкування

Це припущення визначає потужність (кількість елементів) $n \leq N + M$ набору V. Дві двійкові матриці з компонентами $u_{ik}(N \times n)$ та $r_{jk}(M \times n)$ можуть бути побудовані для дослідження фізичного розподілу учасників глобальних комунікацій. Логічна обробка на основі

$$IF \left\{ \sum_{i=1}^{N} UL[i,k] \geq 1 \right\} \left\{ \sum_{i=1}^{M} RL[j,k] \geq 1 \right\} \text{ тоді } v_k = 1 \text{ інакше } v_k = 0$$

(для $k = 1 \div n$)визначить новий вектор для визначення загальних вузлів розподілу учасників з різним типом. Ця формалізація дозволяє зробити детермінований опис комунікацій парами двох елементів (перший з U, другий з IE) та провести дослідження процесів у глобальному середовищі.

Графічна інтерпретація життєвого циклу обробки персональних даних запропонована на рис. 3. Дана модель життєвого циклу описує традиційну обробку персональних даних з послідовністю етапів, починаючи від надання персональних даних фізичною особою і закінчуючи знищенням персональних даних (контролером даних) після реалізації мети.

© Франков О. С.

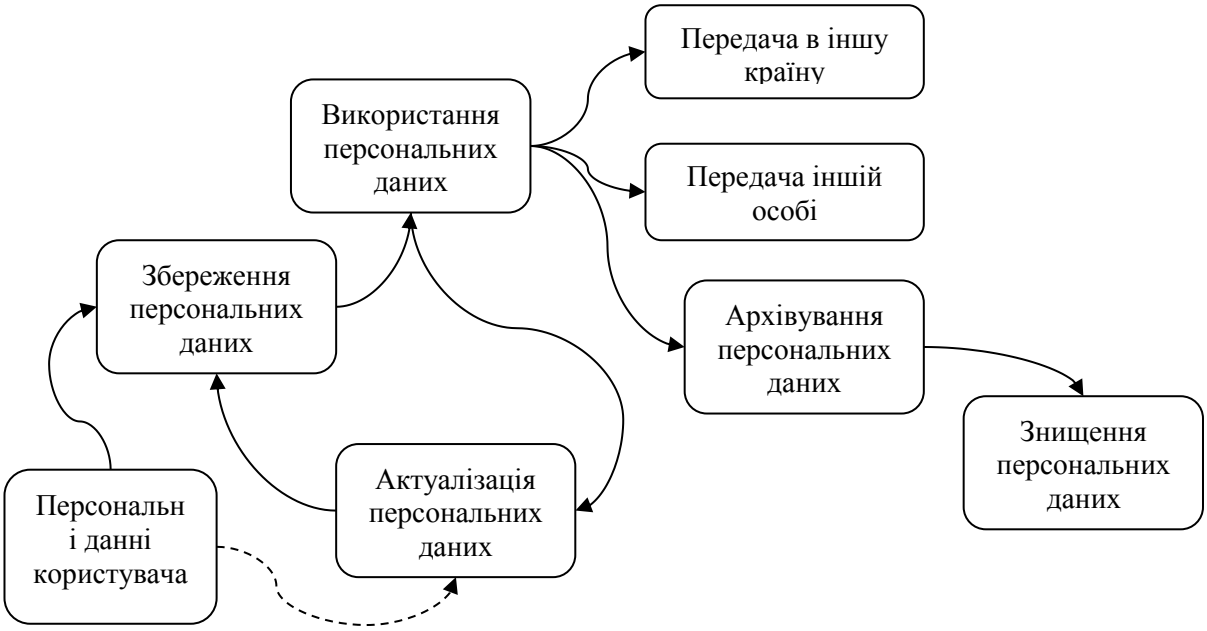


Рис. 3. Графічна інтерпретація життєвого циклу обробки персональних даних

Фази здійснення обробки:

– збір особистих даних повинен здійснюватися тільки на законних підставах і за згодою фізичної особи;

– збереження зібраних даних повинно здійснюватися в регістрах на основі попередньо визначеної мети і критеріїв;

– використання повинно здійснюватися законними особами на основі принципів інформаційної безпеки: аутентифікація (з використанням імені користувача, пароля, цифрового сертифікату, особистого ідентифікаційного номера та біометричних засобів); авторизація (на основі розробленої системи управління цифровими правами); підзвітність (персоналізація доступу до структур даних і реєстрація дій користувачів);

– актуалізація – персональні дані повинні бути вірними, повними і актуальними;

– передача в іншу країну і передача іншій особі повинні бути здійснені. тільки на підставі чинного законодавства;

– архівування може бути здійснено, якщо це потрібно за законом, але тільки на обмежений період;

– знищення особистих даних має бути здійснене після досягнення мети.

У світі існує кілька різних моделей захисту персональної інформації – модель централізованого законодавства, модель спільного регулювання, модель галузевого законодавства, модель саморегулювання і модель особистого (індивідуального) захисту. Остання модель показує, що більшість користувачів інформаційних сервісів через глобальну мережу не довіряють політиці інформаційної безпеки і захисту персональної інформації при розподіленому обслуговуванні інформації. Це вимагає, щоб політика захисту персональної інформації була узгоджена із заходами політики безпеки в рамках загальної політики безпеки (рис. 4).

Користувачі чату надають свої особисті дані для реєстрації та завантаження персональної інформації про особисте життя. Ця інформація доступна і може використовуватися іншими особами (в тому числі для передачі третім особам) без згоди власника. Це вимагає загальної гармонізації захисту даних.

Система захисту персональних даних – це набір технічних і організаційних засобів і інструментів для реалізації захисту структур персональних даних контролером даних. Всі процедури обробки персональних даних з використанням інструментів ІКТ повинні бути детально проаналізовані при визначенні політики захисту даних для мереж спілкування і захисту персональних даних.

Конфіденційність в чаті стосується захисту інформації користувача і захисту прав користувача. Носій повинен бути базою для запобігання різних інцидентів з даними користувача, таких як несанкціонований доступ, віруси, незаконна передача третім особам і т. д.

© Франков О. С.

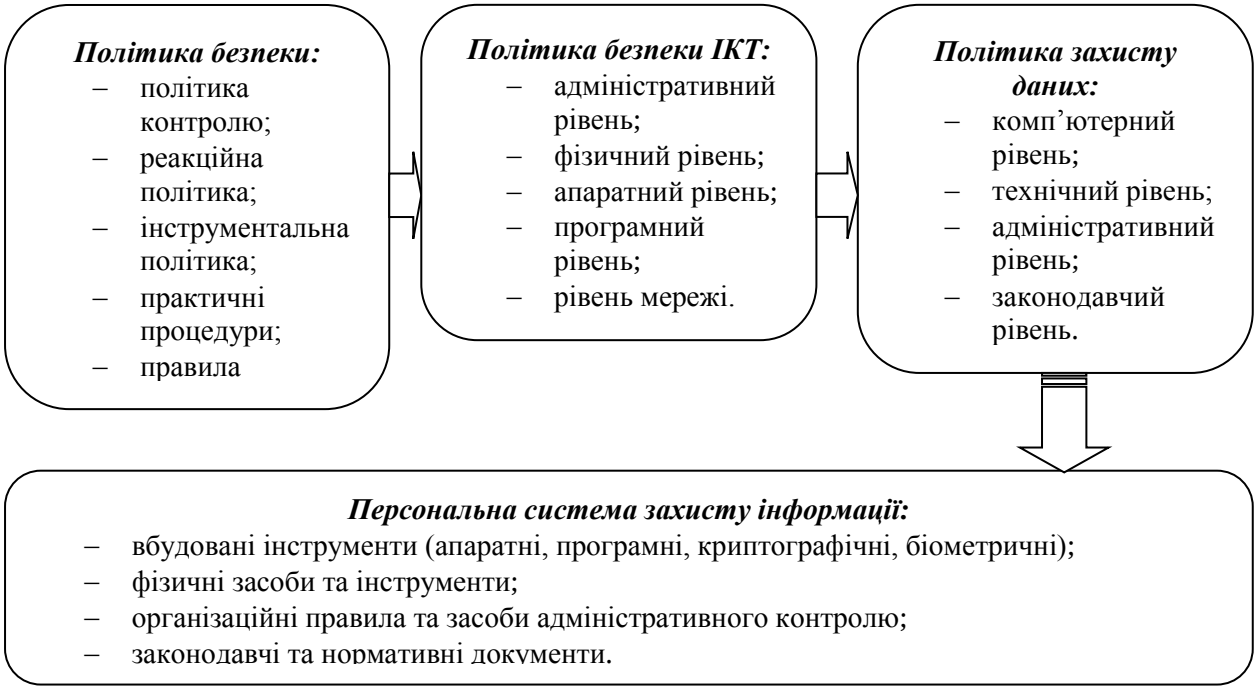


Рис. 4. Зв'язок політики захисту даних із загальною структурою політики безпеки і структурними рівнями системи захисту персональних даних

Важливим обов'язком диспетчерів даних є створення надійної системи захисту персональної інформації для реалізації принципів всіх структурних рівніві чіткого, зрозумілого і прозорого інформування кожного користувача про використання особистих даних. Для цього необхідно в якості початкового кроку визначити ролі «контролера даних», «обробника даних» і «суб'єкта даних» в соціальних мережах і визначити відповідальність за процедури захисту даних (правила, заходи, конфіденційність і права суб'єктів даних). Згідно з визначеннями регламенту європейського парламенту і ради 2016/679, контролер даних визначає цілі і засоби обробки персональних даних. Проблема в чаті полягає в тому, що функції покупця, продавця та постачальника і відносини між ними можуть бути визначені тільки для конкретного випадку. Постачальники послуг не мають юридичних зобов'язань щодо захисту особистих даних, якщо вони не визначені як контролери або обробники. Різні можливості визначення статусу провайдера (і можливість його зміни) дуже ускладнюють вирішення цієї проблеми. Ця характеристика дозволить ігнорувати зобов'язання щодо захисту даних у випадках, коли особисті дані передаються на аутсорсинг або передаються третій стороні для обробки. Ще одна проблема, яку можна визначити в чаті, - це право суб'єкта даних на отримання інформації. Це комплексна проблема, тому що при обробці персональних даних люди мають різні права. По-перше, існує ризик для конфіденційності користувача під час реєстрації (може знадобитися більше особистих даних для реєстрації та ідентифікації) і використання ресурсів чату.

Обов'язок контролерів – гарантувати легкий доступ до особистих даних користувачів. Це дозволить реалізувати права користувача на зміну, доступ, блокування або видалення своїх особистих даних в профілі (що є основним правом, гарантованим законами про захист даних). Іншою стороною проблеми є доступ до інформації в профілі – контролер повинен гарантувати, що кожен користувач може встановити обмеження для доступу до власного профілю. Це попередить несанкціонований доступ і неправильне поширення особистої інформації. Цю дію можна реалізувати, зробивши профіль закритим для користувачів, вибравши тих, хто може відвідувати сторінку. Традиційний спосіб аутентифікації при доступі до профілю – по імені користувача і паролю, і при цьому ігноруються будь-які операції зі збереженою інформацією (додавання, видалення, зміна). В цьому випадку користувачеві буде забезпечена конфіденційність в чаті.

Міжнародну передачу даних можна визначити як наступну можливу проблему конфіденційності в соціальних мережах. Згідно з основними принципами захисту персональної інформації персональні дані можуть бути передані в іншу країну, якщо їх рівень захисту є адекватним.

© Франков О. С.

Передача даних між різними постачальниками послуг є типовою процедурою в соціальних мережах, оскільки вузли (сервери, клієнти, сховища і т. д.) можуть бути розташовані в будь-якій точці світу. Якщо будь-яка особиста інформація завантажується в соціальні мережі, вона повинна бути захищена відповідно до правил персонального захисту особистої інформації, і людина (користувач часу) повинна бути поінформована про всі види передач своїх даних від одного постачальника послуг іншому в рамках країни або за її межами.

Всі інформаційні ресурси можуть бути доступні з різних точок світу. Це провокує традиційні небезпеки в глобальній мережі (втрата даних, порушення цілісності, проблеми з підзвітністю, хакерські атаки і т. д.). Кожен користувач завантажує інформацію, яка буде спільно використовуватися безліччю користувачів чату, і її можна буде поширити в різних місцях. У цьому випадку суб'єкт даних не знає, яка політика і заходи використовуються для протидії можливим атакам. Постачальники послуг повинні гарантувати ефективний захист цілісності і доступності даних. Відомо, що додаткові заходи безпеки даних підвищать вартість процедур захисту персональних даних, і це буде причиною ігнорування деяких заходів захисту.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі дослідженомеханізми захисту персональної інформації у чаті.Конфіденційність в чаті може бути порушена багатьма факторами, обумовленими некоректним використанням особистих даних. Подальший розвиток і використання кіберпростору неможливо здійснити без адекватного і надійного захисту прав окремих користувачів. Головними механізмами захисту персональної інформації у чаті визначено: формування єдиного контенту повинно буди урегульовано єдиним законом (приватний, державний рівні); жорстке регулювання європейської цифрової індустрії; право на видалення – це право людини видалити свої особисті дані з системи, якщо він / вона більше не хоче використовувати онлайн-сервіси та зберігати свої персональні дані у онлайн-системі; єдине вікно для підприємств і громадян – регулювання обробки персональних даних контролером або процесором, встановленим в країнах Європейського Союзу.

Нові механізми захисту персональної інформації у чаті повинні розширити рамки захисту у відповідності до міжнародних регламентів і запропонувати адекватні рішення для всіх проблем захисту персональної інформації в соціальному середовищі.

Перспективи подільних досліджень ґрунтуються на формуванні єдиного підходу до реалізації системи захисту персональної інформації у соціальних мережах з урахуванням міжнародного досвіду.

Список бібліографічного опису.

1. Гронь, О. В., & Погореленко, А. К. (2018). Проблеми захисту персональних даних у контексті сучасної комунікації. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*, (19 (1)), 102-108.
2. Бем, М. В, Городиський, І. М.. (2018). Стандарти захисту персональних даних в соціальній сфері Львів: б.в.
3. Камінська Н. В. (2015). Захист персональних даних: проблеми внутрішньодержавного, наднаціонального і міжнародно-правового регулювання. *Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ*, *96*(3), 106-114.
4. Сопілко, І. М. (2013). Механізм захисту персональних даних: проблеми та перспективи. *Юридичний вісник. Повітряне і космічне право*, (2), 66-70.
5. Обуховська Т. І.(2016.). Державні механізми забезпечення захисту персональних даних в Україні [Текст] : дис. ... канд. наук з держ. упр. : 25.00.02 ; Нац. акад. держ. упр. при Президентові України. Київ.

References.

1. Subramanian, A., & Kessler, M. (2013). The hyperglobalization of trade and its future.
2. Weichert, T. (2013). Current Data Protection Challenges in Social Networks. In *Annual Conference on EU Data Protection Law 2013*.
3. Lam, S. K., Riedl, J. (2012), Are Our Online „Friend" Really Friends? Computer, January, 91-93.
4. Bennett, C. J. (2011). Privacy advocacy from the inside and the outside: Implications for the politics of personal data protection in networked societies. *Journal of Comparative Policy Analysis*, *13*(2), 125-141.
5. Romansky, R. (2013). Distributed Information Servicing and Personal Data Protection. *Bulgarian Science (in Bulgarian)*, (59), 86-98.
6. Madden, M., Lenhart, A., Cortesi, S., Gasser, U., Duggan, M., Smith, A., & Beaton, M. (2013). Teens, social media, and privacy. *Pew Research Center*, *21*(1055), 2-86.

© Франков О. С.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-38
УДК 338:336
Яремко Світлана, кандидат технічних наук, доцент
http://orcid.org/0000-0002-0605-9324
Кузьміна Олена, кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-0061-9933
Новицький Руслан, кандидат технічних наук
https://orcid.org/0000-0002-6895-5175
Вінницький торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, м.Вінниця, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

Яремко С., Кузьміна О., Новицький Р. Використання технологій штучного інтелекту для прогнозування бізнес-процесів. Стаття присвячена актуальним питанням прогнозування бізнес-процесів компанії, яке є ефективним засобом пошуку шляхів оптимізації діяльності компанії і мінімізації ризиків, що виникають на різних етапах діяльності. Сьогодні сучасній компанії потрібна система моделей, яка дозволяє побудувати цикл управління та прогнозування параметрів бізнес-процесів із заданими властивостями та поведінкою з урахуванням впливу зовнішнього середовища. Найперспективнішим методом економічного прогнозування є засоби нейронних мереж. Поєднання інструментів штучного інтелекту та аналітичного програмного забезпечення створюють фундаментальну основу управління бізнес-процесами в будь-якій сфері.
Ключові слова: бізнес-процес, прогнозування, система управління, штучний інтелект, нейронна мережа.

Яремко С., Кузьмина Е., Новицкий Р. Использование технологий искусственного интеллекта для прогнозирования бизнес-процессов. Статья посвящена актуальным вопросам прогнозирования бизнес-процессов компании, которое является эффективным средством поиска путей оптимизации деятельности компании и минимизации рисков, возникающих на различных этапах деятельности. Сегодня современной компании нужна система моделей, которая позволяет построить цикл управления и прогнозирования параметров бизнес-процессов с заданными свойствами и поведением с учетом влияния внешней среды. Наиболее перспективным методом экономического прогнозирования являются средства нейронных сетей. Сочетание инструментов искусственного интеллекта и аналитического программного обеспечения создают фундаментальную основу управления бизнес-процессами в любой сфере.
Ключевые слова: бизнес-процесс, прогнозирования, система управления, искусственный интеллект, нейронная сеть.

Yaremko S., Kuzmina O., Novitskyi R. Using artificial intelligence technologies for forecasting business processes. The article is devoted to topical issues of forecasting the company's business processes, which is an effective means of finding ways to optimize the company's activities and minimize the risks that arise at different stages of activity. Today, a modern company needs a system of models that allows you to build a cycle of management and forecasting of business processes with given properties and behavior, taking into account the impact of the external environment. The most promising method of economic forecasting is the means of neural networks. The combination of artificial intelligence tools and analytical software create a fundamental basis for business process management in any field.
Key words: business process, forecasting, control system, artificial intelligence, neural network.

Постановка наукової проблеми. Сьогодення диктує нові підходи до отримання конкурентних переваг на внутрішньому та зовнішньому ринках. З плином часу та стрімким розвитком інновацій технології стають все більш орієнтованими на потреби бізнесу. Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту вказує на те, що в найближчому майбутньому суттєві зміни торкнуться функціонування майже всіх сфер людської діяльності, а в першу чергу це сфери моделювання та прогнозування. Впровадження штучного інтелекту створює величезні можливості для ведення бізнесу. Він допомагає підняти на новий рівень якість бізнес-процесів та оптимізувати діяльність компаній. Особливо прогнози необхідні у бізнесі. Штучний інтелект справлятиметься із прогнозуванням набагато краще, ніж люди. Прогнозування за допомогою технологій штучного інтелекту стає швидшим, дешевшим і якіснішим, цей інструмент буде ширше використовуватися для вирішення повсякденних задач, зокрема управління матеріально-технічними ресурсами. Основним у діяльності будь-якої компанії є бізнес-процес, тому вирішальною для конкурентоспроможності є система управління бізнес-процесами. Сьогодні у компанії створюють єдину систему управління, яка містить: управління бізнес-процесами та їх поліпшення. Управління системою бізнес-процесів спирається на застосування сучасних методів управління економічними об'єктами. Інструментами системи управління є:

- економіко-математичне моделювання (для моделювання окремих показників, що визначають ефективність бізнес-процесів);

© Яремко С., Кузьміна О., Новицький Р.

- прогнозування (для оцінки можливостей управління для отриманих у результаті параметричної ідентифікації моделей бізнес-процесів);
- імітаційне моделювання (для підвищення адекватності моделей в умовах низької репрезентативності початкових даних) [1-3].

Сучасній компанії необхідно мати систему моделей, яка дозволить побудувати цикл управління та прогнозування параметрів бізнес-процесів із заданими властивостями та поведінкою з урахуванням впливу зовнішнього середовища [3].

Розвиток технологій та інструментів штучного інтелекту приніс зміни у традиційні засоби соціально-економічного моніторингу та математичного аналізу результатів функціонування бізнесу на більш сучасні, такі як нейромережеве моделювання. Сьогодні нейронні мережі доповнюють традиційні методи математичного аналізу, а їх використання з метою економічного аналізу і прогнозування стає необхідністю для успішного функціонування та розвитку компанії [4].

Аналіз досліджень. Проведений аналіз досліджень в галузі економічного прогнозування, що пов'язані з інструментами штучного інтелекту показав, що цю проблематику вже розглядають з різних аспектів. Значна увага науковців приділена нейронним мережам, серед яких П. Норвиг, С. Рассел, О. Ротштейн, С. Хайкин, Ф. Уоссермен та інші. З позиції системного підходу, прогнозування поведінки сучасного бізнесу визнано ключовим аспектом для забезпечення планування та розподілу ресурсів та доступу до них, це питання досліджували: В. Геєць, А. Грешилов, В. Іванов, Т. Клебанова, В. Пономаренко, В. Стакун. Процеси бізнес-аналітики та прогнозування досліджували В. Дюк, Д. Ханк. Впровадженню моделей та інструментів штучного інтелекту у бізнес-процеси компаній присвятили свої наукові дослідження Р. Гайнуллін, І. Курочкіна, І. Калінин, Я. Рахал, Л. Шарнин, Н. Ясинська та інші. Не зважаючи на те, що за останнє десятиліття питання економічного прогнозування з використанням інструментів штучного інтелекту набуло стрімкого розвитку, воно вимагає подальшого дослідження і є досить актуальними.

Формулювання мети дослідження. Метою статті є висвітлення особливостей управління бізнес-процесами компаній з використанням технологій штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Стрімкий розвиток методів математичного моделювання дедалі глибше проникає в найрізноманітніші сфери людської діяльності, залучаючи до своєї теорії сучасні наукові розробки. Однією з таких інтеграційних моделей можна вважати застосування елементів штучного інтелекту для економічних досліджень, зокрема для прогнозування. Економічне прогнозування є однією з найбільш затребуваних задач будь-якої компанії. Метою економічного прогнозування є планування бізнес-процесів компанії. Даний інструмент у діяльності компанії зможе надати більш гнучкого планування та дозволити прийняти більш обґрунтовані управлінські рішення. Прогнозування створює фундаментальну основу управління бізнес-процесами в будь-якій сфері.

В результаті фінансово-економічної діяльності компанії накопичують великі обсяги інформації, які зберігаються в сховищах даних. На основі обробки цих даних можна здійснювати прогноз і приймати своєчасні та обґрунтовані управлінські рішення. Метою прогнозування є розвиток системи бізнес-процесів компанії в умовах визначеності, невизначеності або випадковості. Процеси бізнес-аналітики та прогнозування, спираючись на сучасні технології зберігання та вилучення даних, за допомогою моделей та інструментів штучного інтелекту дозволяють оцінити потенційні можливості компанії та передбачити напрями її розвитку що сприяє прийняттю якісних управлінських рішень. Прогнозування має бути максимально надійним, саме тому сховища даних грають важливу роль у забезпеченні достатньо повної за обсягом, змістом і структурою інформацією. Високий рівень достовірності цієї інформації і можливість її зіставлення в часі за кількісними та якісними характеристиками надає можливість аналітику компанії на основі передпрогнозних досліджень, структурувати інформацію про об'єкт прогнозування, проаналізувати її і прийняти рішення. Правильність передпрогнозних досліджень впливає на результати прогнозу та можливість його практичного використання. При здійсненні процесу прогнозування, як правило враховуються не всі фактори, що впливають на діяльність компанії, тому завжди присутня певна похибка. Похибка не є причиною, щоб не здійснювати прогнозування. Тому що прогнозування надзвичайно важливе у діяльності будь-якої компанії, а на основі прогнозованих, очікуваних значень показників приймаються ефективні управлінські рішення [5-6].

Економічне прогнозування - це передбачення обсягу та розміщення ресурсів компанії на певний термін наперед, шляхом вивчення динаміки розвитку компанії у реалії економічного життя суспільства та держави. При побудові тактики діяльності компанії, прогнозування – це початок процесу взаємодії всіх структурних підрозділів, а на основі розробленої тактики відбувається їх взаємодія.

© Яремко С., Кузьміна О., Новицький Р.

Прогнозування дає можливість розглянути всі можливі варіанти подальшого розвитку діяльності компанії на основі прийняття того чи іншого напряму роботи. У процесі прогнозування, найважливішими елементами є: прибутковість, наявність власних фінансових ресурсів, раціональне розміщення основних і оборотних коштів, платоспроможність, ліквідність [3,6]. Завдяки прогнозуванню цих показників досягається стабільність у діяльності компанії.

На сьогодні існує багато методик економічного прогнозування діяльності компаній. Поширення отримали такі методи прогнозування, як екстраполяції, експертних оцінок та моделювання [3-6]. Але для вирішення завдань прогнозування можуть бути використані як статистичні методи, так і нейронні мережі. Для цього існує велика кількість різних методів і моделей прогнозування на основі часових рядів. Дані методи розрізняються між собою по точності результатів і ступеню складності. Особливе місце займають нейронні мережі [7-9].

На відміну від багатьох статистичних методів нейронні мережі стійкіші до шумових даних та мають можливість до застосування необмеженої кількості незалежних змінних. Створена один раз структура може бути застосована для вирішення нових незалежних завдань. Однак, прогнозування за допомогою нейронних мережах має свої недоліки:

- як правило, необхідна велика кількість спостережень для створення прийнятної моделі;
- труднощі виникають і при підборі прийнятних коефіцієнтів навчання.

Нейромережеве прогнозування потребує визначення параметрів прогнозування [8-9]:

1) період прогнозування (одиниця часу, на яку робиться прогноз);
2) горизонт прогнозування (число періодів у майбутньому, яке покриває прогноз);
3) інтервал прогнозування (частота, з якою робиться новий прогноз).

У прогнозуванні інтервал часто збігається з періодом прогнозування. Вибір періоду і горизонту прогнозування ґрунтується на специфіці прийняття рішень у сфері діяльності, де виконується прогноз. Для нейромережевого прогнозування найважчим є вибір цих параметрів. Прогнозування має сенс, якщо горизонт прогнозування не менший, ніж час, необхідний для реалізації рішення, прийнятого на основі прогнозу. Точність прогнозу та навчальна вибірка – це фактори, що впливають на прогнозовану систему. Дані про поведінку об'єкта, ознаки якого пов'язані з часом, представлені як результати спостережень за рівномірні проміжки часу. Для моментів часу t=1, 2,…, n дані спостережень набувають вигляду часового ряду $x(t_1)$, $x(t_2)$,…, $x(t_n)$. Інформація про значення часового ряду до моменту n дає змогу давати оцінки параметрів $x(t_{n+1})$, $x(t_{n+2})$,…, $x(t_{n+m})$ [8-9,11].

Штучна нейронна система може розглядатися як аналоговий обчислювальний комплекс, в якому використовуються прості елементи обробки даних, які паралельно сполучені один з одним. Елементи обробки даних виконують прості логічні або арифметичні операції над своїми вхідними даними. Основою функціонування штучної нейронної системи є те, що з кожним елементом такої системи пов'язані вагові коефіцієнти. Вагові коефіцієнти представляють інформацію, що зберігається в системі. Мережа навчається, автоматично корегуючи вагові коефіцієнти для синапсатичних з'єднань між нейронами. Вагові коефіцієнти, разом з пороговими значеннями нейронів, визначають характер розповсюдження даних по мережі і, тим самим, задають правильний відгук на дані, що використовуються в процесі навчання. Після завершення такого навчання мережа здатна надавати відповіді з високою швидкістю. Кінцева мета навчання на основі нейронної мережі: отримання набору вагових коефіцієнтів. Процес навчання нейронної мережі з урахуванням підстроювання вагових коефіцієнтів та мінімізацією помилок прогнозування можна представити наступним чином:

1) ініціалізація ваг з випадковими значеннями;
2) для кожного внутрішнього вузла обчислюється значення сигналу на вході і виході;
3) обчислення значення сигналу на вході і виході вихідного вузла;
4) якщо різниця між отриманим значенням сигналу у вихідному вузлі і реальним значенням не більш допустимого, то на цьому закінчити, інакше йти до кроку 5;
5) обчислення помилки і розрахунок нових вагових коефіцієнтів;
6) корегування величини коефіцієнтів ваг відповідно до результатів перевірки: чи співпадає напрямок змін прогнозованих значень з реальними значеннями;
7) повторення кроків 2,3,4,5,6.

Адекватність прогнозування діяльності компанії залежить від процедури та логіки побудови прогнозованої моделі, що зумовлює необхідність визначення послідовності процедур та основних етапів прогнозування. Задача прогнозування не є тривіальною та залежить від особливостей динамічної системи, а інструменти нейромереж є найкращим методом для її вирішення.

До особливих переваг використання нейронних мереж над іншими алгоритмами відноситься:

© Яремко С., Кузьміна О., Новицький Р.

1) легкість досліджувати залежність прогнозованої величини від незалежних змінних [2,9-11]. Навіть простіша нейромережева архітектура і база даних дає можливість легко отримати систему прогнозування;

2) можливість визначення значимості вхідних змінних. Питання врахування чи не врахування системою зовнішніх параметрів буде визначатися включенням, або виключенням відповідного входу в нейронну мережу. Аналітик компанії може скористатися будь-яким алгоритмом визначення значимості вхідних змінних, щоб потім виключити з розгляду параметри, що мають незначний вплив;

3) немає жорсткої прив'язки до математичної моделі поведінки часового ряду. Нейромережева модель будується адаптивно під час навчання. При цьому, використовуючи приклади з бази даних нейронна мережа сама налаштовується під ці дані.

Недоліком нейронних мереж є недетермінованість. Це означає, що у нейромережі після процесу навчання створюється «чорний ящик», в якому логіка прийняття рішень схована. Звичайно, існують алгоритми «витягання знань із нейронної мережі», але ці алгоритми не вбудовуються в нейромережеві пакети. Крім того, набори правил, які генеруються такими алгоритмами, досить об'ємні. Аналітики, що працюють з інструментами нейромереж знають нюанси налаштування, навчання й застосування нейромереж у практичних завданнях. Тому непрозорість нейронних мереж не є настільки серйозним недоліком [4,11].

Отже, порівняно з іншими методами та алгоритмами прогнозування діяльності компаній, використання нейронних мереж надає вагомі переваги, які значно зменшують значення такого недоліку, як недетермінованість моделі нейромереж. Таким чином, в умовах сучасності найперспективнішим методом прогнозування є використання методів та інструментів штучного інтелекту, а саме - нейронних мереж [7,8,11].

Людське бажання мати комфортне робоче середовище – відповідає нашій природі, але знаходить реалізацію саме в технологіях. Число компаній, які хочуть самостійно задовольняти свої робочі потреби стрімко зростає. І в цьому їм допомагають інтелектуальні платформи. Зараз технології штучного інтелекту дозволяють співробітникам самих різних сфер діяльності, як можна максимально комфортно та ефективно організувати свою бізнес-діяльність.

Сьогодні на ринку представлено чимало спеціалізованих програмних продуктів для аналітичного моделювання та прогнозування бізнес-процесів, заснованих на нейромережному моделюванні. Найчастіше використовують пакети прикладних програм COMFAR, Альт-Інвест або інформаційну платформу Deductor. Дані програмні продукти застосовують як системи управління та прогнозування, які забезпечують підтримку основних процесів часового, ресурсного і вартісного планування, прогнозування і контролю. Для українського користувача, найбільш прийнятною є аналітична платформа Deductor [12]. Аналітична платформа Deductor складається з: сховища даних, яке консолідує інформацію з різних джерел (Warehouse); робочого місця аналітика - додатока, що дозволяє пройти всі етапи побудови прикладного рішення (Studio); клієнтського доступу до Deductor Server, який забезпечує доступ до сервера зі сторонніх додатків та управління його роботою (Client); служби, що забезпечує віддалену аналітичну обробку даних (Server); робочого місця кінцевого користувача / засіб тиражування знань (Viewer). Модифікації платформи Deductor: Enterprise, Professional, Academic.

В якості прикладу економічного прогнозування, розглянемо прогнозування бізнес-діяльності реальної компанії (Державне підприємство «Вінницьке лісове господарство») на майбутні періоди за допомогою Deductor Studio. Прогнозування будемо здійснювати на основі введення даних щодо щомісячної кількості продажів компанії за попередні періоди (2019-2020 рр.). Дані щодо продажів підприємства представлені на рис.1.

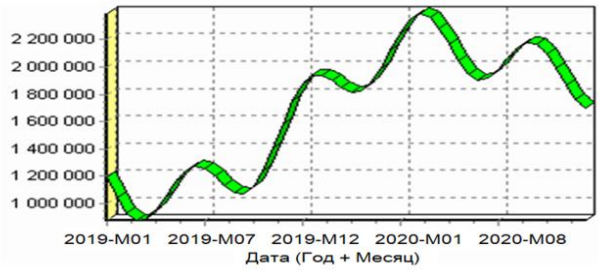


Рисунок 1 - Продажі Державного підприємства «Вінницьке лісове господарство» за 2019-2020 рр..

Прогноз на майбутнє будемо розраховувати, ґрунтуючись на даних минулих періодів, тобто припускаючи, що кількість продажів на наступний рік залежить від кількості продажів за попередні

© Яремко С., Кузьміна О., Новицький Р.

місяці та наявністю річної сезонності. Це означає, що вхідними факторами для моделі можуть бути продажі за попередній рік, продажі за декілька місяців раніше і т.п., а результатом повинні бути продажі на наступний місяць, рік чи декілька років (рис.2). При вирішенні задачі були застосовані механізми очищення даних від шумів, аномалій, які забезпечили якість побудови моделі прогнозу далі і відповідно достовірний результат самого прогнозування кількості продажів. Також було продемонстровано принцип прогнозування часового ряду - імпорт, виявлення сезонності, очищення, згладжування, побудова моделі прогнозу і власне побудова прогнозу часового ряду, а також експорт результатів у зовнішній файл.

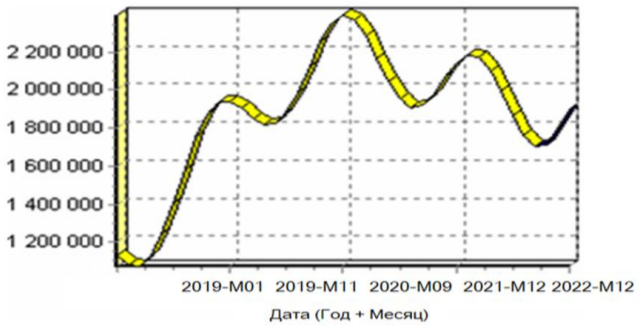


Рисунок 2 – Прогноз продажів Державного підприємства «Вінницьке лісове господарство» на 2021-2022 рр.

Застосування подібних програмних продуктів дозволить компаніям виявляти внутрішні проблеми та завчасно вживати відповідні заходи, надасть ефективний інструмент для здійснення економічного та фінансового аналізу, дозволить уникнути зайвого ризику, підвищить стабільність і збалансованість діяльності.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. На сьогодні для успішного функціонування та розвитку компанії актуальною проблемою є прогнозування його діяльності загалом та бізнес-процесами зокрема. Тому що за допомогою прогнозів можна представити потенційні можливості компанії, передбачити напрями її розвитку та отримати приховані характеристики діяльності компанії. Завдяки прогнозуванню показників фінансово-економічної діяльності досягається стабільність у діяльності компанії. Найперспективнішим методом економічного прогнозування є використання нейромережевого моделювання, яке мають низку переваг над іншими методами, серед яких найголовнішою є можливість дослідження залежності прогнозованої величини від незалежних змінних. Якість нейромережевого прогнозування залежить від кількості ознак, які представляють значення рядів під час формування множин даних, періоду, горизонту та інтервалу прогнозування. Прогнозування бізнес-процесів компанії на майбутні періоди на основі використання методів штучного інтелекту та існуючих програмних платформ доводить, що ця система є ефективним засобом пошуку шляхів оптимізації діяльності компанії, засобом прогнозування і мінімізації ризиків. За допомогою таких засобів можливо спрогнозувати діяльність на майбутні періоди не лише по кожного окремого процесу, а й по комплексу бізнес-процесів компанії. Результати прогнозування включаються у стратегічні цілі компанії, що дозволить підвищити рівень управління компанією та надати конкурентні переваги, особливо в умовах сучасної економіки.

Список бібліографічного опису

1. Stuart Russell and Peter Norvig Artificial Intelligence: A Modern Approach: Fourth edition (2020). Hoboken: Pearson. https://lccn.loc.gov/2019047498.
2. Yu.Yu. Gromov, O.G. Ivanova, V.V. Alekseev and ets. Intelligent information systems and technologies: textbook. Tambov: FGBOU VPO «TSTU», 2013. 244 p.
3. Пономаренко В. С., Мінухін С. В., Знахур С. В. Теорія та практика моделювання бізнес-процесів: монографія. Харків: Вид. ХНЕУ, 2013. 244 с.
4. Гайнуллин Р. Н., Рахал Я., Ризаев И. С., Шарнин Л. М. Прогнозирование бизнес-процессов на основе нейронных сетей. *Вестник Казанского технологического университета*, 2017. Т.20. №3. С.121-124.
5. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. Москва : Изд. дом «Радио и связь», 1997. 112 с.
6. Геєць В.П., Клебанова Т.С., Іванов В.В. Моделі й методи соціально-економічного прогнозування. Харків: Вид-во ХДЕУ, 2003. 422 с.
7. Хайкин Саймон Нейронные сети / пер.с англ. Москва : Изд. дом. «Вильямс», 2006. 1103 с.
8. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / пер.с англ. Київ : Вид-во «Світ», 1992. 204 с.
9. Цмоць О.І., Маршук А.А. Прогнозування фінансового стану підприємства за допомогою штучних нейронних мереж. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2011. Вип. 21.9. С.347-352.

© Яремко С., Кузьміна О., Новицький Р.

10. Ясинська Н., Івченкова О. Використання нейронних мереж в моделюванні фінансових результатів бізнес-процесів. *Актуальні питання теорії і практики фінансів. Світ фінансів*, 2019. №3(60). С.108-120.
11. Курочкина И. П., Калинин И. И., Маматова Л. А., Шувалова Е. Б. Метод нейронных сетей в моделировании финансовых показателей компании. *Статистика и экономика*, 2017. Т. 14, № 5. С. 33–41.
12. Deductor/Компоненты платформы. BaseGroup. Labs. URL: https://basegroup.ru/deductor/components/studio.

References

1.Stuart Russell and Peter Norvig Artificial Intelligence: A Modern Approach: Fourth edition (2020). Hoboken: Pearson. https://lccn.loc.gov/2019047498
2.Yu.Yu. Gromov, O.G. Ivanova, V.V. Alekseev and ets. Intelligent information systems and technologies: textbook. Tambov: FGBOU VPO «TSTU», 2013. 244 p.
3.Ponomarenko V.S., Minukhin S.V., Znakhur S.V. Teoriya I praktika modelyvannya biznes-protsesiv: monohrafiya.Kharkiv: Vyd.KHNEU, 2013. 244 s.
4. Haynullin R.N., Rahal Ya., Rizaev I.S., Sharnin L.M. Prphnozirovanie biznes-protsessov na ocnove neyronnykh setey. Vestnik Kazanskoho tekhnolohicheskoho universiteta, 2017.T.20. №3. S.121-124.
5.Hreshilov A.A., Stakun V.A., Stakun A.A. Matematicheskie metody postroeniya prohnozov. Moskva: Izd.dom "Padio I svyaz", 1997. 112 s.
6.Heyets V.P., Klebanova T.S., Ivanov V.V. Modeli I metody sotsialno-ekonomichnoho prohnozuvannya. Kharkiv: Vyd. KHDEU, 2003. 422 s.
7. Khaykin Saymon Neyronnye Seti / per.s anhl. Moskva: Izd. Dom "Vilyams", 2006.1006 s.
8. Uossernen F. Neyrokompyutornaya tekhnika: teoriya I praktika / per.s anhl. Kyiv: Vyd."Svit", 1992. 204 s.
9. Tsmots O.I., Marshuk A.A. Prohnozuvannya finansovoho stanu pidpriyemstva za dopomohoyu shuchykh neyronnykh merezh. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy, 2011. Vyp. 21.9. S.347-352.
10. Yasinska N., Ivchenkova O. Vykorystannya neyronnykh merezh v modelyuvanni finansovykh rezultativ biznes-protsesiv. Aktyalni pytannya teorii I praktiky finansiv. Svit finansiv, 2019. №3(60). S.108-120.
11. Kurochkina I.P., Kalinin I.I., Mamatova L.A., Shuvalova E.B. Metod neyronnykh setei v modelirovanii finansovykg pokazateley kompanii. Statistika I ekonomika, 2017. T. 14, № 5. S. 33–41.
12. Deductor/ Komponenty platform. BaseGroup. Labs. URL: https://basegroup.ru/deductor/components/studio.

© Яремко С., Кузьміна О., Новицький Р.

CONTENTS

AUTOMATION AND MANAGEMENT	
Vysloukh S.P., Yaryhin V., Globa O.V., Ivanenko R.O. Improving the quality of large-size parts produced by FDM 3D printing.	**5**
L. Grinchenko. Best universal approximations of continuous functions by generalized multiplications.	**12**
Drozdiuk Vitalii. Methods for optimizing of the structure of the photovoltaic converters based on mono- and polycrystalline silicon with a photoluminescent coating	**17**
Kaganyuk A. K. Formation of requirements for the creation of an automated computer subsystem for satellite antenna control.	**23**
Kovivchak Ya., Kynash Y., Kustra N., Kurakh V. Development of Web-oriented information system for monitoring student attendance and performance in educational institutions.	**28**
Kozak Yevhen. Peculiarities of the development of algorithms for scheduling tasks within the framework of the concept of the Edge Computing.	**36**
Kokiza Sergii. Modeling of the system for providing non-orthogonalmultiple access in a 5G network.	**42**
Korinchuk N.Yu., Boychuk M.F., Narikhnyuk N.Yu., Korinchuk V.V. Information and computer aspect of the development of mathematical and professional competencies of students in distance learning.	**47**
Kulakovska I., Satura A. Design of a subsystem for planning and optimizing the behavior of stand-alone devices for smart homes based on data analysis.	**53**
Mamchych T.I., Khanin O.G., Mamchych I.Ya. Solution of Optimization Problems using program R together with the example estimation of probabilities distribution.	**60**
Markina Lyudmila, Troyanchuk Bohdana. Analysis of existing automation systems in beekeeping.	**64**
Melnyk V., Tarasenko A., Cherniashchuk N., Chukhrii S., Melnyk K. Automated public transport timetable system.	**70**
Mykytenko S.S., Orlova M.M. Edge Computing on the Internet of Things devices.	**78**
Myroniuk L. P., Royko L. L. Use of information and communication technologies in the preparation of students of the Faculty of Physical Culture, Sports and Health.	**85**
Miskevych O.I., Kahan I., Rozhko O. How to choose the optimal laptop for learning.	**92**

Padalko A.M., Padalko N.I., Padalko K.A., Podoliak V.M. The use of a system of differential equations for mathematical modeling of direct current electric machines.	**97**
Pekh Petro, Voitko Volodymyr. Software-demonstration complex for approximate solution of systems of nonlinear equations by means of Matlab.	**103**
Pekh Petro, Diachenko Roman. Development of a software-demonstration complex for approximate solution of nonlinear equations by means Matlab.	**109**
Reshetniak T.V., Nechvoloda L.V., Krykunenko K.M. Appliyng of queuing theory to optimize the management of maintenance and repair of equipment.	**114**
Roman V.I., Izhik A.B. Analytical dependences of calculation of location coordinates and weight coefficients of acoustic paths of ultrasonic flowmeters.	**122**
Roschenko Oleksii. Promising areas for expanding the functionality of portable electronic devices: foreign experience.	**129**
Savchenko Liudmyla, Savchenko Vasyl, Minenko Serhii. The use of modern electrical equipment and methods of ultraviolet wastewater disposal.	**133**
Semchenko Hanna. Development of the secure data transfer interface model for cloud services.	**139**
Tchaikovsky Sergiy. Some questions of qualimetry in technological systems production.	**145**
Chumak Nadiia. Decentralized financial model for Ethereum-based lending.	**152**
Shornikova Svitlana. Measuring methodologies of geometrical sizes validation and verification in the production conditions.	**157**
Yushkov Andriy. Some aspects of designing parts and developing a control program in a CAD / CAM system affecting the total error of product production on a CNC milling machine.	**164**
INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE	
Arpentii Sergii. Peculiarities of the application of distributed computing for processing streaming data.	**171**
Hryhorenko Volodymyr. Peculiarities of the search algorithms organization based on the samples of the code sequences.	**177**
Kostiuchko S., Kyryliuk L., Abramovych V., Bobylev M., Petruk B. AR-applications by means of Unity and C#.	**183**
Kostiuchko S., Kyryliuk L., Protasyuk A., Kryvdik O., Romaniuk D. Monitoring of programs on the Raspberry Pi cluster.	**189**

Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rykovska L.O., Koshelyuk V.A. Features of cybersecurity of modern information technologies during the digital transformation	**194**
Melnyk K., Melnyk V., Nesteruk V. Methods of machine learning in the training of game artificial intelligence on the example of an agent in the game Snake.	**201**
Melnyk V., Bahniuk N., Zdolbitska N., Yakimchuk T. Methods for constructing the address space for wireless sensor networks.	**206**
Ozerchuk Ihor. Formation of a sustainable data transmission channel on the internet.	**212**
Tulashvili Y., Lukianchuk I. Use of artificial intelligence software for image processing.	**218**
Frankov Oleksandr. Defence mechanisms of the personal information in chat.	**223**
Yaremko S., Kuzmina O., Novitskyi R. Using artificial intelligence technologies for forecasting business processes.	**230**