

*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.

№46 2022

*м. Луцьк
Видавництво Луцького національного технічного університету*

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

№46 2022р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
професор д.ф.-м.н., Пастернак Я.М.	(м. Луцьк)
Заступники головного редактора:	
проф., д.т.н. Андрушак 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., Черняшук 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

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 №7 засідання від 01.03.2022)
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](#)
[Ulrichsweb.](#)

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

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Алексієнко Г. В. Скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи.	5
Зозуля С. В. Принципи реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку).	12
Ковівчак Я., Дубук В., Мішак Р. Розробка програмного засобу для стиснення зображень на основі кластеризації.	17
Лук'янюк С. В. Підготовка виробництва в умовах виготовлення дослідних партій: особливості організації.	24
Мороз С.А., Калесь О.О. Аналіз побудови та функціонування тензOMETричної охоронної системи.	29
Озерчук І. М. Принципи реалізації Bluetooth 5.2: апаратна реалізація.	36
Ткачук А.А., Свіржевський К.М., Грисюк О.А., Трохимчук І.М., Ткачук В.В. Аналіз інтерфейсів мереж та систем промислового Інтернету речей.	43
ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Кошель А. В. Перспективні напрямки застосування нейронних мереж у конструкторській діяльності.	57
Мороз С.А., Шендерук Д.В. Дослідження роботи системи безконтактного керування пристроями на основі технології NFC.	64
Пех П. А., Христинець Н.А., Дяченко Р. О. Програмна оптимізація вибору типу функції для апроксимації експериментальних даних.	70
Пех П. А., Хільчишин А. В. Порівняльний аналіз різних комп'ютерних технологій чисельного інтегрування функцій.	75
Ткачук В. О. PWA, як перспективний напрямок об'єднання веб та мобільних технологій.	83
Христинець Н. А., Багнюк Н. В., Кошлатий Н. В. Процес роботи ігрового дизайнера у сучасних перспективних напрямках GameDev.	88

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-01>

УДК 006.91

Алексієнко Гордій Володимирович, спеціаліст в галузі «Механічна інженерія» за напрямом підготовки «Обладнання переробних і харчових виробництв», інженер-технолог

<https://orcid.org/0000-0002-0757-757X>

Харківський державний університет харчування та торгівлі ТОВ НВФ «Вест Лабс ЛТД»

СКОРОЧЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КЕРОВАНОЇ РОЗТОЧУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Алексієнко Г. В. Скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи. У статті розкрито принципи скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи. Визначено етапи еволюції сучасної металообробної техніки. Охарактеризована будова розточувальної головки та визначено її місце у загальній металообробній системі на базі верстата з числовим програмним управлінням. Підкреслено, що на сьогодні, з розвитком автоматизації виробництва, більшою мірою використовують автоматичні розточувальні головки, які мають автоматичну радіальну подачу, що робить їх більш універсальними як при обробці отворів, так і при обробці зовнішніх поверхонь, такі головки мають великий діапазон обробки. Визначено характеристики автоматичної розточувальної головки та наголошено на перевагах застосування. Так використання автоматичних розточувальних головок дозволяє значно скоротити час обробки, збільшити точність і підвищити якість поверхні, що обробляється. Враховуючи, що розточувальні головки за своєю суттю, є приладдям яке знімається, спектр їх застосувань доволі широкий від координатно-розточувальних верстатів до агрегатних верстатів на базі обробних центрів. Представлено структурну схему управління верстатом з ЧПУ з відокремленням основних блоків, що входять до її складу та умовно розкрито схему реалізації керування обертами розточувальної головки. Наголошено, що впровадження мікропроцесорної системи управління позиціонуванням різця в розточувальній головці дозволить збільшити можливості формоутворення, а саме виконувати фасонні, циліндричні, ступінчасті та конусні отвори за один підхід, що дозволить скоротити час обробки, і найголовніше керувати точною одержуваною продукцією, а також скоротити номенклатуру використовуваного інструменту. Сформовано математично модель управління розточувальної головки та описано основні фактори впливу. Підкреслено, що технологічний процес характеризується силою різання та положенням розточувальної головки і може бути представлений у вигляді траєкторії руху її розточувальної кромки. Наголошено, що така система управління здійснює реалізацію процесу розточування отворів за рахунок формування траєкторії та порівняння її з еталонною траєкторією. Здійснення передачі даних блоком зворотного зв'язку запропоновано на технології Bluetooth, яка в умовах сьогодення є бюджетною та максимально дієвою у рамках заявлених вимог.

Ключові слова: розточувальна система, обробка отворів, верстат, числове програмне управління, система керування, трудомісткість, скорочення часу.

Aleksiienko Hordii. Reduction of labor intensity of manufacturing of openings of a difficult form with use of the controlled boring system. The article reveals the principles of reducing the complexity of manufacturing holes of complex shape using a controlled boring system. The stages of evolution of modern metalworking equipment are determined. The structure of the boring head is characterized and its place in the general metalworking system on the basis of the machine with numerical program control is defined. It is emphasized that today, with the development of production automation, more and more use automatic boring heads, which have automatic radial feed, which makes them more versatile in both machining holes and external surfaces, such heads have a wide range of processing. The characteristics of the automatic boring head are determined and the advantages of the application are emphasized. Thus, the use of automatic boring heads can significantly reduce processing time, increase accuracy and improve the quality of the surface to be treated. Given that boring heads are essentially removable accessories, the range of their applications is quite wide, from coordinate boring machines to aggregate machines based on machining centers. The structural scheme of control of the CNC machine with separation of the main blocks which are a part of it is presented and the scheme of realization of control of turns of a boring head is conditionally opened. It is emphasized that the introduction of a microprocessor control system for positioning the cutter in the boring head will increase the possibility of forming, namely to make shaped, cylindrical, stepped and conical holes in one approach, which will reduce processing time and most importantly control the accuracy of the product. The model of control of a boring head is mathematically formed and the main factors of influence are described. It is emphasized that the technological process is characterized by the cutting force and the position of the boring head and can be represented as the trajectory of its boring edge. It is emphasized that such a control system implements the process of boring holes by forming a trajectory and comparing it with the reference trajectory. The implementation of data transmission by the feedback unit is proposed on the basis of Bluetooth technology, which in today's conditions is budget-friendly and most effective within the stated requirements.

Key words: boring system, hole machining, machine, numerical program control, control system, complexity, time reduction.

Вступ та постановка завдання. Обробка отворів у процесі створення деталі складної форми є субтрактивним виробничим процесом, який широко використовується в багатьох видах промисловості, від металообробної промисловості до виготовлення медичних протезів, що

дозволяє отримувати дуже складні форми з високою точністю та дуже низькою шорсткістю поверхні.

Говорячи про еволюцію сучасної металообробної техніки, особливої уваги варто приділити традиційним верстатам, які є одними з головних металообробних одиниць. Так враховуючи розвиток електроніки та систем керування верстати оновили свій функціонал числовим контролем. Також, модернізації зазнали характеристики з точки зору ряду осей, які безпосередньо й одночасно керуються, передових систем захоплення, кількох робочих столів, більш високої швидкості обробки, покращеної точності, тощо.

Відносно програмного забезпечення варто зазначити значний інноваційний вплив на процеси механічної обробки. Виникнення 3D моделювання дало поштовх до можливості здійснювати розробку макету деталі, надаючи надійну допомогу щодо автоматизації процесу передачі 3D-моделі в програму, здатну виготовити деталь.

Фактично, еволюція 3D комп'ютерного проектування швидко посприяла становленню комп'ютерного виробництва з покращеною сумісністю між різними програмними забезпеченнями, що полегшує перетворення 3D-моделей на команди машинної мови, які здатні керувати різними сервомоторами, які, у свою чергу, відповідають за створення необхідних переміщень осі.

Проте, сучасний ринок постійно вимагає більшої гнучкості від обладнання, що задіяне у виробництві, налагодження безперебійного процесу взаємодії між обладнанням і здатністю працювати без людського втручання протягом тривалого часу, встановлюючи використання піддонів у машинах та розробляючи математичні моделі для адекватного керування робочим процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми та результати обробки отворів складної форми із застосуванням розточувальної системи розкрито на сторінках робіт багатьох як зарубіжних так і вітчизняних вчених.

А. Р. Трищ [1] розробив комплекс наукових, інформаційних, технічних, програмних та організаційних засобів, для опрацювання науково-технічної інформації задля розроблення автоматизованої методики оцінювання взаємозамінності глибоких координованих отворів у машинобудуванні на етапі технологчної підготовки виробництва.

Робота [2] спрямована на підвищення продуктивності та якості обробки отворів на багатоцільових верстатах свердлильно-фрезерно-розточувальної групи. Авторами підкреслено проблеми машинобудівної сфери та сформовано напрямки на подальше їх усунення.

О. О. Ченчева [3] довела, що використання циклічної подачі певної частоти та змінної амплітуди значно підвищує різальні властивості свердла, забезпечує високу точність і низьку шорсткість поверхні, однак на відміну від існуючих технічних рішень з ударно-імпульсною подачею, не призводить до формування деструктивного шару значної товщини, знижує небезпеку виникнення розшарувань і поверхневих сколювань.

А. М. Щербак та І. С. Дмитрієва [4] розробили структурно-логічну схему проектування керуючої програми в умовах проектування системи управління верстата з ЧПУ в програмного середовищі.

Стосовно загальної експлуатації верстатів з числовим програмним управлінням варто відмітити роботу Т.І. Четвержука, Р.М. Полінкевича, Р.Г. Редько та Н.Т. Зубовецької [5], які провели аналіз сучасних пристроїв ЧПУ металорізальних верстатів, з визначенням основних діагностичних складових управління і контролю автоматизованими технологічними процесами. Ю. А. Петренко та В. М. Леміш [6] здійснили дослідження характеристик верстатів з ЧПУ та методів їхнього керування. Під час аналізу характеристик різноманітних верстатів з ЧПУ різних цінкових категорій та методів керування верстатами з ЧПУ авторами поставлено мету на розроблення комп'ютерної технології вибору методу керування верстатом з ЧПУ в умовах невизначеності з огляду на такі фактори, як швидкість обертів шпинделя, діаметр свердління та точність верстата.

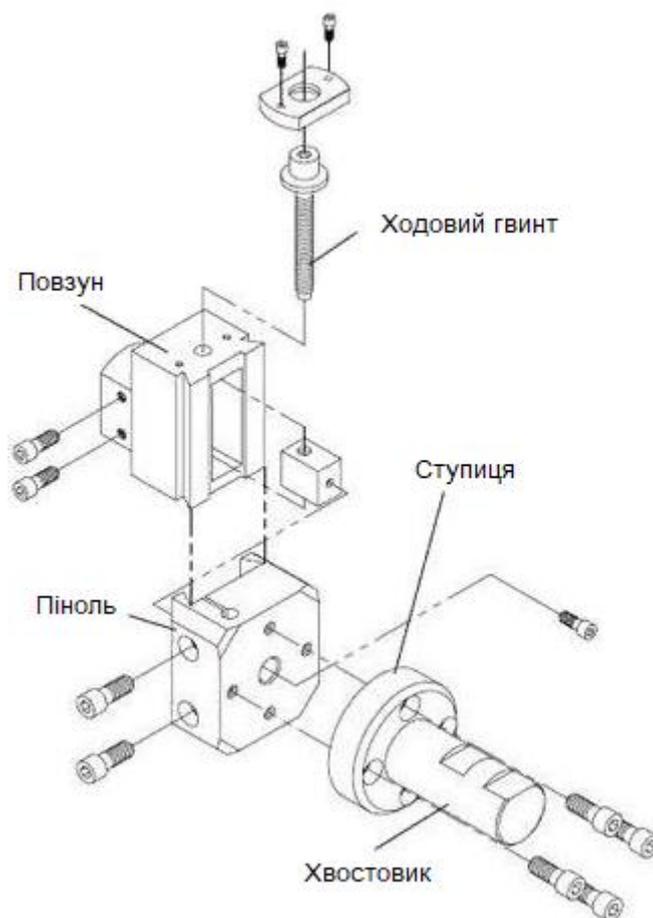
Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Abullah Ziyad [7], Žarnovský Jozef & Kovac I. & Mikuš Rastislav & Fries Jiří & Mošar' Matúš [8], Breaz Radu & Racz Sever-Gabriel & Bologa Octavian-Constantin [9], Ivanov Vitalii & Zajac Jozef [10], Ay Muzaffer & Stemmler Sebastian & Abel Dirk & Schwenzer Max & Klocke Fritz [11], Thasana Wiroj & TAKAHASHI Atsushi & YOSHIDA Arata & Sugimura Nobuhiro & TANIMIZU Yoshitaka & Iwamura Koji [12], Zamudio & A

Carlos [13], Shu Qi & Cheng Zhong & Liang Xiao [14], Svoboda Ondrej & Bach Pavel & Liotto Gianmarco & Wang Charles [15], Sun J. & Kong B. & Zhang X. & Wu F. [16] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи.

Викладення основного матеріалу дослідження. Виготовлення отворів складної форми здійснюється за допомогою розточувальної головки, яка використовується як альтернатива одноточковим розточувальним стержням. Діаметр розточувальної головки дорівнює кінцевому діаметру отвору, а пластини симетрично розподілені по колу головки, щоб забезпечити погашення сили в площині, перпендикулярній осі отвору. За допомогою більшої швидкості подачі можна розточувати весь отвір завдяки наявності декількох пластин на розточці. Монтаж розточувальної головки на верстат з ЧПУ здійснюється на шпindelний вал, який передає момент обертання від приводу верстата (сервопривід). Щоб уникнути вильоту головки в процесі експлуатації, інструмент фіксується гвинтами або гайками. Будову розточувальної головки наведено на рисунку 1.



* за матеріалами [17]

Рисунок 1 – Будова розточувальної головки

На сьогодні, з розвитком автоматизації виробництва, більшою мірою використовують автоматичні розточувальні головки, які мають автоматичну радіальну подачу, що робить їх більш універсальними як при обробці отворів, так і при обробці зовнішніх поверхонь. Такі головки мають великий діапазон обробки.

Таблиця 1 – Характеристики автоматичної розточувальної головки

Діапазон дії розточувальної головки, мм	Діаметр різців, мм	Хід блоку ковзання по поверхні, мм	Точність калібрування, мм	Максимальна ручна подача за один обхід, мм	Максимальна автоматична подача за один обхід, мм
1	2	3	4	5	6
Від 5 до 250	18	Порядку 15	0,005	3	Від 0,02 до 0,06, з кроком 0,02

В умовах сучасного виробництва використання автоматичних розточувальних головок дозволяє значно скоротити час обробки, збільшити точність і підвищити якість поверхні, що обробляється. Враховуючи, що розточувальні головки за своєю суттю є приладдям яке знімається, спектр їх застосувань доволі широкий від координатно-розточувальних верстатів до агрегатних верстатів на базі обробних центрів.

Доцільність і якість розточування багато в чому залежать від необхідного крутного моменту, потужності шпинделя, конструктивної жорсткості верстата і заготовки, а також подачі. Ефективність процесу також сильно залежить від величини неузгодженості між поздовжнім отвором та осями розточувальної головки. Управління положенням та подачею ріжучого інструменту під час обертання головки здійснюється сервоприводом. Також сучасні розточувальні головки оснащені датчиком зворотного зв'язку, що у динаміці дозволяє відстежувати становище інструменту, тобто повністю керується системою ЧПУ. Структурна схема управління верстатом з ЧПУ наведена на рисунку 2.

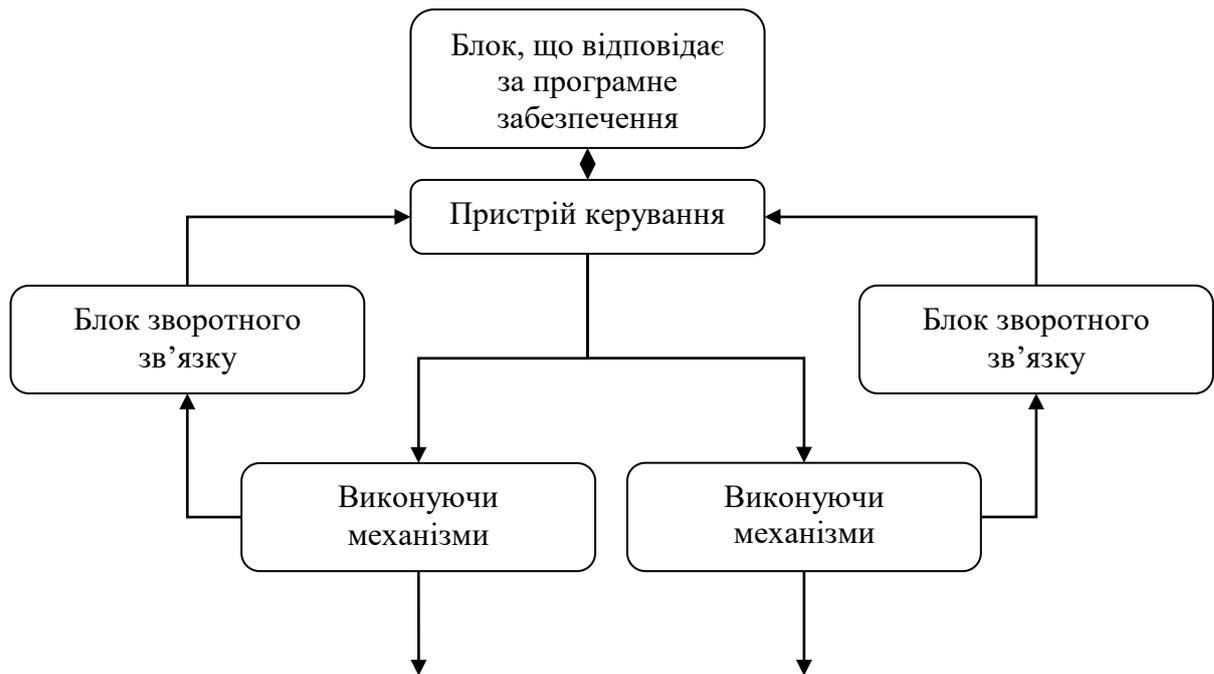


Рисунок 2 – Структурна схема управління верстатом з ЧПУ

Виконуючі механізми у своєму складі мають, наприклад, розточувальну головку, шпиндель, стіл, каретку, тощо. Структурна схема реалізації дії виконуючого механізму наведена на рисунку 3.



Рисунок 3 – Структурна схема реалізації керування обертами розточувальної головки

Впровадження мікропроцесорної системи управління позиціонуванням різця в розточувальній головці дозволить збільшити можливості формоутворення, а саме виконувати фасонні, циліндричні, ступінчасті та конусні отвори за один підхід, що дозволить скоротити час обробки, і найголовніше керувати точністю одержуваної продукції, а також скоротити номенклатуру використовуваного інструменту. На рисунку 4 сформовано структурну схему управління розточувальної головки, яка розділена умовно на управління першого та другого рівня.

Математична модель управління розточувальної головки до свого складу включає параметри процесу розточування та похибку, яка виникає у процесі розточування.

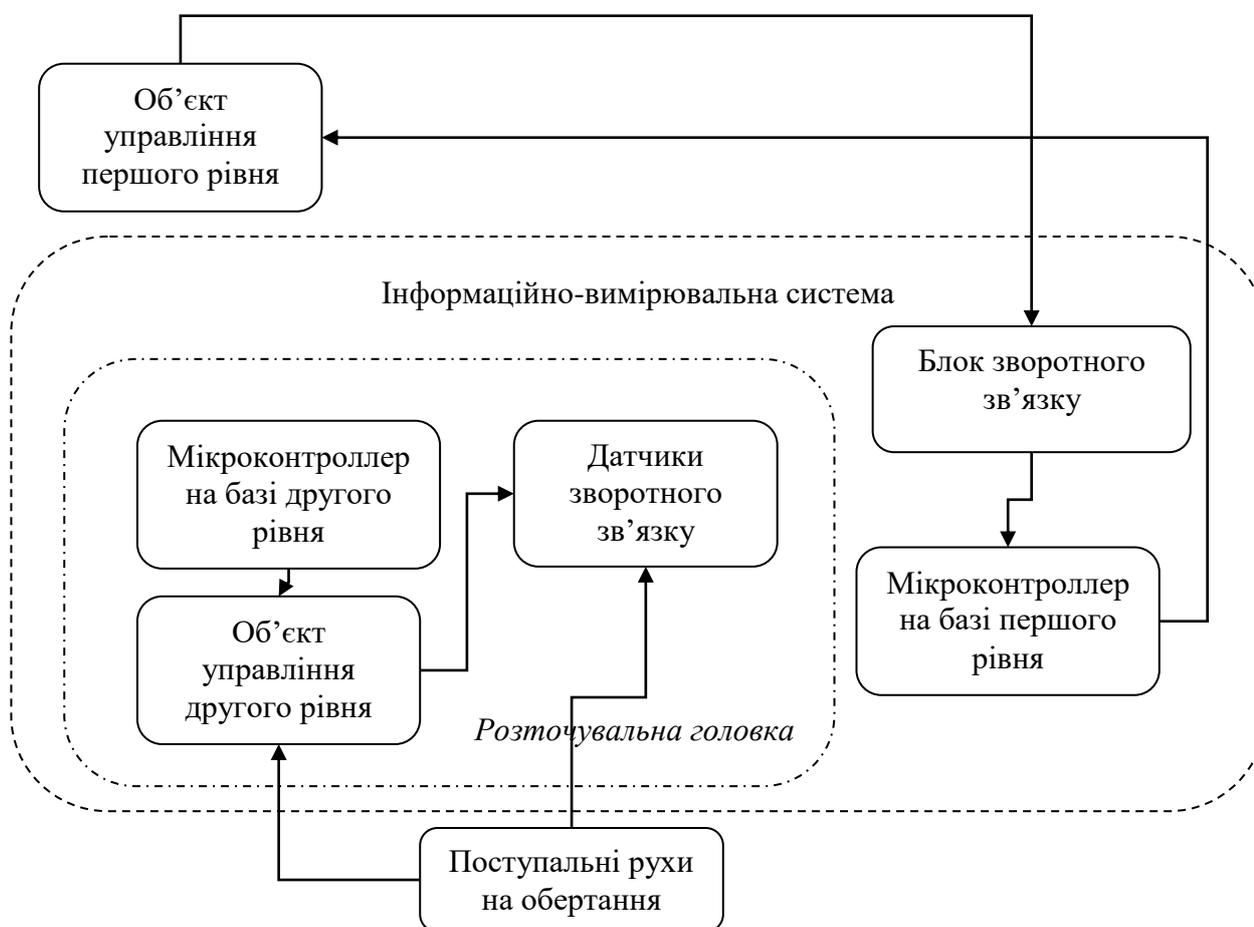


Рисунок 4 – Структурна схема управління розточувальної головки

На похибку особливий вплив має результат пружних відтискань елементів технологічної системи; недоліки або неточності в установці інструменту; знос ріжучого інструменту; температурна деформація технологічної системи; геометричні неточності верстату; неточність системи програмного управління (збої, віруси, помилки налаштування); деформація технологічної системи від затискних сил; можливий технологічний допуск на розмір деталі, що оброблюється.

Загальна сукупність описаних факторів впливу дає значну вірогідність формування неякісного технологічного процесу та виходу з ладу обладнання, саме тому, для досягнення відповідної якості необхідно використовувати технологію зворотного зв'язку у режимі реального часу. Як результат даного впровадження, об'єктом управління є процес розточування разом із модулем руху розточувальної головки.

Технологічний процес характеризується силою різання та положенням розточувальної головки і може бути представлений у вигляді траєкторії руху її розточувальної кромки. На основі вищевикладеного, варто наголосити, що така система управління здійснює реалізацію процесу розточування отворів за рахунок формування траєкторії та порівняння її з еталонною траєкторією. Також, застосування системи управління розточувальної головки дає змогу підвищити швидкість руху, чим скоротить загальний час обробки деталі, що, у свою чергу економічно вигідно для підприємства. Окреслена модель сформована на базі двох взаємодіючих рівнів: перший рівень управління, здійснює безперервне управління технологічним процесом, а другий рівень управління, здійснює контроль процесу і вибір необхідних параметрів регулюючого впливу на об'єкт управління на базі функції відхилення поточного уявлення якості про процес у порівнянні з еталонною моделлю, що задана технологічною картою на виготовлення.

Здійснення передачі даних блоком зворотного зв'язку засновано на технології Bluetooth, яка в умовах сьогодення є бюджетною та максимально дієвою у рамках заявлених вимог. Bluetooth є стандартом зв'язку, що найбільш часто використовується, має масштабний вибір систем підтримки, достатню швидкість передачі інформації, достатню перешкодостійкість на близьких відстанях.

Висновки. У роботі розкрито принципи скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи. Запропоновано впровадження автоматизованого управління за технологічним процесом, та контроль процесу і вибір необхідних параметрів регулюючого впливу на об'єкт управління, яким виступає розточувальна головка, на базі функції відхилення поточного уявлення якості про процес у порівнянні з еталонною моделлю, що задана технологічною картою на виготовлення. Окреслена модель дасть змогу підвищити швидкість руху, чим скоротить загальний час обробки деталі, що, у свою чергу, економічно вигідно для підприємства. Формування комунікації розточувальної головки з блоком управління запропоновано із застосуванням технології Bluetooth враховуючи її сильні сторони та інноваційність останніх наробок.

Перспективами подальших досліджень є розробка стратегії скорочення часу обробки на фрезерних верстатах з ЧПУ при використанні високих та надвисоких подач з поступовим впровадженням на металообробному підприємстві.

Список бібліографічного опису.

1. Трищ А.Р. Оцінювання взаємозамінності глибоких координованих отворів у машинобудуванні з застосуванням інформаційних систем. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» (15 – Автоматизація та приладобудування). – Українська інженерно-педагогічна академія МОН України, м. Харків, 2021. 147 с.
2. Коваленко Я.П., Мельничук П.П. Підвищення ефективності обробки отворів на багатоцільових верстатах / Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти», 6–9 листопада 2019 року. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. С. 125-126.
3. Ченчева О.О. Удосконалення мотор-шпинделя для ефективного свердлування вуглепластиків трубчастими алмазними свердлами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2019. 226 с.
4. Проектування системи управління верстату з ЧПУ в середовищі MASTERCAM / А. М. Щербак, І. С. Дмитрієва // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2019): матеріали V

- Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 6-8 листопада 2019 року) / Міністерство освіти і науки України, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет». – Дніпро: Баланс-клуб, 2019. С. 102-103.
5. Четвержук Т.І. Режими роботи системи ЧПУ верстата в процесі його експлуатації// Четвержук, Р.М. Полінкевич, Р.Г. Редько, Н.Т. Зубовецька // Наукові нотатки: міжвуз. зб.наук. праць. – Луцьк, 2019. Вип. 66. С. 373-378.
 6. Петренко Ю. А., Леміш В. М. Вибір методу керування верстатом з ЧПУ в умовах невизначеності / Харківський національний автомобільно-дорожній університет: Вісник ХНАДУ, 2021. т. 1 вип. 92. С. 97-102.
 7. Різець // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. С. 171.

References.

1. Abullah, Ziyad. (2020). Sustainability Modeling of Conventional Milling Machine Remanufactured CNC Machine Tool Upgraded. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 39. 197-224. 10.9734/CJAST/2020/v39i2530897.
2. Žarnovský, Jozef & Kovac, I. & Mikuš, Rastislav & Fries, Jiří & Mošat', Matúš. (2019). Vibration Diagnostics of CNC Machining Center Spindle. *Manufacturing Technology*. 19. 350-356. 10.21062/ujep/295.2019/a/1213-2489/MT/19/2/350.
3. Breaz, Radu & Racz, Sever-Gabriel & Bologa, Octavian-Constantin. (2017). 5-axes modular CNC machining center. *MATEC Web of Conferences*. 112. 06004. 10.1051/mateconf/201711206004.
4. Ivanov, Vitalii & Zajac, Jozef. (2018). Flexible Fixtures for CNC Machining Centers in Multiproduct Manufacturing. *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*. 4. 153552. 10.4108/eai.10-1-2018.153552.
5. Ay, Muzaffer & Stemmler, Sebastian & Abel, Dirk & Schwenzer, Max & Klocke, Fritz. (2018). System Identification of a CNC Machining Center with Support Vector Machines. 1-9. 10.1109/MED.2018.8442437.
6. Thasana, Wiroj & TAKAHASHI, Atsushi & YOSHIDA, Arata & Sugimura, Nobuhiro & TANIMIZU, Yoshitaka & Iwamura, Koji. (2013). A030 A Simulation of Kinematic Deviations of Boring Processes on CNC Machining Centers. *Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st century : LEM21*. 2013.7. 141-146. 10.1299/jsmelem.2013.7.141.
7. Zamudio, & A, Carlos. (2022). Theoretical and practical background for the characterization of CNC machining centers /https://www.researchgate.net/publication/35317195_Theoretical_and_practical_background_for_the_characterization_of_CNC_machining_centers
8. Shu, Qi & Cheng, Zhong & Liang, Xiao. (2014). The Origin Alignment Method of Box Parts Based on Boring and Milling Machining Center. *Applied Mechanics and Materials*. 644-650. 4980-4984. 10.4028/www.scientific.net/AMM.644-650.4980.
9. Svoboda, Ondrej & Bach, Pavel & Liotto, Gianmarco & Wang, Charles. (2022). Volumetric positioning accuracy of CNC machining centers definitions and measurements.
10. Sun, J. & Kong, B. & Zhang, X. & Wu, F.. (2017). Experimental Study on Thermal Error Measurement of Spindle System of Boring and Milling Machining Center. *Shenyang Jianzhu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*. 33. 1107-1115. 10.11717/j.issn:2095-1922.2017.06.18.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-02>

УДК 331.45

Зозуля Сергій Васильович, інженер –будівельник

<https://orcid.org/0000-0003-3812-3818>

Київський державний технічний університет будівництва і архітектури

ПРИНЦИПИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛУ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ НА ТЕРИТОРІЇ ПРИВАТНОЇ ВЛАСНОСТІ (ПРИВАТНОГО БУДИНКУ)

Зозуля С. В. Принципи реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку). У статті розкрито принципи реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку). Структуровано стандарти сертифікації зеленого будівництва та визначено показники відповідності будівельних проектів. Підкреслено, що метою впровадження технологій зеленого будівництва, на території приватного будинку є, перш за все, зниження рівня споживання енергетичних та матеріальних ресурсів при одночасному збереженні або підвищенні якості приватного будинку та комфорту його внутрішнього середовища. Визначено поняття «зеленого» будівництва та розкрито підхід до впровадження інноваційної технології в умовах сучасного будівництва. Наголошено, що «зелені» технології, які можуть бути реалізовані у поєднанні з існуючою інфраструктурою або як автономні системи, можуть підтримувати перехід до нової парадигми повторного використання води шляхом інтеграції циркулярної економіки у принципи водного господарства країни, міста, поселення, району, тощо. Представлено схематичне зображення існуючої системи використання водних ресурсів, яка заснована на зборі дощової води, її очищенні та використанні. Наведену паралельну систему збору дощової води зручно застосовувати на об'єктах індивідуального замського житлового будівництва, на територіях, віддалених від промислових зон. Підкреслено, що серед переваг використання дощової води у побуті слід відзначити суттєве скорочення споживання звичайної водопровідної води, оскільки її витрати залежать лише від кількості мешканців та їх звичок. Сформовано схему реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку). Наголошено, що для реалізації замкнутого циклу необхідним є встановлення спеціального обладнання, яке включає багатоступінчасті фільтри, різні реагенти та коагулянти, що доводять хімічний склад води до санітарних норм. Зазначено, що основною проблемою «зелених технологій» та розвитку екодевелопменту в цілому залишається дорожнеча їх реалізації, оскільки обладнання, що використовується, є імпортом, і не кожен забудовник чи замовник зможе дозволити собі реалізацію даної технології на своєму власному об'єкті.

Ключові слова: замкнутий цикл, водопостачання, водовідведення, приватний будинок, зелені технології.

Zozulia S. V. Principles of realization of the technology of the closed cycle of water use on the territory of private property (private house). The article reveals the principles of implementation of the technology of closed cycle water use on the territory of private property (private house). Standards for certification of green construction have been structured and indicators of compliance of construction projects have been determined. It is emphasized that the purpose of implementing green building technologies on the territory of a private house is, first of all, to reduce the level of consumption of energy and material resources while maintaining or improving the quality of a private house and the comfort of its interior. The concept of "green" construction is defined and the approach to the implementation of innovative technologies in modern construction is revealed. It is emphasized that "green" technologies, which can be implemented in combination with existing infrastructure or as autonomous systems, can support the transition to a new paradigm of water reuse by integrating the circular economy into the water management of the country, city, town, district, etc. A schematic representation of the existing system of water resources use, which is based on rainwater collection, treatment and use, is presented. The given parallel system of rainwater collection is convenient to apply on objects of individual suburban housing construction, in the territories remote from industrial zones. It is emphasized that among the benefits of using rainwater in the home should be noted a significant reduction in the consumption of ordinary tap water, as its costs depend only on the number of inhabitants and their habits. The scheme of realization of the technology of the closed cycle of water use on the territory of private property (private house) is formed. It is emphasized that for the implementation of the closed cycle it is necessary to install special equipment, which includes multi-stage filters, various reagents and coagulants that bring the chemical composition of water to sanitary standards. It is noted that the main problem of "green technologies" and the development of eco-development in general remains the high cost of their implementation, as the equipment used is imported and not every developer or customer can afford to implement this technology at their own facility.

Key words: closed cycle, water supply, sewerage, private house, green technologies.

Вступ та постановка завдання. На протязі останніх років, популярності набирає тенденція до впровадження механізмів екологічного будівництва. На законодавчому рівні розроблено низку стандартів сертифікації «зеленого» будівництва таких як: BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) (Велика Британія); LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) (Америка); DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) (Німеччина). Оцінка відповідності будівельних проектів здійснюється за головними показниками: енергоефективність, водоефективність, екологічність, тощо.

Метою впровадження технологій «зеленого» будівництва, на території приватного будинку є, перш за все, зниження рівня споживання енергетичних та матеріальних ресурсів при одночасному збереженні або підвищенні якості приватного будинку та комфорту його внутрішнього середовища.

Формування та впровадження технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності є одним з напрямків реалізації механізмів «зеленого» будівництва. Його економічна та екологічна складові обґрунтовані та доведені, проте принципи реалізації на прикладі окремого будинку розкрито не повною мірою, що викликає певні труднощі під час формування власного проекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми та результати впровадження технологій зеленого будівництва розкрито на сторінках робіт багатьох як зарубіжних так і вітчизняних вчених.

Інвестиційне забезпечення зеленої економіки як пріоритетний напрям розвитку держави на засадах сталого розвитку розкрили З. А. Атаманчук та Ю. В. Неголюк [1]. Авторами запропоновано модель переходу України до «зеленої» економіки; обґрунтовано, що за умов наслідування досвіду провідних країн, чіткого державного регулювання та підтримки, якісного забезпечення інвестиціями та чітких законодавчих і правових норм, дана модель переходу та побудови нової економіки може призвести до стрімкого соціально-економічного поступу України. У регіональній площині варто відмітити роботу М. М. Данилюка та М. В. Дмитришина [2], які розкрили ключові характеристики, потреби та передумови існування зеленого будівництва, виявили різницю між традиційним та зеленим будівництвом. Науковцями охарактеризовано місце зеленого будівництва у складі зеленої економіки та виокремлено фактори за допомогою яких об'єкти зеленого будівництва впливають на навколишнє середовище та здоров'я населення; структуровано їх в логічній послідовності появи.

А. А. Бобраков, С. А. Куліш, Я. Є. Вакулюк [3] сформували основні напрямки наукових досліджень зелених конструкцій для підвищення ефективності їхнього використання. У статті описані нові технології для створення зеленого фасаду, запропонований метод її встановлення. Ця технологія поліпшує комфортне проживання в будинках, захищає його від холоду та шуму.

У [4] розглянуті світові стандарти «зелених конструкцій», перспектива впровадження цих технологій на будівельний вітчизняний ринок, напрямки основних досліджень «зелених конструкцій» в Україні. Міжнародний аспект розкрили В. М. Бредіхін, В. І. Вербицька [5]. Авторами досліджено міжнародний досвід екологічного менеджменту в будівельній галузі. Окреслено складові будівельних екотехнологій, основні стандарти, пов'язані з підвищенням рівня енергоефективності. Викладено підходи в сфері екологічного менеджменту для будівельної галузі України.

Ю. В. Ташеєв, С. В. Войтко, О. О. Трофименко, О. О. Репкін та Т. С. Кудря [6] визначили основні передумови та проаналізували тенденції використання водневих технологій з урахуванням енергетичного потенціалу та екологічних особливостей водню. Розглянули основні технології виробництва водню та визначили перспективи та недоліки їх використання. Авторами проведено аналіз капітальних витрат і вартості водню при різних способах його отримання.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Averina Julia [7], Farooqi Zia Ur & Zafar Asma & Ameen Sabeela & Ilić Predrag & Stojanović Ljiljana & Markić Dragana [8], Ngo Huu & Bui Xuan-Thanh & Nghiem Long & Guo Wenshan [9], Yeang Ken & Threipland Edwina [10], Bui Xuan-Thanh & Fujioka Takahiro & Nghiem Long [11], Bhardwaj Monu [12], Niknejad Naghmeh & Nazari Behzad & Foroutani Saman & Hussin Ab. [13], Vijayan Remya & Francis Sijo & Mathew Beena [14], Vijayan Remya [15], Ngo H.H. & Guo W. & Surampalli R.Y. & Zhang Tian [16], Raja V. & Raj S. & Sairam M. & Kasyap, Anipeddi & Kumar Ganesh & Priya R. & Jayaraman Baalamurugan & Sonawwanay Puskaraj [17], Qamar Muhammad Zaid & Noor Mariya & Ali Wahid & Qamar Muhammad [18] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку) залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку).

Викладення основного матеріалу дослідження. Термін «зелені будинки», який на сьогодні, є загальноприйнятим у світовій практиці розкриває принципи будівництва енергоефективних екологічно стійких будівель з максимальним використанням відновлюваних енергоресурсів та високим рівнем комфорту для людини. До окресленого поняття входить, зокрема, поняття «водоефективність», тобто «зелене водопостачання та водовідведення», спрямоване на раціональне використання та економію водних ресурсів, що надаються користувачам.

У концепції «зеленого водопостачання» все більше уваги приділяється повторному використанню води. Лідируючі позиції у цій сфері сьогодні займає Австралія з інноваційною програмою, яка передбачає повторне використання води (вона реалізована водопровідною компанією штату Вікторія). Система забезпечує роздільне водопостачання з водоочисних споруд, наприклад, для поливання садів, змиву в туалетах, миття машин, пожежогасіння і навіть у декоративних ставках. Процес очищення ретельно контролюється і вода навіть вважається безпечною для споживання тваринами.

Загалом «зелені» технології, які можуть бути реалізовані у поєднанні з існуючою інфраструктурою або як автономні системи, можуть підтримувати перехід до нової парадигми повторного використання води шляхом інтеграції циркулярної економіки у принципи водного господарства країни, міста, поселення, району, тощо.

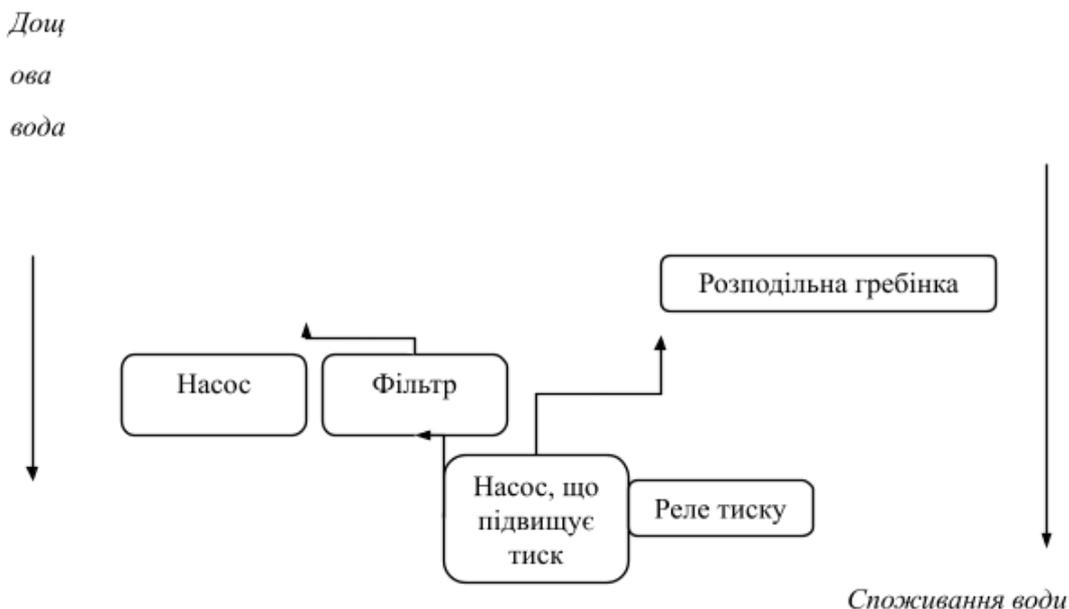
В умовах реалізації циркулярної економіки на базі окремого приватного будинку вирішуються наступні питання: відновлення та підтримка кругообігу води (за допомогою управління дощовою водою); очищення, відновлення та повторне використання води та водних відходів; відновлення та повторне використання поживних речовин; відновлення та повторне використання матеріалів; енергоефективність приватного будинку; відновлення системи приватної будівлі.

Найперспективніший варіант скорочення споживання води – створення замкнених систем. Стічні води проходять очищення спеціальним обладнанням та використовуються повторно. Складові системи оборотного водопостачання залежать від обсягу стоків і вимог, які пред'являються до якості очищеної рідини.

Одне з центральних місць у «зеленому» будівництві займають також технології ефективного та раціонального використання водних ресурсів. На рівні будівельної системи приватного будинку водні потоки, включаючи відокремлені стічні води, опади та стік, можна повторно використовувати. Існує кілька різновидів подібних систем, починаючи від простих, призначених для невеликих приватних будинків і закінчуючи пристроями промислового масштабу. Дощова вода зазвичай збирається з даху будівлі. Повторне використання води та поживних речовин шляхом поділу використовується для господарських та побутових потреб. Поза будинком вона призначена для зрошення газонів та городів, у весняно-осінній період – миття автомобілів та прибирання території навколо будинку.

Також подібна система може бути використана як автономне водопостачання у разі несправностей у системі центрального водопостачання або будь-яких збоїв при подачі води.

Схематичне зображення існуючої системи використання водних ресурсів представлено на рисунку 1.



Ємність для збору дощової води
Водонапірна ємність
Мембранний бак

Водонагрівач

Рисунок 1 – Схематичне зображення існуючої системи використання водних ресурсів

Паралельну систему збору дощової води зручно застосовувати на об'єктах індивідуального замиського житлового будівництва, на територіях, віддалених від промислових зон. Серед переваг використання дощової води у побуті слід відзначити суттєве скорочення споживання звичайної водопровідної води, оскільки її витрати залежать лише від кількості мешканців та їх звичок. Також це дає можливість суттєво зменшити водозабір поверхневих та підземних вод та запобігає просіданню ґрунту.

Однак експлуатаційний попит на воду не є єдиним важливим фактором у практиці повторного використання води. Також значний вплив мають економічна складова та екологія.

Схема реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку) наведено на рисунку 2.

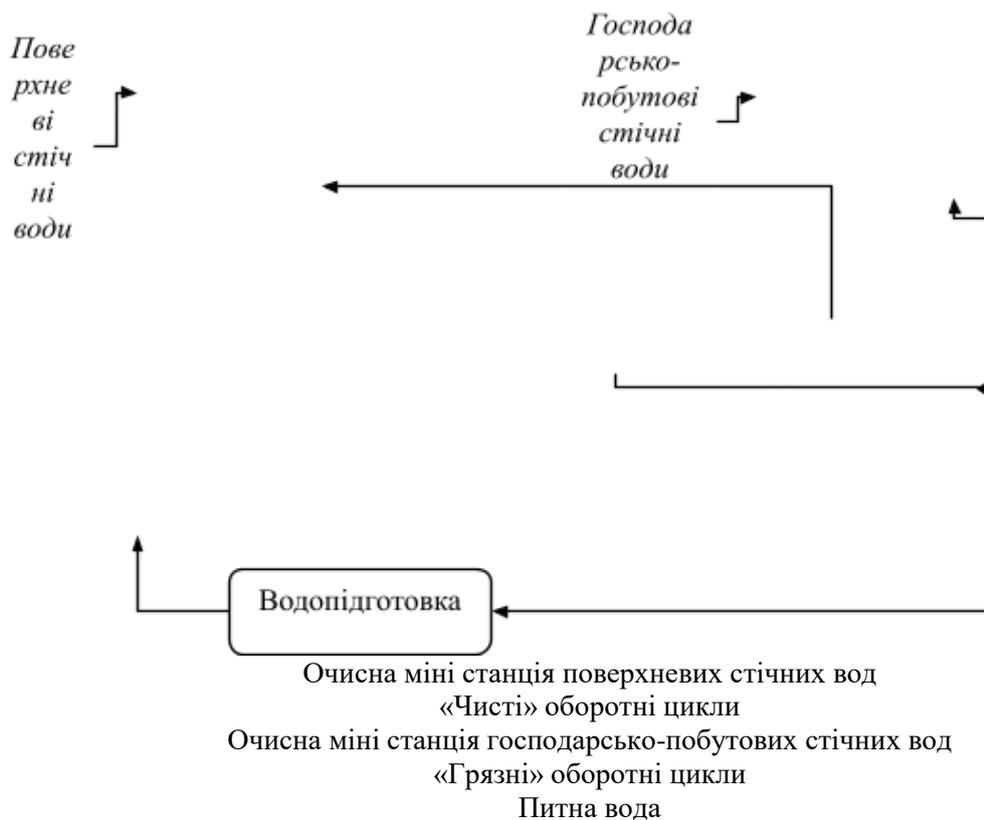


Рисунок 2 – Схема реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку)

Для реалізації замкнутого циклу використання води на території приватної власності необхідним є встановлення спеціального обладнання, яке включає багатоступінчасті фільтри, різні реагенти та коагулянти, що доводять хімічний склад води до санітарних норм. Система замкнутого циклу використання води на території приватної власності має вбудовану систему очищення, яка поєднує три типи процесів: механічний; хімічний; біологічний.

Обов'язковим є наявність автоматизації, встановлення необхідних показників та автоматичний контроль, які дозволяють працювати злагоджено та забезпечувати на виході якісний продукт (воду).

Також обов'язковою умовою, для підтримки ефективної роботи системи замкнутого циклу використання води на території приватної власності є забезпечення та підтримка певних кліматичних умов: обов'язковий монтаж системи вентиляції для циркуляції повітря; температура не нижче за відмітку +50.

Враховуючи наявність у воді сукупності мікроорганізмів та, як наслідок, розвиток біоценозів обов'язковим є періодичне промивання труб та ємностей для зберігання води. Це забезпечить захист від кількох руйнівних факторів: корозії, солей та біозаростання.

Вибір матеріалів та обладнання залежить від сфери застосування. Найбільший ефект досягається при використанні матеріалів з максимальним терміном служби та надійних фітінгів, оскільки саме фітінги забезпечують герметичність трубопровідної системи і їх несправність стає причиною аварій і протікань.

Зараз забудовники та великі девелопери, зацікавлені у застосуванні «зелених технологій», намагаються закладати рішення щодо підвищення енергоефективності об'єкта на стадії проектування, що є найбільш доцільним рішенням для подальшої експлуатації об'єкта нерухомості, що пов'язане зі зменшенням витрат на обслуговування.

Основною проблемою «зелених технологій» та розвитку екодевелопменту в цілому залишається дорожнеча їх реалізації, оскільки обладнання, що використовується, є імпортом, і не кожен забудовник чи замовник зможе дозволити собі реалізацію даної технології на своєму об'єкті.

Висновки. У роботі розкрито принципи реалізації технології замкнутого циклу використання води на території приватної власності (приватного будинку). Використання оборотного складу господарсько-побутових та поверхневих стічних вод дозволяє скоротити споживання води приватним будинком, підвищує екологічну складову та знижує економічне навантаження. Формування дієвої системи замкнутого циклу використання води на території приватної власності ґрунтується на встановленні спеціального обладнання, обов'язкової наявності вбудованої системи очищення води на максимальній автоматизації.

Перспективами подальших досліджень є розробка інноваційної автономної системи очищення води для повторного використання на території приватного будинку.

Список бібліографічного опису.

1. Інвестиційне забезпечення «зеленої» економіки як пріоритетний напрям розвитку держави на засадах сталого розвитку / З.А. Атаманчук, Ю.В. Неголюк // Економіка і організація управління, 2021. № 1 (41). С. 6-14
2. Данилюк М. М., Дмитришин М. В. Зелене будівництво у досягненні сталого регіонального розвитку // Актуальні проблеми розвитку економіки регіону: науковий журнал. Івано-Франківськ : Вид-во ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2020. Вип. 16. Т. 1. С.153-162.
3. Бобраков А.А. (2019) "Озеленення" як інноваційний метод при проектуванні енергоефективних будівель та споруд / А.А. Бобраков, С.О. Куліш, Я.С. Вакулук // Комунальне господарство міст – Харків: ХНУМГ ім.О.М. Бекетова, 2019, Вип. 152. Т.6. С.203-208.
4. Ткаченко Т. М. Сучасний стан використання "зелених конструкцій" в урбоценозах / Т. М. Ткаченко, О. А. Ткаченко // Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2019. № 1. С. 3-30. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/zbnpdnaba_2019_1_3.
5. Бредіхін В. М., Вербицька В. І. Напрямки розвитку «зелених» інновацій та технологій в будівництві // Комунальне господарство міст – Харків: ХНУМГ ім.О.М. Бекетова, 2019, Вип. 153. С. 69-74.
6. Глобальні тенденції розвитку водневих технологій у промисловості / Ю. В. Тащев, С. В. Войтко, О. О. Трофименко, О. О. Репкін, Т. С. Кудря // Бізнес Інформ. 2020. №8. С. 103–114.

References.

1. Averina, Julia. (2019). DEVELOPMENT AND DESIGN OF A CLOSED WATER USE CYCLE. 10.5593/sgem2019/3.1/S12.019.
2. Farooqi, Zia Ur & Zafar, Asma & Ameen, Sabeela & Ilić, Predrag & Stojanović, Ljiljana & Markic, Dragana. (2021). Green Technologies for Saline Water Treatment. 10.1201/9781003185437-5.
3. Ngo, Huu & Bui, Xuan-Thanh & Nghiem, Long & Guo, Wenshan. (2020). Green Technologies for Sustainable Water. Bioresource Technology. 317. 123978. 10.1016/j.biortech.2020.123978.
4. Yeang, Ken & Threipland, Edwina. (2021). Green Technology Concepts. 10.1002/9781119527831.ch5.
5. Bui, Xuan-Thanh & Fujioka, Takahiro & Nghiem, Long. (2020). Green Technologies for Sustainable Water (GTSW). Environmental Technology & Innovation. 21. 101192. 10.1016/j.eti.2020.101192.
6. Bhardwaj, Monu. (2021). The Advantages and Disadvantages of Green Technology. Journal of Basic and Applied Engineering Research. 1957-1960.
7. Niknejad, Naghme & Nazari, Behzad & Foroutani, Saman & Hussin, Ab. (2022). A bibliometric analysis of green technologies applied to water and wastewater treatment. Environmental Science and Pollution Research. 1-15. 10.1007/s11356-022-18705-1.
8. Vijayan, Remya & Francis, Sijo & Mathew, Beena. (2021). Application of Green Technology in Water and Wastewater Treatments. 10.1201/9781003055471-4.
9. Vijayan, Remya. (2020). Application of Green Technology in Water and Wastewater Treatments.
10. Ngo, H.H. & Guo, W. & Surampalli, R.Y. & Zhang, Tian. (2016). Green Technologies for Sustainable Water Management. 10.1061/9780784414422.
11. Raja, V. & Raj, S. & Sairam, M. & Kasyap, Anipeddi & Kumar, Ganesh & Priya, R. & Jayaraman, Baalamurugan & Sonawwanay, Puskaraj. (2021). Geopolymer green technology. Materials Today: Proceedings. 10.1016/j.matpr.2021.01.138.
12. Qamar, Muhammad Zaid & Noor, Mariya & Ali, Wahid & Qamar, Muhammad. (2021). Green Technology and its Implications Worldwide. 3. 10. https://www.researchgate.net/publication/350443477_Green_Technology_and_its_Implications_Worldwide

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-03>

УДК 004.932.4, 004.627, 004.514

Ковівчак Ярослав Васильович, доцент кафедри автоматизованих систем управління

<https://orcid.org/0000-0003-3562-4924>,

Дубук Василь Іванович, доцент кафедри автоматизованих систем управління

<https://orcid.org/0000-0002-6339-1032>,

Мішак Роксолана Олегівна, магістр

Національний університет "Львівська політехніка"

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Ковівчак Я., Дубук В., Мішак Р. Розробка програмного засобу для стиснення зображень на основі кластеризації. Стаття присвячена розробці програмного засобу для стиснення зображень на основі кластеризації. Приведено загальну класифікацію методів стиснення растрових зображень. Висвітлено основні методи кластеризації даних і їх застосування для зменшення об'єму даних. Проведено аналіз існуючих програмних рішень для стиснення зображень. Розглянуто алгоритм К-Means в задачах стиснення зображення. Побудовано концептуальну модель системи. Розроблено блок-схему алгоритму роботи програмного засобу для стиснення зображень на основі кластеризації. Приведено діаграму прецедентів і діаграму діяльності програмного засобу. Розглянуто діаграму компонентів засобу. Розроблено інтерфейс користувача програмного засобу.

Ключові слова: програмний засіб, стиснення зображень, кластеризація даних, алгоритм К-Means, графічний інтерфейс користувача.

Ковівчак Я., Дубук В., Мішак Р. Разработка программного средства для сжатия изображений на основе кластеризации. Статья посвящена разработке программного средства для сжатия изображений на основе кластеризации. Приведена общая классификация методов сжатия растровых изображений. Представлены основные методы кластеризации данных и их применение для уменьшения объема данных. Проведен анализ существующих программных решений для сжатия изображений. Рассмотрен алгоритм К-Means в задачах сжатия изображения. Построена концептуальная модель системы. Разработана блок-схема алгоритма работы программного средства для сжатия изображения на основе кластеризации. Приведена диаграмма прецедентов и диаграмма деятельности программного средства. Рассмотрена диаграмма компонентов программного средства. Разработан пользовательский интерфейс программного средства.

Ключевые слова: программное средство, сжатие изображений, кластеризация данных, алгоритм К-Means, графический интерфейс пользователя.

Kovivchak Ya., Dubuk V., Mishak R. Development of software tool for image compression based on clustering. The article is devoted to the development of a software tool for image compression based on clustering. A general classification of raster image compression methods is given. The main methods of data clustering and their application to reduce the amount of data are highlighted. The analysis of existing software solutions for image compression has been carried out. The K-Means algorithm in the problems of image compression is considered. A conceptual model of the system has been built. The block diagram of the algorithm for the operation of a software tool for image compression based on clustering has been developed. A use-case diagram and a diagram of activity of the software tool are given. The diagram of the components of the software is considered. The user interface of the software tool has been developed.

Keywords: software tool, image compression, data clustering, K-Means algorithm, graphical user interface.

Вступ

У багатьох випадках при передачі та зберіганні графічної інформації виникає необхідність у зменшенні розміру файлу зображень, причому не тільки для окремих зображень, але і для груп споріднених зображень. Це можна досягнути шляхом зменшення надлишковості інформації стосовно окремих зображень та їх груп.

З розвитком інформаційних технологій, технічним прогресом у сфері мікроелектроніки, оптики, телекомунікаційних технологій відкриваються нові можливості для отримання, опрацювання та передачі зображень високої якості. На сьогодні, на практиці використовують багато різних пристроїв для отримання, опрацювання та передачі зображень високої роздільної здатності в космічних апаратах дистанційного зондування землі, в літаках, радарях, гідролокаторах, в телебаченні і т.д. Тому актуально залишається задача розробки ефективних засобів зменшення розмірів файлів зображень з мінімально допустимою втратою їх якості.

Методи стиснення растрових зображень умовно можна поділити на дві великі групи

(рис. 1) [1]: стиснення з втратами і без втрат. Методи стиснення зображень без втрат забезпечують більш низький коефіцієнт стиснення, але передбачають відтворення початкових значень пікселів вихідного зображення. Методи стиснення зображень з втратами забезпечують більш високі коефіцієнти стиснення, але не дають змоги відтворити початкове зображення з точністю до пікселя.

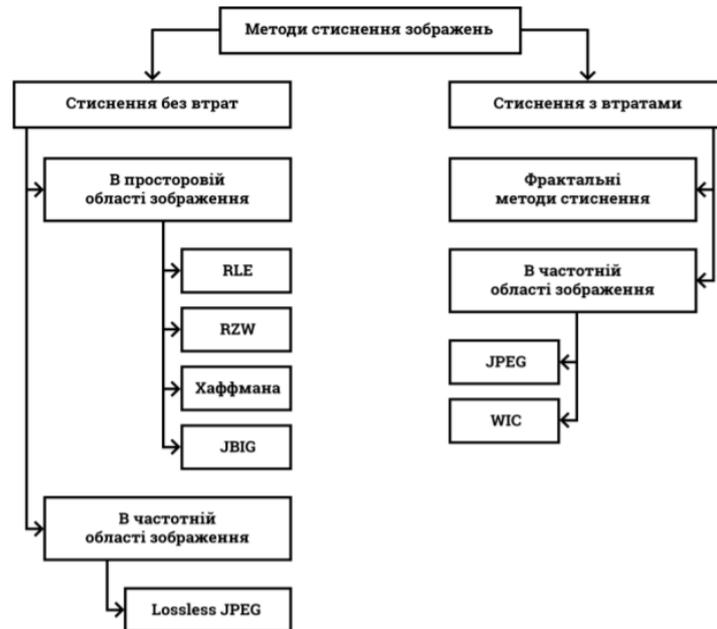


Рисунок 1- Методи стиснення зображень.

Огляд існуючих методів та програмних засобів.

Більшість існуючих методів стиснення зображень передбачає поділ зображення на окремі блоки (кластери) та стиснення отриманих блоків за допомогою відповідних алгоритмів. Тому перспективним та актуальним є не тільки розробка алгоритмів стиснення зображень, а й удосконалення методів оптимальної кластеризації зображень.

На практиці для стиснення зображень використовують різні методи кластеризації. Як відомо, методи кластеризації поділяють на ієрархічні і неієрархічні. Результатом застосування ієрархічних алгоритмів є побудова дерева кластерів, коренем якого є вся вибірка, а листками – окремі кластери.

Значну популярність при розв'язанні задачі кластеризації набули алгоритми, засновані на пошуку оптимального розбиття множини об'єктів на кластери (групи). Такі алгоритми становлять основу неієрархічних методів кластеризації. В залежності від поставленої задачі використовують відповідні методи кластеризації.

Однією з основних проблем кластерного аналізу є визначення оптимальної кількості кластерів. В багатьох алгоритмах неієрархічної кластеризації цей параметр є входним параметром.

Необхідно підкреслити, що результати розбиття початкової вибірки на кластери можуть суттєво відрізнятись між собою в залежності від обраної кількості кластерів і методів кластеризації. Таким чином, вибір кількості кластерів при поділі зображення буде значно впливати як на якість отриманого зображення, так і на розмір його файлу.

В залежності від операційної системи набір найбільш популярних програмних засобів стиснення зображень є різним. Розглянемо основні програмні засоби стиснення зображень для операційної системи Windows. До них можна віднести наступні: jStrip,

OptiPNG, FILEminimizer Pictures, Cesium Image Compressor, Pingo Web Image Optim, OxiPNG та інші.

jStrip [3] - це програмний засіб для стиснення зображень без втрати у форматі JPEG, який видаляє несуттєву інформацію з файлу зображень: ескізи, коментарі, кольорні профілі, додаткові байти на початку або в кінці файлу і різні інші інформаційні біти. Враховуючи це, стиснення файлів зображень за допомогою даного засобу є незначним.

OptiPNG [4] є популярний інструментом для стиснення зображень у форматі PNG без втрати якості. Крім того, даний програмний засіб передбачає виконання певного набору допоміжних функцій, таких як перевірка цілісності, відновлення метаданих і перетворення ріштар у формат PNG. Даний програмний засіб використовує простий і зрозумілий інтерфейс користувача.

FILEminimizer Pictures [5] використовує ефективні алгоритми стиснення зображень. Даний пакет передбачає можливість зміни формату і розміру зображення, а також перекодування файлів JPEG з пониженням якості. Fileminimizer Pictures використовує чотири рівні стиснення. Даний засіб використовує нову технологію пакетної обробки зображень в операційних системах Windows.

Cesium Image Compressor [6] дає змогу стискати зображення до 90% без видимої втрати якості. Даний програмний засіб використовує простий та ефективний інтерфейс з можливістю попереднього перегляду зображень у режимі реального часу та обробкою кількох зображень одночасно.

Pingo Web Image Optim [7] - це експериментальний, швидкий веб-оптимізатор PNG/JPG файлів, який передбачає стиснення без втрат. У ньому реалізовано стиснення зображень на основі рекурсивних багатопроцесорних і багатопотокових систем.

Програмний засіб OxiPNG [8, 9] є багатопотоковим оптимізатором стиснення зображень файлів типу PNG без втрат за допомогою мови програмування Rust [10]. Його можна використовувати як за допомогою інтерфейсу командного рядка або як бібліотеку в інших програмах Rust.

У даній роботі розглянуто розробку програмного засобу стиснення растрових зображень на основі їх кластеризації з використанням алгоритму K-means [2, 11, 12]. Цей метод є найбільш розповсюдженим і найбільш дослідженим серед усіх методів кластеризації. Популярність методу K-means зумовлена його основними перевагами: простотою, гнучкістю, швидкою збіжністю.

K-means використовує алгоритм стиснення зображення з втратами, тому відновити вихідне зображення після його опрацювання неможливо. Чим більший коефіцієнт стиснення, тим більша різниця між вихідним і отриманим зображеннями. При цьому, користувачі самостійно можуть обирати коефіцієнт стиснення для кожного конкретного зображення.

Ідея алгоритму K-means для кластеризації зображень полягає в тому, щоб знайти k -центроїдних пікселів на зображенні. Таким чином, кожен піксель зображення в наборі даних буде належати до деякої k -множин з мінімальною евклідовою відстанню.

У кольорових зображеннях кожен піксель представляється 3 байтами (RGB). При цьому, значення можливих кольорів пікселя може бути в межах від 0 до 255. Відповідно, загальна кількість кольорів, які може відтворити



Рисунок 2 - Концептуальна модель програмного засобу.

піксель зображення, становить 16 777 216. При сприйнятті кольору на зображеннях людське око не в змозі розрізнити таку кількість кольорів. Таким чином, використовуючи цю особливість візуального сприйняття людським оком кольорових зображень за допомогою алгоритму кластеризації K-means можна виділити базову множину значень кольорів пікселів для кожного окремого зображення. Близькі значення кольорів пікселя на зображенні відтворюються значеннями кольорів зі сформованого набору значень.

Концептуальна модель програмного засобу. На рис. 2 приведено концептуальну модель програмного засобу. Даний засіб передбачає виконання наступних функцій: вибір зображення, вибір необхідної кількості кластерів квантування кольорів, стиснення зображення на основі кластеризації K-means, відтворення стиснутого зображення, аналіз отриманого зображення.

Розробка компонентів програмного засобу

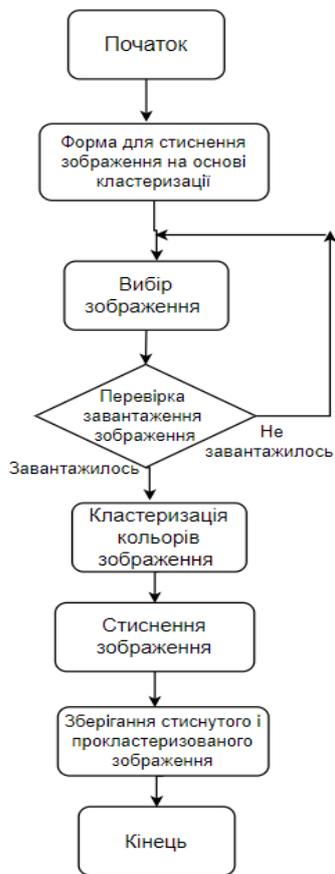


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритму.

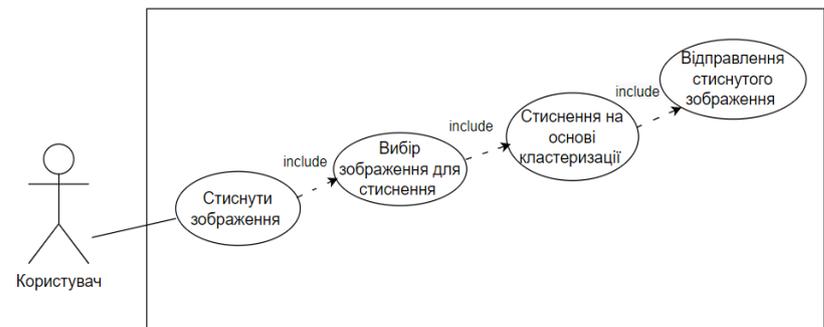


Рисунок 4 – Діаграма прецедентів.

На рисунку 3 приведено блок-схему алгоритму роботи програмного засобу для стиснення зображення на основі кластеризації K-means. Алгоритм передбачає вико-

нання наступних основних дій: відображення форми для стиснення зображення, вибір зображення, кластеризація кольорів пікселів зображення в залежності від кількості кластерів, стиснення зображення, збереження стиснутого кластеризованого зображення.

Під час проектування та розробки програмного засобу для стиснення зображень на основі кластеризації було розроблено діаграму прецедентів та діаграму діяльності. Діаграма прецедентів відображає основний набір прецедентів (функцій) системи та їх послідовність виконання при виконанні запитів користувачів.

На рисунку 4 зображено діаграму прецедентів для програмного засобу стиснення зображення. Суб'єктом є користувач, який взаємодіє з наступним набором основних прецедентів: вибір зображення для стиснення, стиснення на основі кластеризації з попередньою визначеною кількістю кластерів кольору, відправлення стиснутого зображення.



Рисунок 5 – Діаграма діяльності.

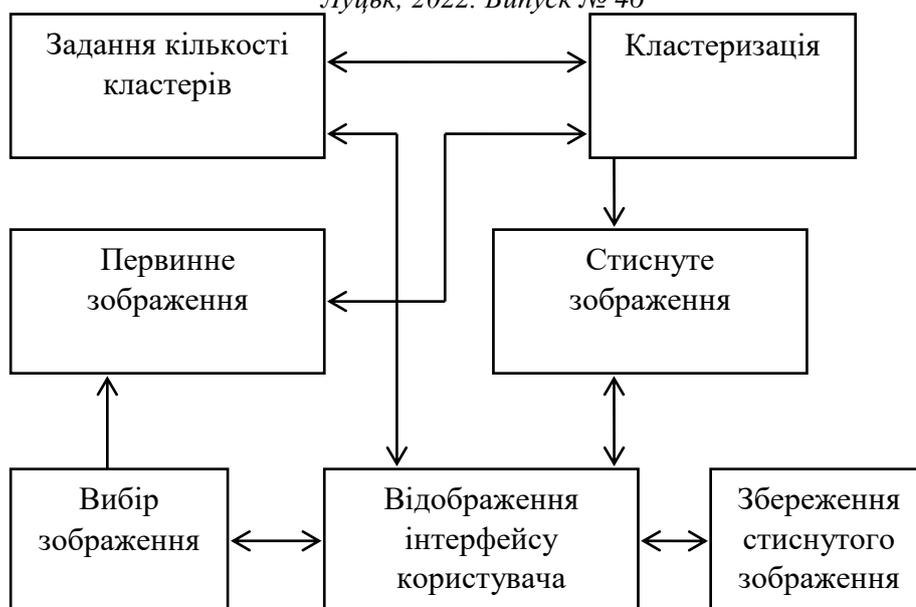


Рисунок 6 – Діаграма компонентів системи.

На рис. 5 приведено діаграма діяльності запропонованого додатку стиснення зображення на основі кластеризації. Для того щоб здійснити стиснення зображення необхідно вибрати зображення, задати кількість кластерів для квантування кольору. Після цього відбувається зменшення розміру файлу зображення на основі кластеризації за алгоритмом K-means. Як результат, відбудеться стиснення зображення та його збереження.

Також було розроблено діаграму компонентів для даного програмного засобу. Діаграма компонентів дає змогу визначити архітектуру системи, тобто встановити взаємозв'язок між основними програмними складовими системи.

На рисунку 6 зображена діаграма компонентів системи. Запропонований програмний засіб включає в себе наступні основні компоненти: компонент відображення інтерфейсу користувача; компонента вибору зображення; компонента зображення, яке необхідно опрацювати; компонента задання кількості кластерів; компонента кластеризації; компонента стиснутого зображення; компонента збереження стиснутого зображення.

У результаті виконання роботи було реалізовано компоненти системи та інтерфейс користувача.

На рис. 7 – рис. 9 приведено основні вікна графічного інтерфейсу користувача програмного засобу стиснення зображень на основі кластеризації.

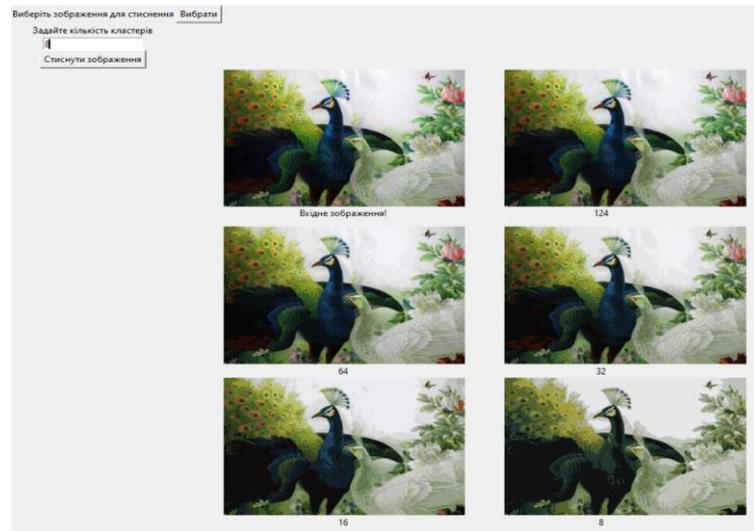


Рисунок 9 – Інтерфейс користувача з 6-ма варіантами стиснутого зображення



Рисунок 7 – Головне вікно інтерфейсу системи

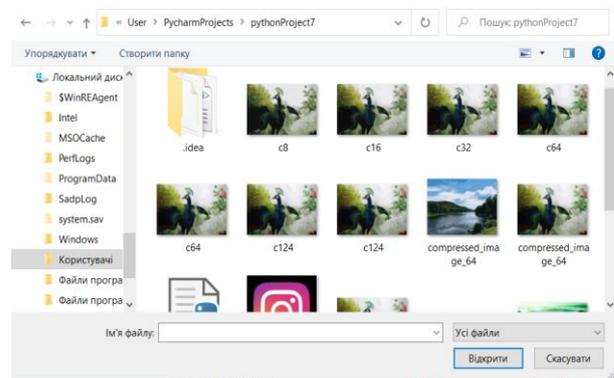


Рисунок 8 – Діалогове вікно для вибору зображення

За допомогою головного вікна інтерфейсу програмного засобу (рис. 7) можна вибрати необхідне зображення для зменшення розміру файлу, у якому після стиснення воно буде збережене. У головному вікні потрібно також задати кількість кластерів, які стануть піксельними-центроїдами для відповідного зображення. Після цього відбувається стиснення зображення. Отримане стиснене зображення можна проглянути та зберегти на вибраному носії пам'яті.

На рисунку 9 показано інтерфейс користувача системи з різними зображеннями, перше з яких є вхідним, а наступні п'ять зображень є отриманими після перетворень. Отримані зображення опрацьовано з визначенням різної кількості кластерів. Зображення, отримані для випадків задання шістнадцяти і восьми кластерів значно погіршилися в якості. При цьому, зображення з використанням сто двадцяти чотирьох і шестидесяти чотирьох кластерів мають відмінну якість, в той час як розмір відповідних файлів суттєво зменшився. Зображення з тридцяти двома кластерами втратило якість не суттєво.

Користувачі програмного засобу мають змогу підібрати необхідну якість стиснутого зображення для кожного окремого випадку. Таким чином, розроблений програмний засіб забезпечує можливість здійснити вибір оптимального співвідношення якості отриманого зображення до розміру його файлу.

Висновок

У результаті виконання роботи було розроблено програмний засіб для стиснення растрових зображень на основі кластеризації за алгоритмом K-means. Запропонований програмний засіб дасть змогу користувачам здійснювати оптимальне стиснення

необхідних зображень у кожному конкретному випадку з урахуванням співвідношення двох основних параметрів – якості отриманого зображення та розміру його файлу. Розроблений програмний засіб може знайти своє використання в системах телекомунікації, архівування даних, в сис-темах безпеки, що використовують опрацювання відеопослідовностей, в системах супутникового дистанційного збору даних.

Список бібліографічного опису.

1. Романюк О.Н. Комп'ютерна графіка: Навч. посібник. – Вінниця, ВНТУ, ФІТКІ, 2021. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fitki/8romanyuk_komp_grafika/zmg1/zmg/83.htm – Дата звернення: 15.02.2022 р.
2. Бротиковская Д., Зобнин Д.С., Валуцкая Я.А., Глотов Е.С., Пархоменко П.А., Машонский И.Д., Егоров И., Богомазов Е. Алгоритм k-средних (k-means) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://algowiki-project.org/ru/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC_k_%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D1%85_\(k-means\)](https://algowiki-project.org/ru/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC_k_%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D1%85_(k-means))

References.

1. jStrip [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.download82.com/download/windows/jstrip/>
2. OptiPNG [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://optipng.sourceforge.net/>
3. FILEminimizer Pictures [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://balesio.com/fileminimizerpictures/eng/index.php>
4. Cesium Image Compressor [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://saerasoft.com/caesium>
5. Pingo: a fast image optimizer for web [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://css-ig.net/pingo>
6. OxiPNG [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://github.com/mvasilkov/oxipng#readme>
7. OxiPNG and Pngout [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vox.me.uk/post/2020/08/oxipng-and-pngout/>
8. Rust [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rust-lang.org/>
9. Piech Ch. K Means [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://stanford.edu/~cpiech/cs221/handouts/kmeans.html>
10. Dabbura I. K-means Clustering: Algorithm, Applications, Evaluation Methods, and Drawbacks [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://towardsdatascience.com/k-means-clustering-algorithm-applications-evaluation-methods-and-drawbacks-aa03e644b48a>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-04>

УДК 658.512.4

Лук'янюк Світлана Василівна, науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-7469-8144>

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ

ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОСЛІДНИХ ПАРТІЙ: ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ

Лук'янюк С. В. Підготовка виробництва в умовах виготовлення дослідних партій: особливості організації. У статті визначено сутність науково-технічної підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій. Головною метою організаційної підготовки виробництва є забезпечення повної готовності виробництва до випуску продукції встановленої якості та кількості. Відзначено, що критеріями досягнення є: вихід на заплановані для серійного виробництва техніко-економічні показники; зменшення витрат усіх ресурсів на реалізацію процесу опанування виробництва нових виробів; скорочення циклу та термінів організаційної підготовки та опанування нової техніки. У роботі описані принципи і методи управління та способи виконання робіт науково-технічної підготовки виробництв. Запропоновано пріоритетні напрями підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій. Наголошено, що ефективна науково-технічна підготовка виробництва в умовах виготовлення дослідних партій на етапі розвитку економіки нової продукції (нововведень) в значній мірі визначає успішне функціонування підприємства, а саме його конкурентоспроможність та його фінансову незалежність, забезпечує виробництво конкурентоспроможної продукції та конкурентні переваги на ринках збуту. Також автором акцентовано, що в організації робіт підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій важливе місце займає використання наочних графічних зображень. Найбільшого практичного поширення отримали графіки лінійного типу, особливо при невеликому обсязі робіт, останні проектується та короткостроковості етапів їх здійснення. Пов'язано це з простотою та зручністю їхньої графічної побудови, наочністю зображуваних процесів. Підсумки роботи свідчать, що головною метою планування технічної підготовки виробництва є забезпечення повноти, комплектності та своєчасності видачі технічної документації з конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Критерієм досягнення цієї мети є зведення до мінімуму витрат і термінів підготовки виробництва високої якості. Локальними цілями підсистеми планування технічної підготовки виробництва є визначення обсягу та трудомісткості робіт, початкових та кінцевих термінів підготовки загалом, а також її окремих етапів.

Ключові слова: виробництво, дослідні партії, організація, науково-технічна підготовка виробництва.

Lukianiuk Svitlana. Preparation of production under conditions of pilot batch production: specifics of organization. The article defines the essence of scientific and technological preparation of production under conditions of pilot batches production. The main goal of organizational preparation of production is to ensure that the production is completely ready to produce the product in the specified quality and quantity. It is noted that the criteria of achievement are: - reaching the technical and economic indicators planned for series production; reducing the cost of all resources for the implementation of the process of mastering the production of new products; reducing the cycle and timing of organizational training and mastering new technology. The paper describes the principles and methods of management and methods of work performance of scientific and technical preparation of production. Priority areas of production preparation under conditions of pilot batches production are proposed. It is noted that an effective scientific and technological preparation of production under conditions of experimental batch production at the stage of economic development of new products (innovations) largely determines the successful functioning of the enterprise, namely its competitiveness and financial independence, provides production of competitive products and competitive advantages in the sales markets. The author also emphasized that in the organization of preproduction works under conditions of experimental batch production an important place is taken by the use of the best available techniques. Linear type schedules, especially in the case of a small volume of work, the last projected and short-term stages of their implementation are the most practically widespread. This is due to the simplicity and convenience of their graphical construction, visualization of depicted processes. The results of the work testify that the main aim of planning of technical preparation of production is to provide completeness, completeness and timeliness of issue of technical documentation on design and technological preparation of production. The criterion for achieving the goal is to minimize the cost and timing of high quality production preparation. The local objectives of the subsystem of planning the technical preparation of production are to determine the amount and labor intensity of work, initial and final terms of preparation as a whole, as well as individual steps.

Key words: production, pilot batches, organization, scientific and technical preparation of production.

Постановка задачі. Науково-технічна підготовка виробництва відіграє провідну роль у створенні оптимальних передумов вироблення товарів та послуг для задоволення потреб споживачів. Науково-технічна підготовка виробництва має певні засоби реалізації, які вимагають маркетингового дослідження, що підтверджується практикою і складністю нововведень на цій стадії виробництва. Підготовка виробництва в теоретичному і практичному плані пройшла деякі метаморфози, поступово розширюючись від суто технологічної підготовки до технічної, а згодом науково-технічної підготовки виробництва [3].

Виробничі процеси на сучасних підприємствах характеризуються постійно зростаючим рівнем складності, що зумовлено високою інтенсивністю науково-технічного прогресу та впровадженням його результатів у виробництво. Наслідком такого впровадження є інноваційні технології, технологічні процеси загалом та продуктові інновації зокрема. Але, з іншого боку,

впровадження нововведень у виробництво нашоюхується на проблему невідповідності самого виробництва, що призводить до значних організаційних і, як наслідок, економічних втрат. В таких умовах на одне з провідних місць виходить проблема ефективності технічної підготовки виробництва нововведень.

Метою дослідження є аналіз науково-методологічних підходів щодо питання підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань автором комплексно були використані структурно-функціональний, порівняльний та інші вироблені наукою та апробовані практикою загальні та спеціальні наукові підходи та методи.

Методологія дослідження: концепції учених з проблем підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій. У процесі написання статті використано методи системного аналізу при дослідженні сутності механізмів науково-технічної підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій, структурно-логічні методи – при обґрунтуванні напрямів удосконалення існуючих механізмів підготовки виробництва. Методи аналітико-синтетичної обробки інформації та моделювання стали ключовими у побудові моделі підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідна підготовка хоча номінально і є першим етапом технічної підготовки виробництва, реально вона є певним «передетапом», який забезпечує наукову базу для її проходження. Цей передетап полягає в раціональному проходженні шляху «фундаментальні дослідження -прикладні дослідження – пошукові дослідження» [1].

Конструкторська підготовка виробництва включає проектування нової продукції та модернізацію раніше виробленої, а також розроблення проекту реконструкції та переобладнання підприємства або його окремих підрозділів. Результати конструкторської підготовки оформляються у вигляді технічної документації – специфікацій матеріалів, деталей, зразків готової продукції тощо [2]. Застосування єдиної системи конструкторської документації, а вона слушно нагадати, є комплексом державних стандартів, що встановлюють правила та положення про порядок розробки, оформлення та обігу конструкторської документації в організації дозволяє створювати сприятливі умови для забезпечення науково-технічної підготовки виробництва на високому рівні, здатному гарантувати конкурентоспроможність випущених виробів, скорочувати час проектування, забезпечувати необхідне однаковість цього процесу на різних підприємствах у різних галузях економіки.

Так у статті [1] проаналізовано складові технічної підготовки виробництва, показано роль кожної з них. Запропоновано новий організаційний підхід до класифікації конструкторської підготовки виробництва, виявлено його переваги та можливість застосування для інших складових підготовки виробництва. Основну увагу звернуто на перспективні напрямки удосконалення цього процесу.

Дослідно-конструкторська розробка здійснюється за стадіями та етапами, згідно із встановленими ГОСТами, та поєднання власне конструкторських розробок з необхідним обсягом експериментальних досліджень. Зміст дослідно-конструкторська технологія визначають характер об'єкта розробки, його призначення, спосіб виготовлення та ін.

Дослідні роботи є етапом створення та освоєння нової техніки та виконуються в умовах дослідного виробництва. У процесі дослідного виробництва відпрацьовуються конструкція виробу та технологічні процеси, виготовляються дослідні зразки або партії нової продукції умовах, що максимально подібні до промислових, але відрізняються, до прикладу, меншими обсягами випуску продукції. Здійснюється це з метою скорочення витрат часу та коштів на цикл від дослідження до промислового виробництва. Наявність дослідного виробництва та його технічний рівень сприяють безпосередньому впливу на терміни та якість виготовлення нової продукції [4].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Підготовка виробництва – комплекс взаємопов'язаних організаційних, технічних, технологічних, планових, економічних та інших заходів, які забезпечують виконання виробничої програми підприємством у необхідні терміни за мінімальних витрат праці, матеріально-технічних та інших ресурсів

Безсумнівним є той факт, що виробничі процеси на сучасних підприємствах є історично сформованою та науково обґрунтованою формою науково-технічного прогресу суспільства, завдяки якій, через послідовність формування її цілей, пошуків засобів і методів її реалізації, а

також подальшої оцінки результатів досягнення її мети, змінюється спосіб підготовка виробництва в умовах виготовлення дослідних партій.

Фундаментальним завданням підготовки виробництва є створення та організація випуску нових конкурентоспроможних виробів. У свою чергу, мета підготовки виробництва полягає у створенні технічних, організаційних та економічних умов, що повністю забезпечують перехід виробничого процесу на вищий технічний та соціально-економічний рівень, що ґрунтуються на досягненнях науки та техніки, використання різних інновацій для забезпечення ефективної роботи підприємства. Доречно нагадати, що розрізняють технічну підготовку виробництва, що включає етапи проектування та освоєння випуску нових виробів, та організаційну, що забезпечує оптимальний перебіг технологічного процесу.

Технічна підготовка здійснюється з метою ефективного освоєння нового чи модернізованого виробу, впровадження нових складних машин та обладнання, нових технологічних прийомів та змін організації виробництва.

Організаційна підготовка виробництва передбачає координацію діяльності відповідних служб у процесі виконання виробничої програми. Остання включає впорядкування термінів та маршрутів проходження документації, організації документообігу, матеріально-технічного постачання. Роботи з підготовки виробництва розпочинаються на стадії створення технічної документації та зразків продукції. На підприємствах різного типу, масштабу та профілю можуть бути з різною обґрунтованістю охарактеризовані різні стадії підготовки виробництва; проте у будь-якому випадку істотна частина роботи з організації виробництва належить компетенції підприємства.

Удосконалення господарської діяльності промислових підприємств передбачає розробку нових методів, форм і механізмів створення та освоєння нової конкурентоспроможної продукції, покликаної забезпечити переважне становище підприємств на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Організаційно-планова підготовка виробництва включає комплекс робіт з адаптації виробничої та організаційної структури підприємства до випуску нової (модернізованої) продукції

Підготовка виробництва нової продукції в повному обсязі може бути здійснена на підприємствах з розвинутою науково-дослідною та конструкторською базою. Загалом на підприємствах основними компонентами, як наголошено вище у роботі є технологічна та організаційно-планова підготовка виробництва [9].

Сучасні підходи до створення та розробки нової високотехнологічної конкурентоспроможної продукції вимагають значних витрат. Але з іншого боку, саме розробка нових продуктів дозволяє компаніям виживати в нинішньому конкурентному середовищі. Планування нових продуктів відноситься до розділу стратегічного планування. Тому здатність підприємства розробляти та виводити на ринок свій новий продукт залежить від його фінансових показників.

Необхідним етапом планування виробництва є розробка нової продукції, що представляє собою різноманітну сукупність процесів і заходів, у процесі якого здійснюється перевірка і випробування конструкцій і технологій на відповідність заданим технічним вимогам, розробка нових форм організації виробництва. При розробці нової продукції досягаються заплановані обсяги виробництва, планові економічні показники та техніко-економічні показники продукції. Період розробки нової продукції починається з виготовлення прототипу і закінчується серійним виробництвом.

Сучасні тенденції розвитку індустріальної економіки, як слушно зауважує Разінькова, М. Ю. «окрема її орієнтація на інноваційний шлях розвитку, потребують певного коригування змісту етапів та сутності науково-технічної підготовки виробництва нової продукції загалом [2].

Адже підприємство саме повинне визначати й прогнозувати, вміти швидко, а головне правильно реагувати на будь-які зміни в зовнішньому й внутрішньому середовищі, і відповідно до них корегувати свою діяльність. Не можливо не погодитися із автором, що ускладнення виробництва, супроводжуване ростом складності розв'язуваних завдань і підвищенням витрат від неточного й несвоєчасного прийняття рішень, висуває необхідність застосування ефективного управління науково-технічною підготовкою виробництва нової продукції [2].

Після завершення прикладних НДР, за умови позитивних результатів економічного аналізу, що задовольняє підприємство з точки зору її цілей, ресурсів та ринкових умов, розпочинають виконання дослідно-конструкторських робіт.

Приміром у статті [10] була описана дослідницька модель, яка може керувати емпіричними дослідженнями технологічних інновацій у бізнес-організаціях. У центрі уваги моделі

— стратегічне управління процесами розробки нових продуктів. Визначено змінні, які впливають на успіх або невдачу цих процесів, і запропоновано кілька дослідницьких гіпотез для емпіричного дослідження.

Мета конструкторської підготовки виробництва це адаптація конструкторської документації дослідно-конструкторських робіт до умов конкретного серійного виробництва підприємства-виробника. Зазвичай, конструкторська документація дослідно-конструкторських робіт вже враховує виробничі технологічні можливості підприємств-виробників, але умови дослідного та серійного виробництва мають суттєві відмінності, що призводить до необхідності часткової або навіть повної переробки конструкторської документації дослідно-конструкторських робіт.

Таким чином, метою конструкторської підготовки виробництва є забезпечення підприємства необхідною конструкторською документацією, що забезпечує можливості підприємства виробляти продукцію.

Критеріями мети є:

- мінімізація витрат на здійснення конструкторської підготовки;
- мінімізація витрат у сфері виробництва.

Отримання робочої конструкторської документації – це найсуттєвіший важливий та відповідальний етап конструкторської підготовки виробництва, під час якого готують документи, призначені для виготовлення та випробування дослідного зразку (партії). Конструкторські документи на досвідчений зразок (партію) коригують за результатами виробничих, державних, міжвідомчих, приймальних тощо випробувань; документи на установчу серію коригують за результатам виробничих, державних, міжвідомчих, приймальних та та інших випробувань. Останні корективи у документи вносять після випробування головної (контрольної) серії. Зміст робіт згідно із стадіями може відрізнитися в залежності від типу виробництва, складності конструкції, рівня кооперування та низки інших факторів.

У статті [7] описується вплив глобальної цифрової економіки на технологічний розвиток мінеральної галузі у світі. Через різну специфіку законодавчої бази досліджуваних регіонів, таких як США, Китай, ЄС, Африка. У статті представлено аналіз можливостей використання прямолінійних цифрових технологій при розвідці, проектуванні, розробці та використанні надр. Він описує структуру, яка сприяє розвитку прикладних цифрових технологій через науково-освітні центри та міжнародні центри компетенції. Така структура дозволить сформувати нові компетенції для персоналу, що працює в цифровій економіці.

У роботі [6] показано, що ринкова економіка характеризується конкуренцією підприємств, що визначає оновлення виробництва.

У роботі [11] показано, що бережливе виробництво широко розглядається як засіб впливу на складність соціально-технічних систем. Показано, що емпіричні оцінки цього впливу не прийняли чіткої точки зору теорії складності, а також не врахували багатовимірну природу складності. У цій роботі представлено дослідження впливу бережливого виробництва на атрибути складних соціально-технічних систем з кількох секторів. Оцінка була заснована на опитуванні 326 респондентів. Оцінювали вплив ЛП на п'ять наборів атрибутів складності, а саме: кількість елементів; взаємодії; різноманітність; несподівана мінливість; і стійкість. Проаналізовані системи спочатку були класифіковані на виробництво та послуги.

У статті показано [4], що академічні дослідження менеджменту мають серйозну проблему використання. У цій галузі основні дослідження, як правило, керуються описом, базуються на парадигмі «пояснювальних наук», таких як фізика та соціологія, і в результаті виходить те, що можна назвати теорією організації. У цій статті стверджується, що проблему релевантності можна пом'якшити, якщо такі дослідження доповнюються дослідженнями за рецептами, заснованими на парадигмі «наук про дизайн», таких як медицина та інженерія, і в результаті чого можна назвати теорію управління. Типовими дослідницькими продуктами в теорії менеджменту були б «перевірені на місцях і обґрунтовані технологічні правила». Обговорюється природа таких правил, а також стратегії дослідження, що їх виробляють

У роботі [8] встановлено, що завдяки економіці, орієнтованій на клієнтів, сучасні світові ринки характеризуються високими коливаннями ринкового попиту та частим надходженням нових технологій та нових продуктів. Щоб залишатися конкурентоспроможними на таких ринках, компанії-виробники потребують постійного вдосконалення як технічної, так і організаційної сфери своєї діяльності. У статті наведено результати діагностики, проведеної на виробничій ділянці підприємства з виробництва картонної упаковки, та рекомендації щодо підвищення ефективності виробничого процесу. Зокрема, серед запропонованих технічних та організаційних

рекомендацій найважливішими є: автоматизація окремих елементів виробничого процесу та зміна компонування виробничого цеху.

Висновки. Отже, ефективна науково-технічна підготовка виробництва в умовах виготовлення дослідних партій на етапі розвитку економіки нової продукції (нововведень) в значній мірі визначає успішне функціонування підприємства, а саме його конкурентоспроможність та його фінансову незалежність, забезпечує виробництво конкурентоспроможної продукції та конкурентні переваги на ринках збуту.

Головною метою організаційної підготовки виробництва є забезпечення повної готовності виробництва до випуску продукції встановленої якості та кількості.

Критеріями досягнення цієї мети є: вихід на заплановані для серійного виробництва техніко-економічні показники; зменшення витрат усіх ресурсів на реалізацію процесу опанування виробництва нових виробів; скорочення циклу та термінів організаційної підготовки та опанування нової техніки.

У процесі організаційної підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій використовуються конструкторська, технологічна документації та дані для здійснення технологічної підготовки виробництва.

Головною метою планування технічної підготовки виробництва є забезпечення повноти, комплектності та своєчасності видачі технічної документації з конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Критерієм досягнення цієї мети є зведення до мінімуму витрат і термінів підготовки виробництва високої якості. Локальними цілями підсистеми планування технічної підготовки виробництва є визначення обсягу та трудомісткості робіт, початкових та кінцевих термінів підготовки загалом, а також її окремих етапів.

В організації робіт підготовки виробництва в умовах виготовлення дослідних партій важливе місце займає використання наочних графічних зображень. Найбільшого практичного поширення отримали графіки лінійного типу, особливо при невеликому обсязі робіт, останні проектуються та короткостроковості етапів їх здійснення. Пов'язано це з простотою та зручністю їхньої графічної побудови, наочністю зображуваних процесів.

Список бібліографічного опису

1. Колесніков, А. П. (2004). Технічна підготовка виробництва нововведень як базова передумова всього виробничого процесу. *Українська наука: минуле, сучасне, майбутнє*, 9, 42-49.
2. Разінькова, М. Ю., & Разінькова, М. Ю. (2017). Комплексний підхід щодо науково-технічної підготовки виробництва нової продукції машинобудівного підприємства. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/16962/1/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D1%96%D0%BD%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F.pdf> (дата звернення: 15.12.2021).
3. Сай, Л. П. (2005). Маркетинг в системі науково-технічної підготовки виробництва. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, (526: Логістика), 156-159.

References.

1. Aken, J. E. V. (2004). Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. *Journal of management studies*, 41(2), 219-246.
2. Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2019). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Retrieved December 16, 2021, from <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-11-2018-0417/full/html>
3. Kulikova, N. N., Smolentsev, V. M., Tikhonov, A. I., Kireev, V. S., & Dikareva, V. A. (2016). Planning of technological development of new products and its impact on the economic performance of the enterprise. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(8S), 213-219.
4. Litvinenko, V. S. (2020). Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*, 29(3), 1521-1541.
5. Rudawska, A., Čuboňova, N., Pomarańska, K., Stančeková, D., & Gola, A. (2016). Technical and organizational improvements of packaging production process. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 10(30). DOI: 10.12913/22998624/62513
6. Saratale, G. D., Saratale, R. G., Kim, S. H., & Kumar, G. (2018). Screening and optimization of pretreatments in the preparation of sugarcane bagasse feedstock for biohydrogen production and process optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(25), 11470-11483.
7. Shrivastava, P., & Souder, W. E. (1987). The strategic management of technological innovations: A review and a model. *Journal of Management Studies*, 24(1), 25-41.
8. Soliman, M., Saurin, T. A., & Anzanello, M. J. (2018). The impacts of lean production on the complexity of socio-technical systems. *International Journal of Production Economics*, 197, 342-357.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-05>

УДК 681.2.08

¹Мороз Сергій Анатолійович, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>

²Калесь Олексій Олегович, учень

¹Луцький національний технічний університет

²Волинський науковий ліцей

АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНОЇ ОХОРОННОЇ СИСТЕМИ

Мороз С.А., Калесь О.О. Аналіз побудови та функціонування тензометричної охоронної системи. В статті проведений аналіз способів застосування тензочувливих перетворювачів в охоронних системах. Описаний принцип роботи тензодатчиків та варіантів їх підключення для вимірювання зовнішніх зусиль. Досліджено функціонування діючого макету охоронної системи будинку, отриманні результати випробування під час навантаження зовнішнім навантаженням.

Ключові слова: тензометричний перетворювач, вимірювальний міст, тензорезистор, охоронна система.

Мороз С.А., Калесь Е.А. Анализ построения и функционирования тензометрической системы охраны. В статье проведён анализ способов применения тензочувствительных преобразователей в охранных системах. Описан принцип работы тензодатчиков и вариантов их подключения для измерения внешних усилий. Исследовано функционирование действующего макета охранной системы дома, полученные результаты испытания при нагрузке наружной нагрузкой.

Ключевые слова: тензометрический преобразователь, измерительный мост, тензорезистор, охранная система.

Moroz SA, Kales O.O Analysis of construction and operation of strain gauge security system. The article analyzes the methods of using strain-sensitive transducers in security systems. The principle of operation of strain gages and options of their connection for measurement of external efforts is described. The functioning of the current model of the security system of the house is studied, the test results are obtained during loading by an external load.

Keywords: strain gauge, measuring bridge, strain gauge, security system.

Постановка наукової проблеми.

Тензочувливі перетворювачі, зокрема тензорезистори відомі більше ста років і знаходять широке поширення в різних сферах життя людини. Технологія їх виготовлення та застосування відпрацьована, а вартість невелика. Вони працездатні в широкому діапазоні температур та зовнішніх впливів, тому цілком підходять в якості чутливих елементів. Охоронні пристрої на основі тензорезисторів – точкові, але можуть застосовуватися як у приміщеннях, так і на відкритому повітрі.

Тензометричні датчики називаються також ваговими датчиками або вагочувливими датчиками. Вихідний сигнал чутливого елементу – зазвичай безперервний аналоговий, його величина пропорційна прикладеній силі. Якщо сила впливу, вага або їх зміна перевищують встановлений поріг, формується сигнал тривоги. Всі тензометричні датчики є пасивними.

Датчики ваги повністю перекривають діапазон вимірювання від одиниць грама до сотень тонн. Легко спроектувати та виготовити пристрій, на основі тензометричних перетворювачів, як для контролю за однією цінною монетою, так і для виявлення автомобіля, що під'їжджає. Часто виникає ситуація, коли в безпосередній близькості один від одного знаходяться безліч предметів, що охороняються. Експонати на виставці, зброя на стелажах, золоті зливки у банку – кількість окремих предметів може досягати сотень. В цьому випадку не має потреби кожен з них обладнати самостійним охоронним датчиком, що складається з чутливого елементу, блока обробки, реле тривоги та вести до кожного окрему сигнальну лінію. Значно спростити схему охорони безлічі компактних предметів дозволяє метод паралельного з'єднання тензочувливих перетворювачів у вимірювальні мости.

Зазвичай тензочувливий охоронний пристрій являє собою конструкцію з вимірювального елемента, що сприймає зовнішню силу, наклеєних на нього тензорезисторів і підсилювача сигналів. Вихідним сигналом у них може бути напруга, струм або цифровий логічний сигнал. Напруга посилюється до одиниць вольт, струм – до десятків міліампер, цифровий сигнал подається або паралельному двійковому коді, або відповідає інтерфейсам RS-232 або RS-485.

Вимірювальні перетворювачі на основі тензорезистора мають свої властивості, які характеризуються за допомогою наступних параметрів: механічний гістерезис, тензочувливість,

повзучість, температурна нестабільність, діапазон робочих температур, допустима потужність, власна частота.

Відомо [2, 3], що тензорезистору властиві незначні відхилення від лінійності під час циклічного деформування, водночас крива розвантаження розташовується нижче кривої навантаження, таким чином утворюючи петлю гістерезису (рис. 1.1).

Гістерезис є різницею значень сигналу тензорезистора, який є вихідним, при однакових рівнях вхідного сигналу, який отриманий під час навантаження і розвантаження об'єкта.

Найбільший гістерезис спостерігається в період першого циклу навантаження. У наступних навантажувальних циклах петля гістерезису звужується та поступово стабілізується. На практиці рекомендовано робити попереднє «тренування» датчика, під час якого навантажують його чотирма-п'ятьма циклами деформації рівень якої становить 125% від максимально допустимої. Внаслідок цього вдається знизити нелінійність датчика в кілька разів.

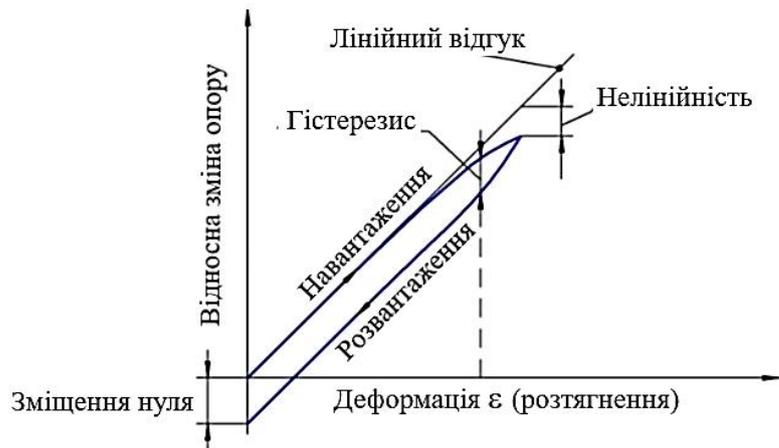


Рис. 1.1. Характеристика циклічного деформування тензорезистора

На наш погляд, негативною особливістю тензочутливих перетворювачів є те, що після монтажу на досліджуваній об'єкт вони не можуть бути демонтовані без пошкоджень і використані повторно, тому єдиним можливим способом визначення їх робочих характеристик є вибіркове градування.

Аналіз останніх досліджень.

Вимірювання деформації за допомогою тензорезисторів є складним завданням в техніці електричних вимірювань. Складність полягає у відносно малому діапазоні зміни опору тензорезистора під впливом деформації. Зміна величини опору тензорезистора досить малі і складають для датчика з параметром 100 Ом близько 0,0002 Ом на деформацію 1 мкм/м. Відомо, що деформація 1000 мкм/м, яка відповідає приросту напруження в метали приблизно 200 МПа, змінює опір 100 Ом датчика на 0,2 Ом. Для перетворення таких незначних змін опору в вихідні сигнали напруги, які здатні реєструватися, в вимірювальних пристроях здебільшого використовується в основному мостова схема (міст Уїтстона). Вимірювальний міст зазвичай подають у вигляді ромба, сторони якого мають назву «плече», а точки з'єднання плечей – «вершина» або «вузол моста». Міст Уїтстона складається з трьох функціональних частин: джерела напруги U , чотирьох резисторів (R_1, R_2, R_3, R_4), які утворюють міст, і реєструючої схеми, що включає резистор навантаження R_m (рис. 1.2).

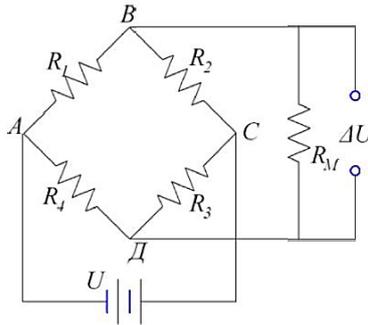


Рис. 1.2. Вимірювальний міст Уїтстона

Розглянемо рівняння, які описують вимірювальний міст. Прийmemo $R_m = \infty$, так, що струм, що протікає через міст, не впливає на навантаження. Така ситуація спостерігається, якщо сигнал з мостової схеми подається на вхід електронного підсилювача або аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

Вихідна напруга на вимірювальному мості Уїтстона (різниця напруги точок В і Д) визначається рівнянням

$$\Delta U = \frac{(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U \quad (1.1)$$

З рівняння (1.2) випливає, що $\Delta U = 0$, якщо виконується умова

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \text{ або } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (1.2)$$

При дотриманні рівності (1.2) міст називається збалансованим. Суть цього полягає у тому, що мала напруга розбалансу, яка викликана зміною опору, вимірюється відносно нульового або майже нульового рівня. Цей невеликий сигнал легко може бути підсилений до високого рівня і в подальшому може легко реєструватися.

Вихідна напруга ΔU у вимірювальному мості виникає при зміні опору резисторів R_1, R_2, R_3, R_4 , на величини $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$. Такі зміни опору виникають, як правило, внаслідок деформації або зміни зовнішньої температури в якій працюють тензорезистори.

Відповідно до рівняння (1.1) зміна вихідної напруги ΔU , яка викликана зазначеними малими змінами опорів, становить [3]

$$\Delta U = \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) (1 - \eta) U \quad (1.3)$$

де η – коефіцієнт, що характеризує похибку (нелінійність моста), описується співвідношенням [3]

$$\eta = \frac{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4}}{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + 2} \quad (1.4)$$

Розглянемо найбільш частий на практиці випадок, коли в вимірювальний міст Уїтстона включаються датчики з однієї партії, тобто мають однаковий номінальний опір $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ і однаковий коефіцієнт тензочутливості $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$.

Виразимо зміни відносних опорів тензодатчиків через діючі на них деформації:

$$\frac{\Delta R_i}{R_i} = k \cdot \varepsilon_i \quad (1.5)$$

де $i = 1, 2, 3, 4$.

Після підстановки (1.5) у вираз (1.3) та (1.4) отримаємо

$$\Delta U = k \cdot \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 (1 - \eta) U \quad (1.6)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + 2/k} \quad (1.7)$$

Оскільки зміни опору тензорезисторів досить малі, то і нелінійність функціонування вимірювального моста Уїтстона несуттєва. Відомо, при одному активному датчику нелінійність моста η не перевищує 1%, якщо деформація не перевищує 10 000 мкм/м.

З виразів (1.3), (1.4), (1.6) і (1.7) можна сформулювати корисні для практичного застосування властивості вимірювального моста Уїтстона:

« • Деформації, які діють на тензорезистори протилежних плечей, підсумовуються в межах вимірювального моста.

• Деформації, які діють на тензорезистори суміжних плечей моста, віднімаються в межах

вимірювального моста.

• Похибка моста η (нелінійність) пропорційна алгебраїчній сумі всіх деформацій, які сприймаються тензорезисторами » [3].

Залежно від кількості тензорезисторів, що включаються в вимірювальний міст, можливі три модифікації мостової схеми [3]: «чверть моста», «напівміст» і «повний міст» (рис. 1.4).

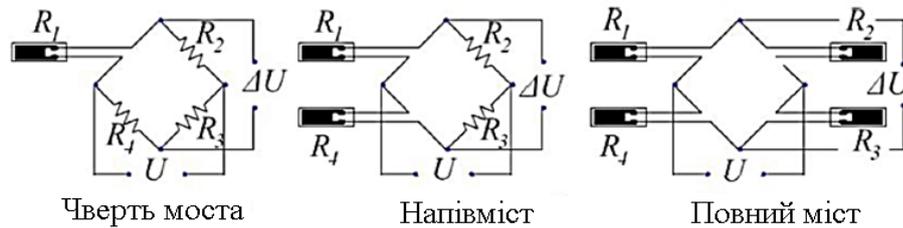


Рис. 1.3. Модифікації вимірювального моста

Під час практичного застосування тензорезистори виносяться за межі вимірювального приладу і розташовуються на об'єкті, який потрібно дослідити, тоді як резистори, що доповнюють міст, як правило, розташовані в вимірювальному приладі.

У плечі моста тензорезистори можна включати послідовно, паралельно і змішано.

Виклад основного матеріалу.

Для проведення дослідження функціонування макету системи охорони на основі тензорезистивних датчиків ми використовували такі електронні компоненти: мікроконтролер ARDUINO UNO; реле; RGB світлодіод; плата підсилення HX711; соленоїдний замок; пасивний зумер; тензорезистивний напівмостовий датчик (4 шт.)

Виготовлення корпусу для макету відбувалось з пресованої фанери, товщина якої становить 5 мм. Усі електронні елементи, які відповідають за обробку вимірювальної інформації, розміщені в середині корпусу макету у спеціально відведеному місці. Для живлення системи є можливість використати блок живлення на 12В або акумуляторну батарею на 12В, що дозволить макету охоронної системи працювати автономно.

З'єднання складових елементів відбувалося за схемою наведеною на рис. 1.4.

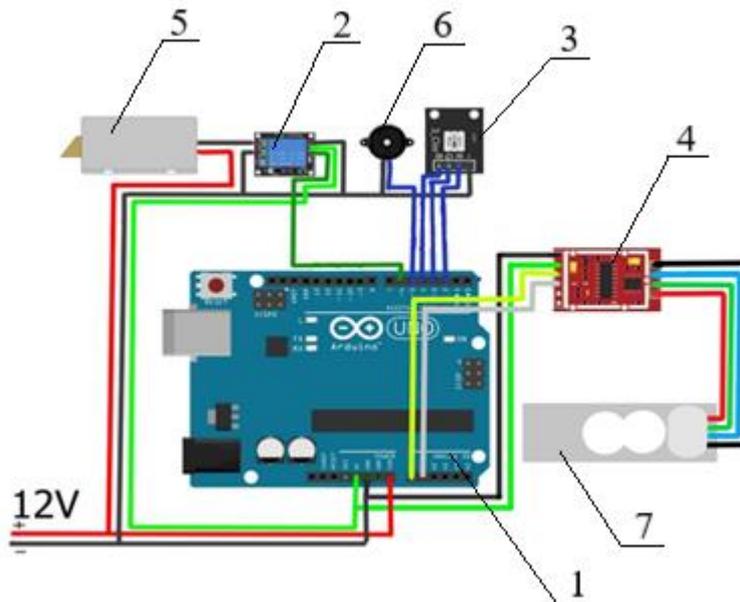


Рис. 1.4. Схема з'єднання елементів макету охоронної системи: 1) мікроконтролер ARDUINO UNO; 2) реле; 3) RGB світлодіод; 4) плата підсилення HX711; 5) соленоїдний замок; 6) пасивний зумер; 7) тензорезистивний напівмостовий датчик (4 шт.)

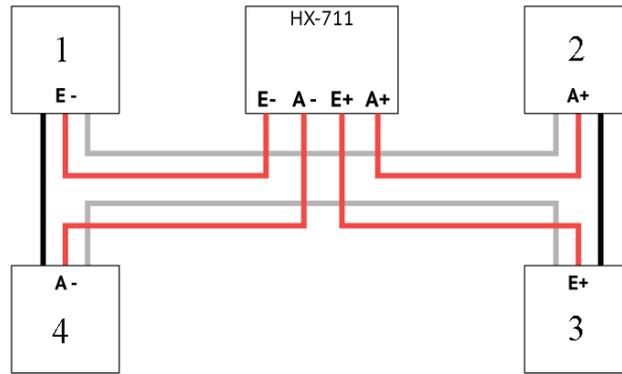


Рис. 1.5. З'єднання тензодатчиків у вимірювальну схему типу «повний міст»

Розглянемо принцип функціонування розробленого макету системи (рис. 1.6)

Головним елементом є збірка тензодатчиків, які з'єднанні у вимірювальну схему типу «повний міст» (рис. 1.5). В ньому розміщений чутливий елемент – тензорезистор. Він виготовлений у вигляді плівки наклеєний на основу датчика та при зміні зусилля змінює свій опір (зміна зусилля здійснюється шляхом дії певної ваги на тензодатчик). Саме цю властивість використано для контролю ваги різних об'єктів.



Рис. 1.6. Загальний вигляд діючого макету охоронної системи

Зміна опору напівпровідника зчитується за допомогою мікроконтролера Arduino (в нашому випадку Arduino Uno). Але зміни є незначними тому використано підсилювальну плату HX711. Тобто: сигнал з тензодатчика надходить до плати HX711, підсилюється і далі його зчитує мікроконтролер.

Мікроконтролер для правильного визначення ваги потрібно прокалібрувати за допомогою спеціального коду та використання еталонного вантажу. Після калібрування ми отримуємо калібровочний коефіцієнт, який необхідно додати в основний код для вимірювання. В основному коді зазначений діапазон ваги, яка повинна діяти на тензодатчики.

Тобто під час роботи охоронної системи можливі два випадки:

- 1) Значення збігаються і тоді мікроконтролер подає сигнал на реле, яке в свою чергу відчиняє соленоїдний замок.
- 2) Значення не збігаються і тоді мікроконтролер подає сигнал на світлодіод і зумер, які дають зрозуміти що двері не відчиняться.

Одним із поставлених завдань, які потрібно вирішити у роботі є проведення дослідження функціонування системи при дії певних чинників. Ми провели експеримент на вплив місця прикладання ваги до різних точок платформи вимірювання.

Для експерименту ми взяли еталонну вагу 10 кг в вигляді гири. Платформа має форму квадрата 20*20 см. Розділимо платформу на деякі зони, а саме кола з різницею в радіусі 5 см, як на

рисунку 2.5. Результати вимірювань наведено в таблиці 2.1

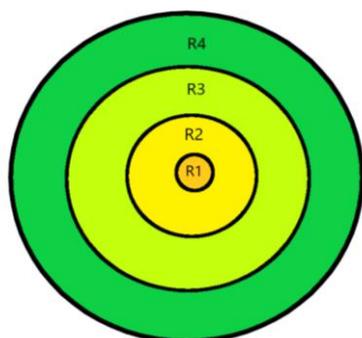


Рис. 1.7. Зони випробування

Табл. 1.1. Результати випробувань

Вага, г	5000	10000	15000	20000
Зона випр.				
R 1	5019	10054	15053	20071
R 2	5011	10050	15058	20062
R 3	5056	10056	15054	20080
R 4	5029	10057	15063	20085

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

На основі аналізу інформаційних джерел проведений аналіз застосування тензодатчиків в охоронній сфері. Встановлено, що основними перевагами таких датчиків є висока надійність, низька вартість, хороші маскувальні властивості, простота монтажу та обслуговування. Однак присутній і недолік, який полягає у складності автоматичної перевірки працездатності чутливих елементів.

Найбільш ефективним способом вимірювання тензодатчиками зовнішніх зусиль є вимірювальний міст Уйтстона у модифікації «повний міст».

На основі напівмостових тензометричних датчиків, які об'єднали у вимірювальну схему типу «повний міст», мікроконтролера Arduino UNO та інших електронних компонентів було спроектовано та виготовлено діючий макет охоронної системи.

Проведено дослідження особливостей функціонування тензометричних давачів в діючому макеті охоронної системи. Виявлено що похибка вимірювання ваги об'єкта тензочутливими датчиками не перевищує 1%. Встановлено, що місце розташування вантажу не впливає на точність вимірювань.

Встановлення діапазону спрацювання охоронної системи здійснюється у мікроконтролері Arduino через безкоштовне середовище програмування Arduino IDE.

Оскільки технічні рішення у сфері безпеки завжди потребують нових, часто нестандартних рішень конструкцій охоронних пристроїв, то запропонований спосіб використання тензодатчиків є перспективним для додаткового рубежу охорони приміщення.

В подальшій перспективі пропонується оснастити охоронну систему мобільними передатчиками, які мають постійний зв'язок з господарями приміщення, яке охороняється або з центральними пунктами охорони.

Список бібліографічних посилань

1. Груба И.И. Системы охранной сигнализации. Технические средства обнаружения. М.: Солон-Пресс. 2012. 220 с.
2. Знаймо // Тензометричний датчик. URL: https://znaimo.com.ua/%D0%A2%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA (дата звернення: 10.12.2021).
3. Учебні Матеріали для студентів і школярів України // Тензорезистори опору і вимірювальні схеми. URL: <http://um.co.ua/8/8-2/8-22811.html> (дата звернення: 15.12.2021).
4. IARDUINO // Тензодатчики и HX711. Руководство пользователя. URL: https://wiki.iarduino.ru/page/hx_711_with_tenzo/ (дата звернення: 12.11.2021).
5. Заметки электрика // Тензодатчик: принцип работы, устройство, типы, схемы подключения. URL: <https://www.asutpp.ru/tenzodatchik.html> (дата звернення: 12.11.2021).
6. Электронные компоненты и оборудование // Тензорезистивный датчик. URL: <https://voron.ua/catalog/038097> (дата звернення: 16.10.2021).
7. Вільна енциклопедія «Вікіпедія» // Arduino. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino> (дата звернення: 11.11.2021).
8. Информационный портал «ARDUINOMASTER» // Подключение тензодатчика HX711 к Arduino. URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/tenzodatchiki-i-vesy-na-arduino-i-nh711/> (дата звернення: 10.11.2021).

References

1. Hrubá I.I. Alarm systems. Technical means of detection. М .: Solon-Press. 2012. 220 p.
2. Know // Strain gauge. URL: https://znaimo.com.ua/%D0%A2%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA (application date: 10.12.2021).
3. Educational Materials for students and schoolchildren of Ukraine // Tensor resistors and measuring circuits. URL: <http://um.co.ua/8/8-2/8-22811.html> (access date: 15.12.2021).
4. IARDUINO // Strain gauges and NH711. User guide. URL: https://wiki.iarduino.ru/page/hx_711_with_tenzo/ (access date: 12.11.2021).
5. Notes of an electrician // Strain gauge: principle of operation, device, types, connection diagrams. URL: <https://www.asutpp.ru/tenzodatchik.html> (access date: 12.11.2021).
6. Electronic components and equipment // Strain gauge sensor. URL: <https://voron.ua/catalog/038097> (access date: 16.10.2021).
7. Free encyclopedia "Wikipedia" // Arduino. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino> (access date: 11.11.2021).
8. Information portal "ARDUINOMASTER" // Connection of strain gauge HX711 to Arduino. URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/tenzodatchiki-i-vesy-na-arduino-i-nh711/> (access date: 10.11.2021).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-06>

УДК 004.771

Озерчук Ігор Михайлович, провідний науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0001-7011-0772>

Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

ПРИНЦИПИ РЕАЛІЗАЦІЇ BLUETOOTH 5.2: АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Озерчук І. М. Принципи реалізації Bluetooth 5.2: апаратна реалізація. У статті розкрито принципи реалізації Bluetooth 5.2 з точки зору апаратної реалізації. Описано еволюцію технології Bluetooth, наведено інноваційні функції Bluetooth 5.2, визначено основні переваги. Розкрито механізм встановлення зв'язку та описано етапи реалізації останнього. Запропоновано алгоритм формування з'єднання точка-точка за технологією Bluetooth з детальним описом процесу. Охарактеризовано стек протоколів Bluetooth. Визначено функціональну приналежність кожного протоколу та описано принцип взаємодії між протоколами. Наголошується, що в умовах сьогодення, низка сучасних компаній інтегрували основні функції широкої смуги Bluetooth в апаратне забезпечення, інші компанії, надають інтерфейс керування хостом. Підкреслено, що система на основі ARM для реалізації Bluetooth передачі у своєму складі має низку додаткових компонентів з'єднаних поміж собою шиною даних. Схематично представлено взаємодію апаратного забезпечення Bluetooth з встановленням функціональних зв'язків. Обґрунтовано принцип реалізації шифрування даних (функція потокового шифру) в апаратному забезпеченні. Наголошується, що застосування функції потокового шифру в апаратному забезпеченні знімає безперервне навантаження з процесора по бездротовому каналу під час передачі даних, а реалізація механізму генерації ключів та аутентифікації в апаратному (а не програмному) забезпеченні призводить до швидшого часу підключення та мінімізації споживання енергії. Запропонована архітектура системи для реалізації апаратного забезпечення Bluetooth 5.2 з урахуванням функції крипто захисту, описано потоки зв'язків на базі системи та описано кожен наявний функціональний блок з відокремленням власної приналежності та виконуваних завдань. Описано широту спектру застосування Bluetooth 5.2 з виділенням таких сфер як: розумні пристрої; засоби масової інформації (телебачення, радіомовлення); подвійна трансляція (функція подвійної трансляції, допомагає у передачі ідентичної інформації через обладнання LE Audio та дубль через гарнітуру Bluetooth або відповідний мобільний додаток, це може значно заощадити час та енергію); багатомовний переклад у режимі реального часу (дана функція зручна при спілкуванні на різних мовах, чи прослуховуванні інформації різними мовами).

Ключові слова: реалізація, апаратне забезпечення, Bluetooth, передача даних, бездротове з'єднання, технологія, цифрова інформація, захист.

Ozerchuk Ihor. Principles of Bluetooth implementation 5.2: hardware implementation. The article reveals the principles of implementation of Bluetooth 5.2 in terms of hardware implementation. The evolution of Bluetooth technology is described, innovative features of Bluetooth 5.2 are given, the main advantages are defined. The mechanism of establishing communication is described and the stages of realization of the latter are described. An algorithm for forming a point-to-point connection using Bluetooth technology with a detailed description of the process is proposed. The stack of Bluetooth protocols is characterized. The functional affiliation of each protocol is determined and the principle of interaction between protocols is described. It is noted that in today's environment, a number of modern companies have integrated the basic functions of the broadband Bluetooth in the hardware, other companies provide a host management interface. It is emphasized that the ARM-based system for the implementation of Bluetooth transmission includes a number of additional components connected to each other by the data bus. The interaction of Bluetooth hardware with the establishment of functional connections is schematically presented. The principle of data encryption implementation (streaming cipher function) in hardware is substantiated. It is noted that the use of streaming cipher in hardware removes continuous load from the processor over the wireless channel during data transmission, and the implementation of the mechanism of key generation and authentication in hardware (rather than software) leads to faster connection time and minimizes power consumption. The proposed system architecture for the implementation of Bluetooth 5.2 hardware, taking into account the function of crypto security, describes the communication flows based on the system and describes each available functional unit with the separation of its own accessories and tasks. Describes the breadth of the range of applications of Bluetooth 5.2, highlighting such areas as: smart devices; mass media (television, radio broadcasting); dual broadcast (dual broadcast function, helps to transfer identical information via LE Audio equipment and duplicate via Bluetooth headset or corresponding mobile application, it can save a lot of time and energy); multilingual translation in real time (this feature is convenient when communicating in different languages or listening to information in different languages).

Key words: implementation, hardware, Bluetooth, data transfer, wireless connection, technology, digital information, security.

Вступ та постановка завдання. В основі поняття «Bluetooth», лежить технологія бездротової передачі даних на короткі відстані, яка може підключати кілька пристроїв одночасно для обміну цифровою інформацією. Головними перевагами технології є низька вартість, висока швидкість, зручне використання та низьке споживання енергії. Передача даних за технологією розширеного спектру зі стрибкоподібною зміною частоти має високу безпеку та здатність запобігати перешкодам, а також встановлює канали передачі даних для стаціонарних і мобільних пристроїв. Тому він широко використовується в мобільних телефонах, бездротових гарнітурах, ноутбуках, автомобілях та інших супутніх зовнішніх пристроях.

Фундаментальною основою реалізації технології Bluetooth є створення універсального радіоінтерфейсу для середовища зв'язку між різними пристроями, з метою подальшого поєднання технологій зв'язку з комп'ютерними технологіями та виконання передача даних без кабелів. Таким чином, використовуючи технологію Bluetooth, можна встановити канал з'єднання між стаціонарними або мобільними пристроями в межах ефективного діапазону.

За роки свого існування Bluetooth з версії 1.0 дійшов до нового покоління зв'язку Bluetooth 5.2. Враховуючи попит на зв'язок та стрімкий розвиток інформаційних технологій Bluetooth, як окрема одиниця модернізувалася для вилучення або мінімізації тих недоліків, які з'явилися за роки існування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування наукової думки стосовно апаратної реалізації Bluetooth 5.2 ґрунтується на роботах як зарубіжних так і вітчизняних вчених.

О. Ю. Бочкар'єв, В. А. Голембо та Ю. А. Крайкін [1] розглянули проблему розроблення бездротової мережі сенсорних та виконавчих вузлів у складі кіберфізичної системи (КФС). Проаналізували способи реалізації схеми бездротового зв'язку. Запропонували структуру та алгоритми роботи мережі. Навели результати реалізації сенсорних та виконавчих вузлів мережі.

В.Б. Дудикевич, Г.В. Микитин, А.І. Ребець та М.В. Мельник [2] розглянули інформаційну безпеку сенсорних мереж Zigbee, Wi-Fi та Bluetooth згідно моделі OSI у просторі "рівень OSI – функції – протоколи" на основі концепції "об'єкт – загроза – захист" та нормативного забезпечення, які системно створюють підхід до побудови комплексних систем безпеки сенсорного безпроводного комунікаційного середовища (КС) кіберфізичних систем (КФС) за профілями конфіденційність – цілісність – доступність, що забезпечує безпечні процеси автоматизації об'єктів промислової інфраструктури України та інтеграції в міжнародний інтелектуальний простір.

В роботі [3] розглядається система вимірювання відстаней до об'єктів з bluetooth керуванням, призначена для полегшення та більш точного вимірювання відстані.

О.Д. Федій та Л.М. Божуха [4] запропонували підходи щодо формування стратегії обрання принципів архітектури мережі при проектуванні системи для подальшого розроблення технології усунення всіх можливих факторів, які впливають на визначення місця розташування з максимальною точністю. О. А. Суровцев та О. М. Павловський [5] здійснили порівняльний аналіз сучасних бездротових технологій обміну інформацією.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Pisharody, Sidharth & Kittali, Praveen & R, Suresh & Ravichandran, Shama & S, Aswin [6], Mohaghegh, Pooneh & Boegli, Alexis & Perriard, Yves [7], Liu, Chendong & Zhang, Yilin & Zhou, Huanyu [8], Căsar, Matthias & Pawelke, Tobias & Steffan, Jan & Terhorst, Gabriel [9], Salah, Khaled [10], Pérez Díaz de Cerio, David & Hernandez-Solana, Angela & Garcia-Lozano, Mario & Valdovinos, Antonio & Valenzuela, Jose-Luis [11], Villamor, Andrea & Melendi, David & Garcia, Roberto & García Pañeda, Xabiel & Pozueco, Laura & Corcoba Magaña, Víctor [12], Hadidjaja, D & Wisaksono, Arief & Ahfas, A & Syahririni, S & Untariningsih, D. [13], Gaitan, Nicoleta-Cristina & Ungurean, Ioan [14] Padiya, Sagar & Gulhane, Vijay [15], Stirparo, Pasquale & Loeschner, Jan [16] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів реалізації Bluetooth 5.2 залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи реалізації Bluetooth 5.2: апаратна реалізація.

Викладення основного матеріалу дослідження. Стартовою точкою у розробці Bluetooth була спроба зробити бездротові навушники в основі роботи яких була бездротова передача звуку. Започаткував дану спробу Ericsson у 1998 році. Технологія постійно вдосконалювалася та вийшла на новий рівень – масштабовану передачу даних між пристроями.

Процес підключення та ініціалізації Bluetooth здійснюється у п'ять етапів.

Перший етап: головний пристрій ініціює запит на підключення шляхом стрибкоподібної зміни частоти.

Другий етап: пристрій, який є підпорядкованим отримує повідомлення від головного вузла, та повідомить верхній рівень, щоб отримати інформацію про з'єднання, а підлеглий вузол, в свою чергу, поверне кадр прийняття з'єднання або кадр відхилення посилання.

Третій етап: у випадку коли при моніторингу запитів підпорядкованому пристрою потрібна зміна ролі, останній надсилає інформацію про відхилення часу і кадр запиту перемикання.

Четвертий етап умовно ділиться на два під етапи:

якщо підпорядкований пристрій приймає запит на підключення головного пристрою, починається процес шифрування Bluetooth, а у випадку, якщо запиту на шифрування немає, головний пристрій надішле повідомлення про завершення з'єднання.

якщо підпорядкований пристрій відхиляє запит на з'єднання, він надсилає кадр роз'єднання.

П'ятий етап – це підтвердження з'єднання, коли два пристрої успішно підключено.

За мови, що два пристрої підключені один до одного та обмін функціями пройшов успішно, хост починає налаштовувати адаптивну стрибкоподібну перестройку частоти. Якщо є авторизація налаштування, хост запитує ключ посилення з верхнього рівня. Якщо для з'єднання потрібна авторизація, але ключ посилення не існує, його потрібно об'єднати в пару для створення ключа посилення. Після успішної авторизації та створення пари почнеться шифрування посилення та встановлення підключення буде завершено.

На рисунку 1 наведено алгоритм формування з'єднання точка-точка за технологією Bluetooth.

У рамках реалізації технології Bluetooth діють низка протоколів, кожен з яких відповідає за свій спектр роботи. У загальному розумінні стек протоколів Bluetooth в основному розділений на три рівні. Рівень додатків – це прикладний рівень, середній рівень – це рівень хосту, включаючи загальні профілі доступу (GAT), протокол менеджера безпеки (SMP), загальний профіль атрибутів (GATT), протокол атрибутів (ATT) і керування та адаптації логічного зв'язку (L2CAP). Третій рівень – це рівень керування, включаючи інтерфейс керування хостом (HCL), каналний рівень (LL) і фізичний рівень (PHY). Нижній шар надає послуги верхньому шару шляхом переходу знизу вгору.

Протокол атрибутів в основному визначає параметри атрибутів різних служб, які використовуються для обміну інформацією та узгодження між ведучим і підпорядкованим пристроями. Протокол керування та адаптації логічного зв'язку розбиває та збирає верхні дані, щоб відповідати можливостям контролера. Розширений протокол атрибутів у Bluetooth 5.2 є вдосконаленням протоколу атрибутів, яке може обробляти одночасні транзакції та додає контроль потоку для підвищення стабільності розширеного протоколу атрибутів. Іншими словами, розширений протокол атрибутів дозволяє різним програмам виконуватися одночасно на різних каналах протоколу керування та адаптації логічного зв'язку. А розмір максимального блоку передачі (MTU) протоколу атрибутів дозволяється змінювати під час підключення.

Протокол атрибутів виконується послідовно, при цьому може бути виконана тільки одна транзакція. Хоча розширений протокол атрибутів може виконувати кілька подій одночасно між клієнтом і сервером Bluetooth це технологія з низьким споживанням енергії. Таким чином, основні переваги розширеного протоколу атрибутів на базі Bluetooth включають зручність, гнучкість і більш високу швидкість обробки, що значно покращує процес і затримку багаторазового доступу до стека і добре відповідає очікуванням усунення вразливостей безпеки.



Рисунок 1 – Алгоритм формування з'єднання точка-точка за технологією Bluetooth

Нововведенням у Bluetooth 5.2 стало додавання функції керування живленням, робота функції спрямована на балансування якості сигналу та потужності, а також зниження споживання енергії.

Bluetooth 5.2 також інтегрує функцію двонаправленого керування потужністю Bluetooth. Приймач Bluetooth з низьким енергоспоживанням може стежити за потужністю сигналу головного пристрою та запитувати зміну потужності передачі, основною метою даного інноваційного доповнення є балансування якості та потужності сигналу. Коли головний пристрій завжди передає сигнали високої інтенсивності, зв'язок приймального пристрою вийде з ладу, а потужність терміналу передачі буде використано даремно. Навпаки, коли потужність сигналу занадто низька, частота помилок приймального обладнання занадто висока, що призводить до збою передачі.

Функція контролю енергоспоживання дозволяє контролеру Bluetooth використовувати концепцію «області» для моніторингу зміни втрат на шляху і повідомляти про це хосту Bluetooth. Нарешті, ця функція також може покращити співіснування інших бездротових пристроїв у частотному діапазоні 2,4 ГГц.

Bluetooth 5.2 може реалізувати динамічне управління потужністю передачі сигналу. Головний пристрій отримує сповіщення про зміну живлення, виявляючи силу сигналу іншої сторони. У порівнянні з обладнанням, відстань якого часто змінюється, головний вузол заощаджує споживання електроенергії та може відповідним чином змінювати потужність, щоб приховати вимоги до застосування. Користувач також може самостійно змінювати потужність передачі та надсилати інструкцію зміни до підпорядкованого пристрою. Перевагою функції контролю енергоспоживання є ефективне використання енергії акумулятора. У сфері датчиків із батареєю, як і в багатьох програмах, що існують в Інтернеті речей і розумних будинках, нова продуктивність Bluetooth 5.2 з низьким енергоспоживанням дозволяє динамічно оптимізувати термін служби батареї, мінімізуючи потребу в обслуговуванні електроенергії, тим самим значно знижуючи витрати.

Bluetooth 5.2 інтегрує ізохронний канал для реалізації наступного покоління Bluetooth LE. Він визначає залежний від часу канал передачі даних і стратегію передачі. Тим самим гарантуючи,

що дані, отримані одержувачем, відповідають заявленим вимогам. Це дозволяє передавати обмежені в часі дані на один або кілька пристроїв для синхронізації часу.

Bluetooth LE приймає новий комунікаційний код з низькою складністю. У порівнянні зі старим кодуванням, він має характеристики хорошої якості звуку та низького споживання енергії.

У минулому підтримувалися лише орієнтовані на з'єднання асинхронні лінії зв'язку та ширококомовні канали у відключеному режимі. Bluetooth 5.2 підтримує синхронний канал передачі аудіопотоку в підключеному режимі і синхронний канал передачі аудіопотоку в розключеному режимі.

Багато сучасних компаній інтегрували основні функції широкої смуги Bluetooth в апаратне забезпечення. Інші компанії, надають інтерфейс керування хостом, яким можна керувати, наприклад, через інтерфейс USB. Вбудований процесор ARM для виконання відповідного мікропрограмного забезпечення підтримує апаратні компоненти контролера Bluetooth.

Щоб система на основі ARM (рисунок 2) працювала належним чином, їй зазвичай потрібно багато блоків RAM і ROM, кеш-пам'ять інструкцій і складна логіка керування. З іншого боку, апаратні реалізації обмежують кремнієву область і споживають менше енергії чіпа. Крім того, реалізація програмного забезпечення вимагає множення інструкцій і більшої кількості тактів для виконання часткової операції, що знижує продуктивність системного часу.

Основна смуга Bluetooth

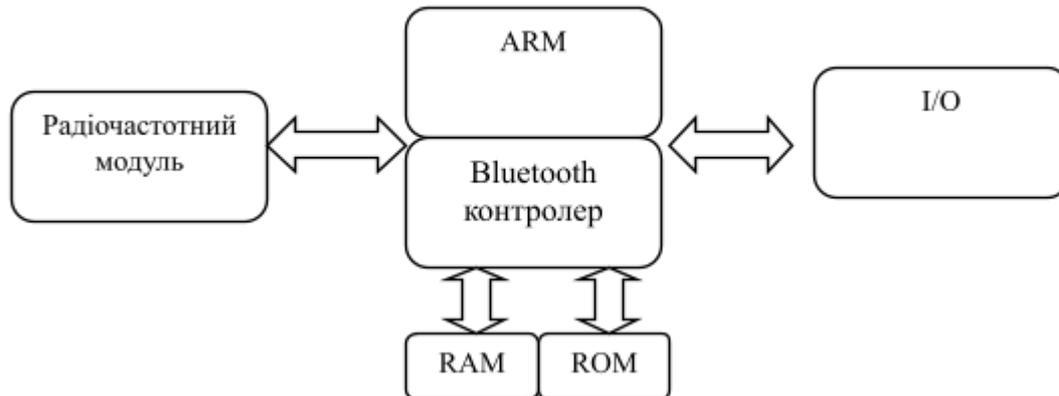


Рисунок 2 – Схема взаємодії апаратного забезпечення Bluetooth

Більшість однокристальних реалізацій базової смуги Bluetooth реалізують шифрування даних (функція потокового шифру) в апаратному забезпеченні. Це знімає безперервне навантаження з процесора по бездротовому каналу під час передачі даних. Крім того, реалізація механізму генерації ключів та аутентифікації в апаратному (а не програмному) забезпеченні призводить до швидшого часу підключення та меншого споживання енергії. На рисунку 3 показана запропонована архітектура системи для реалізації апаратного забезпечення Bluetooth 5.2 з урахуванням функції криптозахисту, яка є обов'язковою в умовах сьогодення.

Архітектура складається з шести підрозділів:

- функція генерації ключа посилання;
- функція E1/E3 (аутентифікація та генерація ключа шифрування);
- пам'ять RAM і ROM;
- функція потокового шифру;
- контроль;
- інтерфейс введення/виведення.

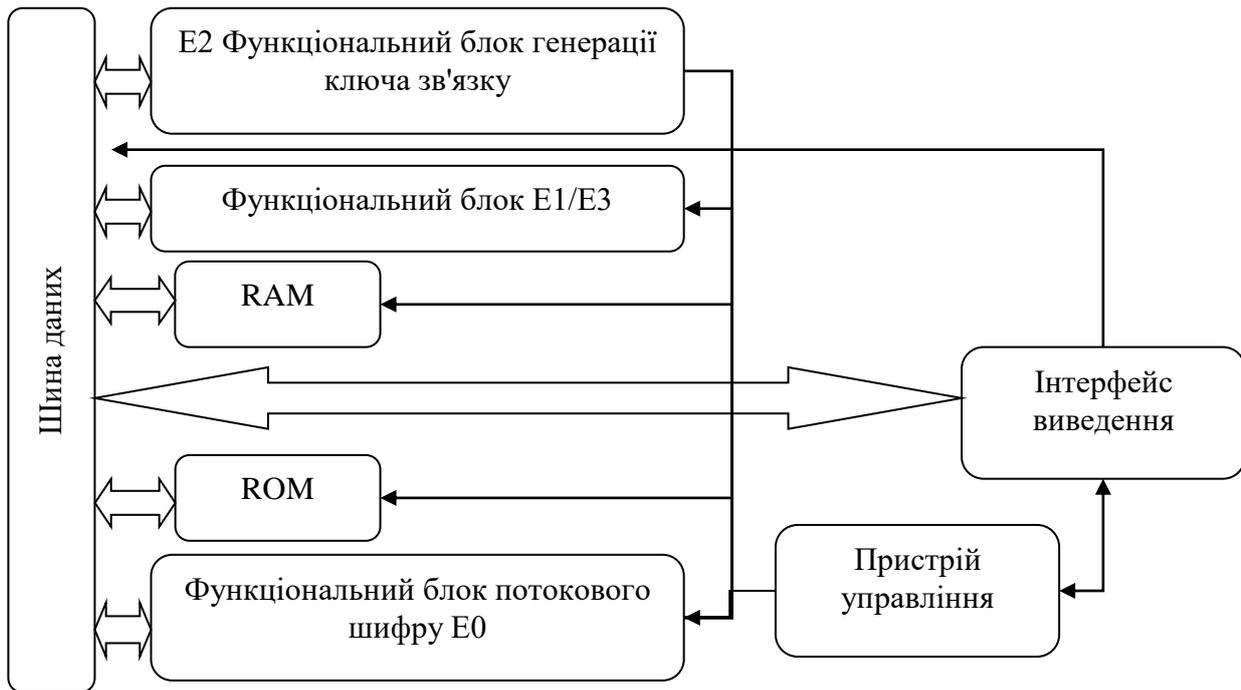


Рисунок 3 – Архітектура системи для реалізації апаратного забезпечення Bluetooth 5.2 з урахуванням функції криптозахисту

Функціональний блок генерації ключа послань розробляє відповідні ключі послання. Використовуючи ці ключі послання, функціональний блок E1/E3 виконує аутентифікацію та надає ключ шифрування. Він використовує функціональний блок потокового шифрування для шифрування даних і передає всі міжблокові переміщення даних через 64-бітну шину даних. Він також інтегрує RAM для зберігання відповідних функціональних клавiш і зберігає функціональні константи в ROM. Блок управління синхронізує роботу системи та переводить неактивні частини системи в режим очікування. Це значно зменшує розсіювання потужності. Система зв'язується із зовнішнім середовищем через інтерфейс введення/виводу.

Основним компонентом усіх функцій генерації ключів (E2, E3) та функції аутентифікації є алгоритм заснований на існуючому сімействі шифрів Safer, яке включає комплексні шифри. Усі алгоритми є байто-орієнтованими алгоритмами блочного шифрування, які мають дві властивості. По-перше, для досягнення бажаної дифузії вони використовують неортодоксальне лінійне перетворення (псевдо-Адамара). По-друге, вони використовують адитивні постійні коефіцієнти (вектори зміщення) у плануванні ключів, щоб уникнути слабких ключів.

Bluetooth 5.2 має широкий спектр застосувань у повсякденному житті. Забезпечуючи низьке енергоспоживання, він також може забезпечити високу якість обслуговування. Наприклад, розумні пристрої, громадське телебачення, допоміжна приймальня, багатомовний переклад у реальному часі тощо.

1) розумні пристрої

Враховуючи функцію Bluetooth низьке енергоспоживання багато розумних пристроїв покладаються на технологію Bluetooth для обміну даними, що знижує енергоспоживання.

2) Громадське телебачення

Функція аудіо Bluetooth дає можливість зменшити шумові перешкоди за рахунок доступу до розподіленого сприймання звуків.

3) Подвійна трансляція

Функція подвійної трансляції, допомагає у передачі ідентичної інформації через обладнання LE Audio та дубль через гарнітуру Bluetooth або відповідний мобільний додаток, це може значно заощадити час та енергію.

4) Багатомовний переклад у режимі реального часу

Дана функція зручна при спілкуванні на різних мовах, чи прослуховуванні інформації різними мовами.

Висновки. У роботі розкрито принципи реалізації Bluetooth 5.2: апаратна реалізація. Bluetooth 5.2 реалізує динамічне управління потужністю передачі сигналу, має функцію низького енергоспоживання, дозволяє динамічно оптимізувати термін служби батареї, мінімізуючи потребу в обслуговуванні електроенергії, тим самим значно знижуючи витрати. Bluetooth з різними пристроями можуть працювати разом через спеціальні мережі, вказуючи на початок стандарту, що забезпечує бездротовий зв'язок між машиною комунікації та між кожним інтелектуальним пристроєм і приладом. Архітектура системи для реалізації апаратного забезпечення Bluetooth 5.2 з урахуванням функції крипто захисту ґрунтується на використанні малопотужного мікропроцесору, який відіграє значну роль у реалізації безпеки для рішень Bluetooth.

Перспективами подальших досліджень є структуризація наукових надбань, виділення переваг та недоліків розроблених версій Bluetooth з метою узагальнення отриманого досвіду та подальших інноваційних рішень.

Список бібліографічного опису.

1. Бочкар'єв О.Ю., Голембо В.А., Крайкін Ю.А., Бездротова мережа сенсорних та виконавчих вузлів у складі кіберфізичної системи // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп'ютерні системи та мережі», № 881, 2017. С.15-24
2. Микитин Г. В. Безпроводні сенсорні мережі ZigBee, Wi-Fi та Bluetooth в кіберфізичних системах: концепція "об'єкт – загроза – захист" на основі моделі OSI / В. Б. Дудикевич, Г. В. Микитин, А. І. Ребець, М. В. Мельник // Системи обробки інформації, 2019. С. 114–120.
3. Швайка О.О. Розробка системи вимірювання відстаней до об'єктів з Bluetooth керуванням / О.О. Швайка, Т.М. Дубовик // Матеріали Десятої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології - 2020» «Modern Information Technology - 2020» (14-15 травня 2020 р., м.Одеса) / МОН України; Одес. Нац. політех. ун-т; Ін-т комп'ют. систем. – Одеса : Наука і техніка, 2020. С. 207-209.
4. Федій О. Д., Божуха Л. М. Про підходи визначення місцезнаходження об'єктів // Математичне моделювання в природничих науках та інформаційні технології: Математичне моделювання, 2021. № 2(45). С. 40-47.
5. Суровцев О. А. Порівняння сучасних бездротових технологій обміну інформацією / О. А. Суровцев О. М. Павловський // XI всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2018 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, 2018. С. 64-66.

References.

1. Pisharody, Sidharth & Kittali, Praveen & R, Suresh & Ravichandran, Shama & S, Aswin. (2021). Design and Implementation of Bluetooth Controlled Weeder. 1700-1705. 10.1109/I-SMAC52330.2021.9640936.
2. Mohaghegh, Pooneh & Boegli, Alexis & Perriard, Yves. (2021). Bluetooth Low Energy Direction Finding Principle. 830-834. 10.23919/ICEMS52562.2021.9634353.
3. Liu, Chendong & Zhang, Yilin & Zhou, Huanyu. (2021). A Comprehensive Study of Bluetooth Low Energy. Journal of Physics: Conference Series. 2093. 012021. 10.1088/1742-6596/2093/1/012021.
4. Căsar, Matthias & Pawelke, Tobias & Steffan, Jan & Terhorst, Gabriel. (2022). A survey on Bluetooth Low Energy security and privacy. Computer Networks. 205. 108712. 10.1016/j.comnet.2021.108712.
5. Salah, Khaled. (2022). An Introduction to Bluetooth. 10.1007/978-3-030-88626-4_1.
6. Pérez Díaz de Cerio, David & Hernandez-Solana, Angela & Garcia-Lozano, Mario & Valdovinos, Antonio & Valenzuela, Jose-Luis. (2021). Speeding Up Bluetooth Mesh. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3093102.
7. Villamor, Andrea & Melendi, David & Garcia, Roberto & García Pañeda, Xabiel & Pozueco, Laura & Corcoba Magaña, Víctor. (2022). Bluetooth 5 performance analysis for inter-vehicular communications. Wireless Networks. 28. 10.1007/s11276-021-02830-9.
8. Hadidjaja, D & Wisaksono, Arief & Ahfas, A & Syahririni, S & Untariningsih, D. (2021). Bluetooth implementation on automation of Android-based gate doors. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1098. 042061. 10.1088/1757-899X/1098/4/042061.
9. Gaitan, Nicoleta-Cristina & Ungurean, Ioan. (2021). BACnet Application Layer over Bluetooth—Implementation and Validation. Sensors. 21. 538. 10.3390/s21020538.
10. Padiya, Sagar & Gulhane, Vijay. (2022). Analysis of Bluetooth Versions (4.0, 4.2, 5, 5.1, and 5.2) for IoT Applications. 10.4018/978-1-7998-6988-7.ch010.
11. Stirparo, Pasquale & Loeschner, Jan. (2013). Secure Bluetooth for Trusted m-Commerce. Int'l J. of Communications, Network and System Sciences. 6. 277. 10.4236/ijcns.2013.66030.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-07>

УДК 612.087.1

Ткачук Анатолій Анатолійович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9085-7777>

Свіржевський Костянтин Миколайович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-8738-8436>

Грисюк Ольга Анатоліївна, аспірант

<https://orcid.org/0000-0001-8250-4576>

Трохимчук Іванна Михайлівна, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-0737-6452>

Ткачук Валентина Вікторівна, аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-3296-3111>

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ІНТЕРФЕЙСІВ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Ткачук А.А., Свіржевський К.М., Грисюк О.А., Трохимчук І.М., Ткачук В.В. Аналіз інтерфейсів мереж та систем промислового Інтернету речей. Концепція Інтернету речей (IoT), передбачає активне впровадження вбудованих технологій в сучасні інфокомунікаційні мережі зв'язку. Дана концепція охоплює все більше число областей людської життєдіяльності. В рамках концепції IoT розвивається напрямок - промисловий Інтернет речей (Industrial Internet of Things – IIoT), який охоплює питання створення гетерогенної інтелектуальної системи автоматизації роботи промислових об'єктів та підприємств. Системи IIoT використовуються в різних областях виробництва, таких як інтелектуальне виробництво, сільське господарство, виробництво електронних пристроїв, машинобудування, виробництво верстатів, автоматизація збору та обліку даних тощо. Відповідно до ITU-T Y.4003 «Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things», IIoT – це концепція перетворення промисловості, яка використовує для цього існуючі і нові інформаційні та телекомунікаційні технології і заснована на концепції Інтернету речей. В рамках концепції IIoT проводиться автоматизація роботи промислового обладнання, розрахунки економічних показників, забезпечення безпеки працівників. Основною відмінністю систем цього типу є їх тісний контакт з хмарними технологіями і використання систем здатних самостійно навчатися та створювати нейронні зв'язки для поточної оцінки роботи підприємства та планування його розвитку.

Ключові слова: контроль, моніторинг, архітектура, додаток, протокол, база даних, Industrial Internet of Things.

Ткачук А.А., Свіржевський К.М., Грисюк О.А., Трохимчук І.М., Ткачук В.В. Анализ интерфейсов сетей и систем промышленного Интернета вещей. Концепция Интернета вещей (IoT), предполагает активное внедрение встроенных технологий в современные инфокоммуникационные сети связи. Данная концепция включает все большее число областей человеческой жизнедеятельности. В рамках концепции IoT развивается направление – промышленное Интернет вещей (Industrial Internet of Things – IIoT), которое охватывает вопросы создания гетерогенной интеллектуальной системы автоматизации работы промышленных объектов и предприятий. Системы IIoT используются в различных областях производства, таких как интеллектуальное производство, сельское хозяйство, производство электронных устройств, машиностроение, производство станков, автоматизация сбора и учета данных. Согласно ITU-T Y.4003 «Overview of smart manufacturing in the context of the industrial things», IIoT – это концепция преобразования промышленности, использующая для этого существующие и новые информационные и телекоммуникационные технологии и основанная на концепции Интернета вещей. В рамках концепции IIoT производится автоматизация работы промышленного оборудования, расчет экономических показателей, обеспечение безопасности работников. Основным отличием систем этого типа является их тесный контакт с облачными технологиями и использование систем, способных самостоятельно учиться и создавать нейронные связи для текущей оценки работы предприятия и планирования его развития.

Ключевые слова: контроль, мониторинг, архитектура, приложение, протокол, база данных, Industrial Internet of Things.

Tkachuk A.A., Svirzhevsky K.M., Grisyuk O.A., Trokhimchuk I.M., Tkachuk V.V. Analysis of network interfaces and industrial Internet of things systems. The concept of the Internet of Things (IoT) involves the active introduction of embedded technologies in modern infocommunication networks. This concept includes an increasing number of areas of human life. Within the framework of the IoT concept, a direction is being developed - the Industrial Internet of Things (IIoT), which covers the issues of creating a heterogeneous intelligent system for automating the operation of industrial facilities and enterprises. IIoT systems are used in various areas of production, such as smart manufacturing, agriculture, electronic device manufacturing, mechanical engineering, machine tool manufacturing, automation of data collection and accounting. According to ITU-T Y.4003 "Overview of smart manufacturing in the context of the industrial things", IIoT is the concept of industrial transformation, using existing and new information and telecommunication technologies for this, and based on the concept of the Internet of things. As part of the IIoT concept, industrial equipment operation is automated, economic indicators are calculated, and worker safety is ensured. The main difference between systems of this type is their close contact with cloud technologies and the use of systems that can independently learn and create neural connections for the current assessment of the enterprise and planning its development.

Keywords: control, monitoring, architecture, application, protocol, database, Industrial Internet of Things.

Постановка наукової проблеми.

Впровадження технологій, які відносяться до ІоТ, пов'язане з проблемами інтеграції цих технологій з застарілими рішеннями для промислової автоматизації та з недоскональностями систем автоматизації на підприємствах [1]. Рішення даних проблем полягає в розробці єдиних технологічних стандартів для інтеграції систем промислової автоматизації, обладнання, що не має цифрових інтерфейсів управління, з системами ІоТ [2]. На промислових підприємствах існує ряд напрямків, робота яких підлягає автоматизації. Крім очевидної автоматизації роботи виробничого устаткування (фрезерні верстати, токарні верстати, зварювальне обладнання, промислові маніпулятори), існує ряд напрямків, які підлягають автоматизації в рамках підприємства і пов'язаних з безпекою та діяльністю [3]. В якості основних сегментів автоматизації доцільно виділити наступні області:

1. Автоматизація роботи виробничого обладнання дозволяє автоматизувати повсякденні операції, які виконує людина: збирати інформацію про стан обладнання від вбудованих датчиків, проводити аналіз отриманого значень і на основі результатів аналізу давати рекомендації по експлуатації обладнання. Для такого випадку автоматизації необхідно розробити і реалізувати сценарії підключення різних типів обладнання до систем ІоТ :

- обладнання, що не має цифрових систем контролю роботи;
- обладнання, що не має вбудованої підтримки мережевої взаємодії зі сторонніми промисловими системами, такими як OPC UA, SCADA;
- устаткування, що підтримує взаємодію з промисловими системами контролю роботи обладнання.

2. Автоматизація моніторингу та управління станом продукції підприємства. Моніторинг стану продукції підприємства дозволяє оцінити реальні експлуатаційні характеристики продукції і дозволяє контролювати технологічні процеси її виробництва, в залежності від результатів аналізу даних моніторингу.

3. Автоматизація роботи бізнес-додатків, таких як системи планування ресурсів підприємства (ERP), управління взаємодії з клієнтами (CRM), управління життєвим циклом продукту (PLM), виконання виробничих процесів (MES), управління людськими ресурсами (HRM). Збір і акумуляція даних з бізнес-додатків в єдину систему моніторингу та управління промисловим підприємством на основі ІоТ дозволяє зробити комплексну оцінку роботи підприємства з точки зору економічної рентабельності і генерувати рекомендації з економічного планування та логістики.

4. Автоматизація роботи мультимедійних систем моніторингу безпеки промислового підприємства. Такі системи у формі відеомоніторингу, використовуються для контролю дотримання правил забезпечення безпеки працівників підприємства і контролю доступу на територію. Інтеграція цього типу обладнання з системами ІоТ дозволяє забезпечити надійну ідентифікацію, аутентифікацію і авторизацію персоналу підприємства і безперервний контроль дотримання техніки безпеки в виробничих приміщеннях.

5. Системи локального і глобального позиціонування можуть використовуватися для збору даних про місцезнаходження того чи іншого об'єкта на території підприємства. Їх впровадження в системи ІоТ дозволяє відстежувати місцезнаходження і технічний стан обладнання або продукції і на основі отриманої інформації створювати рекомендації по експлуатації обладнання або продукту, а також розробляти інженерні методики управління життєвим циклом продукції.

6. Автоматизація збору і аналіз даних з відкритим доступом з мережі Інтернет. Отримана інформація може використовуватися для вирішення завдань позиціонування промислових систем, для взаємодії з клієнтами підприємства, для збору статистики про функціональні якості готової продукції. Таким чином інтеграція систем ІоТ є стратегічним завданням розвитку промисловості, але для цього потрібно виконання ряду заходів з розроблення нормативної бази та гармонізації існуючих стандартів.

Аналіз досліджень.

Технології ІоТ є складовою частиною концепції ІоТ, і перед описом існуючих еталонних архітектур ІоТ доцільно розглянути загальну еталонну архітектуру ІоТ, яка регламентується стандартом ІТУ-Т Y.4000 / Y.2060 «Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models», зображену на рис. 1 [4].

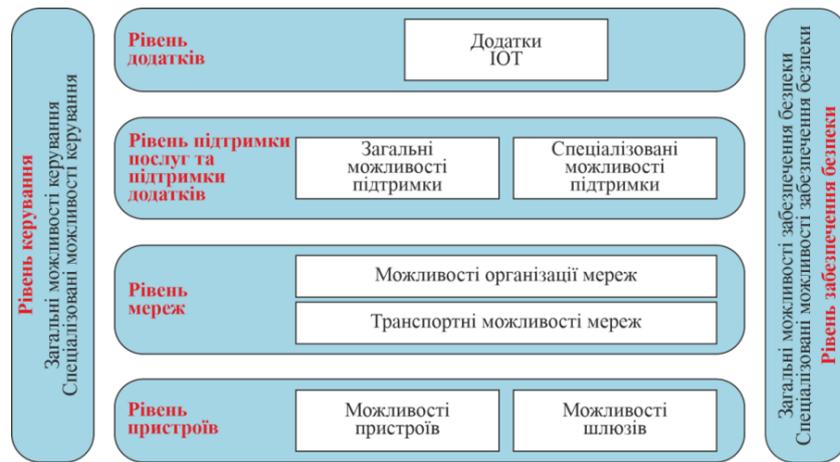


Рис. 1. Класична архітектура ІоТ

Дана архітектура складається з чотирьох функціональних і двох не функціональних рівнів. У число функціональних входять такі рівні:

1. Рівень додатків, що включає в себе програмне забезпечення кінцевих пристроїв, серверів, шлюзів та інших елементів мереж ІоТ.

2. Рівень підтримки послуг і підтримки додатків, включає в себе наступні елементи:

- Загальні можливості підтримки, які можуть бути використані різним програмним забезпеченням ІоТ, таким як системи управління базами даних або системи аналізу даних. Дані можливості можуть бути використані для забезпечення підтримки спеціалізованих можливостей підтримки.

- Спеціалізовані можливості підтримки, які призначені для задоволення вимог різних комплексних програмних систем.

3. Рівень мережі включає в себе наступні елементи:

- Можливості організації мереж, які надають функції управління мережевими з'єднаннями, такими як функції управління доступом, транспортним ресурсом, мобільністю, функціями ААА (аутентифікація, авторизація, облік мережесих ресурсів).

- Можливості транспортування, надають сполуки для передачі інформації по мережах у вигляді пакетів даних, що відносяться до послуг і додатків ІоТ, а також передачі керуючих повідомлень.

4. Рівень пристрою, включає в себе наступні елементи:

- Пропускна здатність включають в себе наступні функції:

А) Пряма взаємодія з мережею зв'язку. Пристрої ІоТ здатні відправляти інформацію безпосередньо, без використання можливостей шлюзів ІоТ, з мереж зв'язку загального користування (МЗК) і отримувати інформацію з МЗК.

В) Непряма взаємодія з мережею зв'язку. Пристрої ІоТ здатні відправляти інформацію в МЗК непрямо, за допомогою можливостей шлюзів ІоТ і отримувати інформацію з МЗК.

С) Організація спеціальних мереж. Пристрої ІоТ можуть підтримувати можливість будувати мережі довільним, динамічним способом.

Д) Сплячий режим і пробудження. Пристрої ІоТ можуть підтримувати вискоєфективні енергозберігаючі механізми (такі як «глибокий сон») і можливості їх пробудження.

- Можливості шлюзу включають в себе наступні функції:

А) Підтримку множин мережесих інтерфейсів. Шлюз ІоТ може підтримувати відразу кілька провідних і бездротових технологій для передачі даних між пристроями ІоТ на каналному (CAN, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi) і мережевому (2G, 3G, 4G, 5G, DSL, супутникові мережі) рівнях.

В) Підтримку перетворення протоколів. Шлюз ІоТ повинен забезпечувати можливість взаємодії пристроїв ІоТ шляхом взаємного перетворення мережесих повідомлень на каналному, мережевому, транспортному і прикладному рівнях.

До числа не функціональних входять такі рівні:

1. Рівень управління. Системи ІоТ повинні надавати методи управління мережами зв'язку ІоТ, забезпечувати обробку виникаючих помилок, облік мережесих ресурсів, надання звітів про роботу мережевого обладнання. Найважливішими функціями даного рівня є:

- Управління пристроями ІоТ: діагностика, дистанційне керування активацією і деактивацією пристроїв, оновлення програмного забезпечення пристроїв, управління станом пристроїв.

- Управління структурою локальної мережі IoT.
- Управління трафіком і перевантаженнями: виявлення перевантажень, їх причинг, резервування ресурсів.

2. Рівень забезпечення безпеки. Системи IoT повинні включати в себе основні загальні можливості забезпечення безпеки передачі призначених для користувача даних і підтримку опціональних спеціальних методів забезпечення безпеки мережі. Найважливішими функціями даного рівня є:

- На прикладному рівні: аутентифікація, авторизація, захист конфіденційності і цілісності даних додатків, захист недоторканності призначених для користувача даних, контроль безпеки і антивірусний захист.
- На рівні мережі: аутентифікація, авторизація, захист конфіденційності і цілісності даних про роботу мережі і сигналізації, а також захист цілісності даних сигналізації.
- На рівні пристрою: аутентифікація, авторизація, захист конфіденційності і цілісності даних про пристрій, управління доступом.

На основі еталонної архітектури IoT в ІТU-T була розроблена функціональна архітектура систем «smart production», заснована на рішеннях ІoT, описана в стандарті ІТU-T Y.4003 «Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things» і зображена на рис. 2 [2].



Рис. 2. Функціональна архітектура систем ІoT

Представлена на рис. 2 архітектура ділиться на наступні рівні:

1. Рівень управління життєвими циклами. Даний рівень відповідає за управління життєвими циклами роботи підприємства і охоплює системи виробничого підприємства, наприклад системи для проектування, виробництва, управління і технічного обслуговування продукції. В якості основних життєвих циклів підприємства можна виділити наступні:

- Цикл продукту, що включає в себе проектування та розробку відповідної виробничої системи, проектування, розробку, виробництво, тестування, технічне обслуговування продукції, що випускається, використання продукту користувачем, переробку або утилізацію відходів виробництва.
- Цикл виробничої системи, що включає в себе проектування, збір, експлуатацію, технічне обслуговування та виведення з експлуатації всієї виробничої системи.
- Цикл реалізації, що включає в себе функції, пов'язані із взаємодією постачальника і клієнта.
- Інші життєві цикли, які також можуть бути включені в дану систему, при наявності особливих вимог до «smart production».

2. Рівень інтеграції забезпечує інтеграцію всіх ресурсів, систем і процесів, що беруть участь в різних життєвих циклах, пов'язаних з виробництвом продукції, через всі рівні виробничої системи для створення середовища для додатків. Цей рівень включає наступні види інтеграції:

- Вертикальна інтеграція, що відповідає за те, щоб нові технологічні рішення були включені в уже існуючу систему через вищі рівні виробничої системи.
- Горизонтальна інтеграція, що відповідає за те, щоб нові технологічні рішення були інтегровані у вже існуючу систему на одному системному рівні.

• Наскрізна інтеграція, що дозволяє з'єднати кожну фазу життєвого циклу продукту, що виробляється через весь ланцюжок реалізації продукту, в тому числі через різні підприємства.

3. Рівень додатків, який відповідає за реалізацію кінцевих додатків, що застосовуються для вирішення різних завдань. Як приклад можна навести такі програми:

• Інноваційне виробництво є одним з видів «smart production» і включає в себе такі додатки, як віртуальне виробництво, гнучке виробництво і індивідуальне виробництво.

• Обслуговування відповідає за аналіз даних, що надходять від виробничих інструментів, обладнаних різного роду датчиками, які збирають інформацію про поточний стан обладнання, і за прийняття рішень на основі результатів аналізу, що може запобігати збоєм обладнання.

Таким чином, ІТУ-Т не виділяє окрему еталонну архітектуру для опису систем ПоТ, а використовує вже раніше розроблену архітектуру ІоТ, додаючи до неї нові вимоги, пов'язані зі специфікою роботи промислових підприємств.

На відміну від ІТУ-Т ІС виділяє спеціальну еталонну архітектуру ПоТ в стандарті «The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture», що визначає еталонну архітектуру, як результат застосування шаблону архітектури до існуючих систем для управління, ідентифікації, аналізу та рішень загальних архітектурних проблем [5]. Еталонна архітектура може використовуватися як шаблон для конкретної реалізації систем ПоТ під час проектування.

На рис. 3 наведена структура взаємодії між рівнями ПоТ, промисловими секторами і життєвими циклами товарів, тут можна виділити чотири рівні:

1. Рівень бізнес-процесів – включає в себе проблеми визначення зацікавлених сторін, їх завдань, цілей, бізнес-планів при створенні системи ПоТ в її діловому і правовому контексті. Далі на цьому рівні визначається, яким чином система ПоТ досягає цілей, за допомогою зіставлення з основними можливостями системи.

2. Рівень взаємодії – включає в себе проблеми, що виникають в ході використання системи користувачами (людьми або додатками).

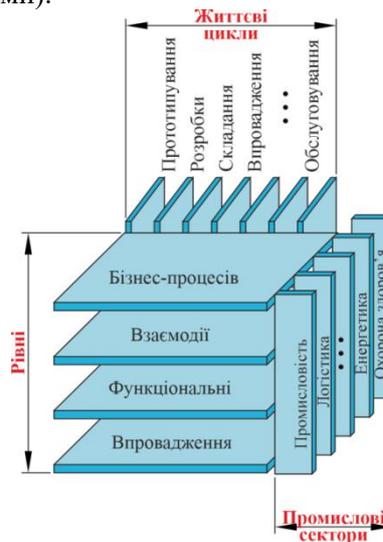


Рис. 3. Загальна структура взаємодії між рівнями ПоТ, промисловими секторами і життєвими циклами товарів

3. Функціональний рівень – включає в себе проблеми, що виникають при роботі різних функціональних компонентів в системах ПоТ, в їх структурі, інтерфейси і механізми взаємодії між ними, а також при взаємодії системи з зовнішніми позасистемними елементами.

4. Рівень впровадження – розглядає проблеми, які пов'язані з роботою технологій, необхідних для реалізації функціональних компонентів (функціональний рівень), структури їх взаємодії і життєвого циклу. Ці компоненти координуються діями користувачів (рівень взаємодії) і підтримкою бізнес-процесів (рівень бізнес-процесів).

Дані рівні можуть бути реалізовані на різних етапах життєвого циклу продукту і можуть бути впроваджені в різні промислові сектори, що і відображено на рис. 3.

Даний документ цікавий тим, що в ньому представлено функціональний рівень. На рис. 4 зображено діаграма потоків даних на функціональному рівні ПоТ, де зелені стрілки позначають інформаційні потоки, червоні – керуючі потоки, а оранжеві – потоки прийняття рішень.

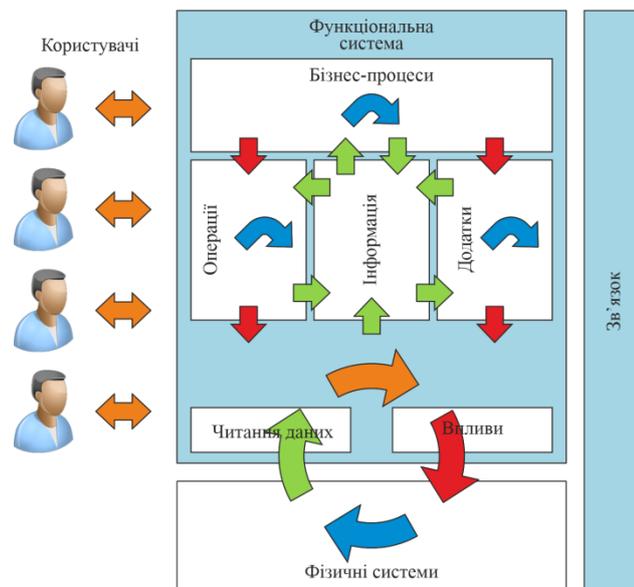


Рис. 4. Діаграма потоків даних на функціональній структурі еталонної архітектури ІоТ

Представлена діаграма (рис. 4) включає в себе наступні області:

1. Управління – це функціональна область, яка використовується для реалізації систем управління пристроями ІоТ. Вона є сукупністю функцій, які виконують промислові системи управління і автоматизації.

2. Операції – це функціональна область, яка використовується для управління додатками та пристроями, які відносяться до групи управління.

3. Інформація – це функціональна область, яка відповідає за обробку даних. Ця область складається з набору функцій для збору даних і різних областей, в першу чергу із області управління і перетворення, зберігання та моделювання або аналізу цих даних, для отримання зразкової інформації про всю систему в цілому.

4. Додатки – це функціональна область, яка використовується для реалізації логіки роботи програми. Ця область включає в себе набір функцій, які реалізують логіку роботи програми, що реалізує бізнес-процеси.

5. Бізнес-процеси – це функціональна область для реалізації логіки роботи бізнес-процесів. Ця область включає в себе функції, які підтримують бізнес-процеси, які система ІоТ повинна підтримувати для забезпечення наскрізних життєвих циклів всередині рішень ІоТ. Наприклад: ERP, CRM, PLM, MES, HRM.

6. Дана функціональна структура розширена областю «Зв'язок», опис якої є в документі «The Industrial Internet of Things Volume G5: Connectivity Framework» [6]. Ця область забезпечує можливість обміну інформацією між елементами в межах однієї функціональної області та між функціональними областями та між іншими системами.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Системи ІоТ регламентуються вимогами до показників надійності доставки повідомлень, внаслідок чого дуже часто розробники систем ІоТ використовують спеціальні галузеві протоколи передачі даних, які використовуються в сфері промислової автоматизації. Для дослідження протоколів передачі ІоТ були обрані такі технології:

- CoAP (Constrained Application Protocol) [7].
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [8].
- XMPP (Controller Area Network) [9].
- HTTP (HyperText Transfer Protocol) [10].
- ModBus [11].
- OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) [12].

CoAP (Constrained Application Protocol) – протокол передачі даних прикладного рівня, заснований на клієнт-серверній архітектурі. CoAP є протоколом стеку TCP/IP, який підтримує протоколи IPv4, IPv6, 6LoWPAN і працює вище транспортного протоколу UDP.

Мережа CoAP має наступні типи пристроїв (рис. 5):

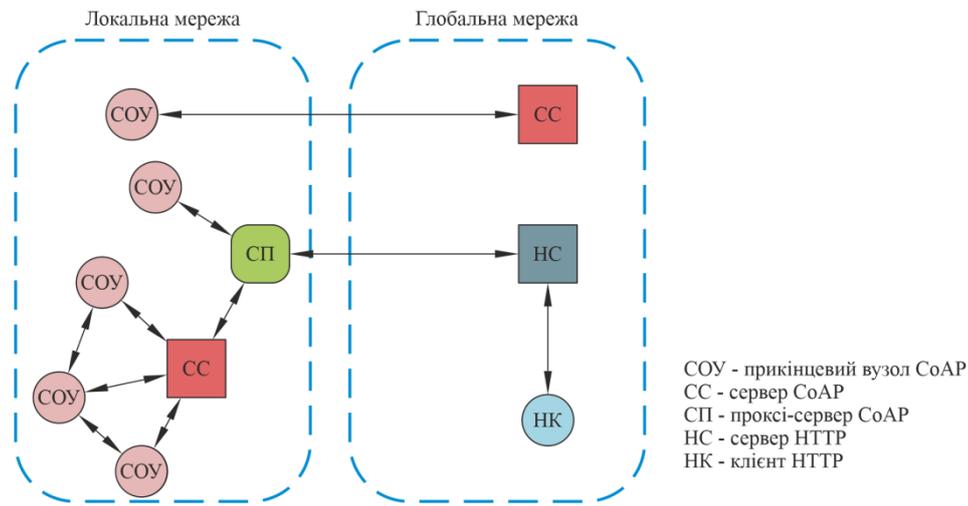


Рис. 5. Архітектура мережі CoAP

- Кінцевий вузол (CoAP Node). Може встановлювати з'єднання з кінцевим вузлом (ПВ), сервером та проксі-сервером CoAP.
- Сервер (CoAP Server). Може встановлювати з'єднання з ПВ, сервером и проксі-сервером CoAP.
- Проксі-сервер CoAP (CoAP Proxy). Може встановлювати з'єднання з ПВ, сервером і проксі-сервером CoAP та з сервером HTTP.

CoAP має два рівня QoS:

- Доставка повідомлень без підтвердження.
- Доставка повідомлень із підтвердженням.

Ці протокол підтримують наступні типи повідомлень:

- GET - запит необхідної інформації у сервера за допомогою формування запиту у рядку URI.
- PUT - відправлення інформації до серверу вказаного в запиті URI.
- POST - відправка інформації до серверу вказаного в запиті URI.
- DELETE - видалення вказаного URI ресурсу.

Для забезпечення безпечної передачі даних протокол CoAP використовує алгоритм DTLS.

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) - протокол передачі даних прикладного рівня, який функціонує на основі принципу «publisher-subscriber». MQTT має низьку обчислювальну складність і тому використовується у вбудованих пристроях, у тому числі пристроях IoT. MQTT є протоколом стеку TCP/IP, підтримує протоколи IPv4, IPv6 та працює поверх транспортного протоколу TCP.

Принцип «publisher-subscriber» реалізовано в MQTT наступним чином (рис. 6) [13]:

1. Видавець встановлює з'єднання з брокером.
2. Далі брокер чекає на запит з'єднання від підписника і при отриманні встановлює його.
3. Потім підписник підписується на певну тему (topic), MQTT-брокер прикріплює цього підписника до цієї теми.
4. Якщо у видавця оновлюється будь-яка інформація, пов'язана з цією темою, видавець автоматично повідомляє це брокеру.
5. Брокер, у свою чергу, передає цю інформацію всім підписаним на цю тему підписникам.

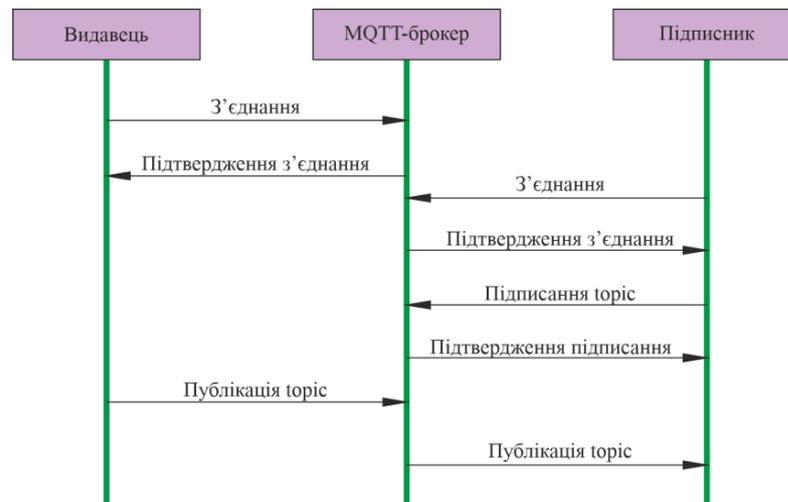


Рис. 6. Принцип взаємодії «видавць - підписник» для MQTT

Цей протокол має три рівні якості обслуговування (Quality of Service):

- Рівень 0 означає, що видавець і брокер намагаються виконати одноразову доставку повідомлення, але для підтвердження доставки використовують лише стандартні процедури підтвердження TCP/IP.
- Рівень 1 означає, що видавець і брокер перевіряють доставку повідомлення і воно може бути відправлено більше одного разу.
- Рівень 2 означає, що видавець і брокер перевіряють доставку повідомлення, що може бути відправлено лише один раз.

Для забезпечення безпеки передачі даних протокол використовується алгоритм SSL/TLS.

XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) - відкритий децентралізований протокол передачі даних прикладного рівня, що спочатку призначений для сервісів миттєвого обміну повідомленнями та функціонує на основі принципу «видавць - підписник» (publisher-subscriber), який використовує формат XMP як основну форму передачі даних. Даний протокол використовується в сфері ІоТ.

XMPP є протоколом стека TCP/IP, підтримує протоколи IPv4, IPv6 та працює поверх транспортного протоколу TCP.

Мережа XMPP має наступні типи пристроїв (рис. 7):

- Сервер XMPP Може встановлювати з'єднання зі шлюзом XMPP та клієнтом XMPP.
- Клієнт XMPP. Може встановлювати з'єднання з сервером XMPP.
- Шлюз XMPP. Може встановлювати з'єднання з сервером XMPP та зовнішніми серверами.

Цей протокол має три рівні якості обслуговування (Quality of Service):

- Без підтвердження доставки.
- З підтвердженням доставки та можливістю багаторазового відправлення пакета.
- З підтвердженням доставки та одноразовою передачею пакета.

Для забезпечення безпеки передачі даних XMPP використовує алгоритм SSL/TLS.

HTTP (HyperText Transfer Protocol) - протокол передачі гіпертекстових даних прикладного рівня, що базується на клієнт-серверній архітектурі. Спочатку використовувався як протокол передачі гіпертекстової інформації, але зараз використовується передачі даних. Основним методом доступу до інформації є адреса ресурсу URI.

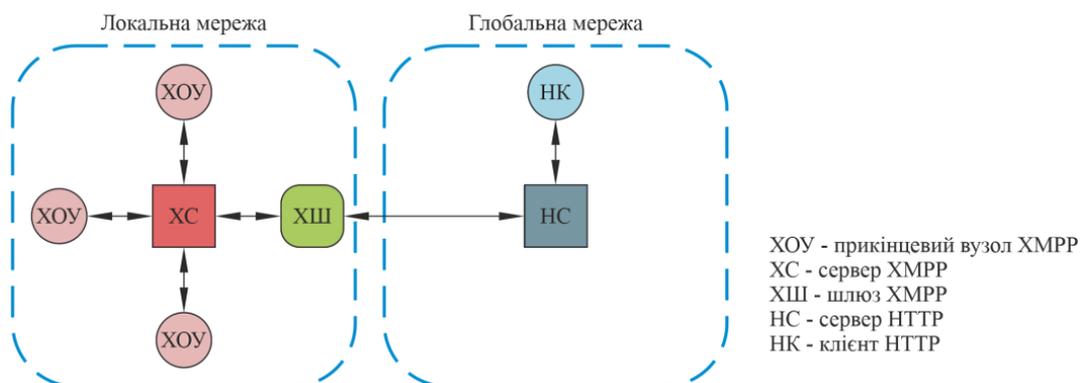


Рис. 7. Архітектура мережі XMPP

HTTP є протоколом стеку TCP/IP, підтримує протоколи IPv4, IPv6 і працює вище транспортного протоколу TCP.

Мережа HTTP має наступні типи пристроїв (рис. 8):

- Сервер HTTP - встановлює з'єднання з клієнтом HTTP.
- Клієнт HTTP - встановлює з'єднання з HTTP-сервером.

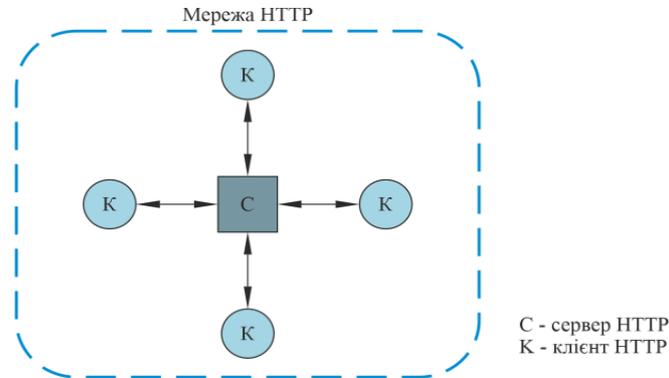


Рис. 8. Архітектура мережі HTTP

Для забезпечення безпеки передачі даних протокол HTTP використовує алгоритм SSL/TLS.

Modbus - відкритий промисловий комунікаційний стандарт, який використовується для передачі даних між електронними пристроями, що функціонує за моделлю взаємодії «ведучий - ведений». Він широко поширений і є одним із найбільш підтримуваних протоколів у промисловому обладнанні. Включає в себе три наступні види:

- Modbus ASCII (Modbus American standard code for information interchange) - різновид протоколу, в якому повідомлення кодуються за допомогою ASCII-символів. Повідомлення розділяються символами «:» і CR/LF. У якості каналу передачі даних використовуються технології для передачі даних через послідовні порти (наприклад, RS-232, RS-485, RS-422).

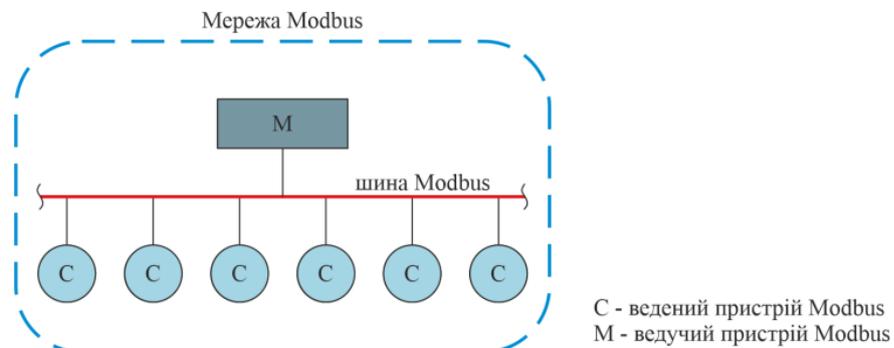


Рис. 9. Архітектура мережі Modbus

- Modbus RTU (Modbus Remote Terminal Unit) - різновид протоколу, в якому повідомлення кодуються в бітовому вигляді. Між собою повідомлення розділяються часовою паузою в 3,5 символи при заданій швидкості передачі. Він являється протоколом передачі в реальному часі. У якості каналу передачі даних використовуються технології для передачі даних через послідовні порти (наприклад, RS-232, RS-485, RS-422).

- Modbus TCP (Modbus over Transmission Control Protocol) - різновид протоколу для передачі повідомлень Modbus RTU поверх повідомлень TCP/IP. У якості каналу передачі даних використовуються технології пакетної передачі даних, що підтримують мережеві протоколи IPv4 і IPv6 (наприклад, Ethernet, WiFi).

З усього ряду протоколів Modbus в рамках ІоТ найбільш часто використовуються протоколи Modbus RTU, Modbus TCP.

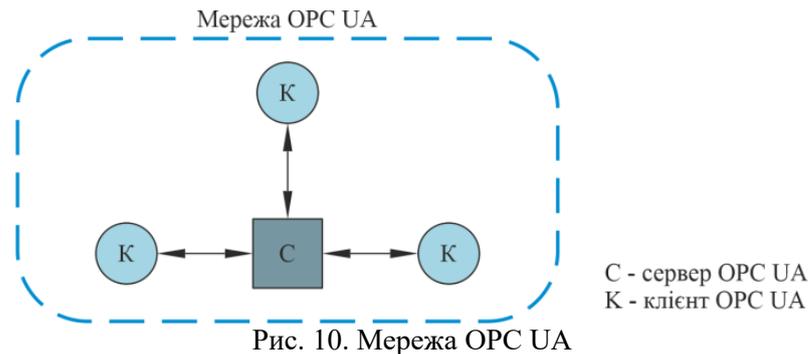
Мережа Modbus має наступні типи пристроїв (рис. 9):

- Ведучий пристрій Modbus (Modbus master) - являється активним пристроєм, встановлює з'єднання з веденими пристроями і виконує управління та збір даних з них.

• Ведений пристрій Modbus (Modbus slave) - являється пасивним пристроєм, очікує з'єднання з ведучим пристроєм і отримує від нього команди управління.

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) - промислова специфікація, яка описує передачу даних в локальних мережах промислових підприємств і взаємодію пристроїв у них між собою. Існує дві специфікації форматів передачі даних для повідомлень OPC UA: найбільш часто використовується бінарний формат і формат SOAP/XML. Передача даних в OPC UA, яка була організована на базі моделей мережевої взаємодії «сервер - клієнт». Цей стандарт активно розвивається в області загального впровадження в рішеннях ІоТ, наприклад, зараз іде активна розробка нової версії стандарту, що підтримує технології синхронізації в мережах зв'язку TSN (Time-Sensitive Networking). Найчастіші рішення OPC UA можна зустріти в різних реалізаціях SCADA-систем.

Мережа OPC UA має наступні типи пристроїв (рис. 10):



- Сервер OPC UA. Являється пасивним устроєм, очікує підключення клієнтів.
- Клієнт OPC UA. Являється активним пристроєм, підключається до сервера і передає керуючі повідомлення та дані за мірою необхідності.

Пропонується використовувати для автоматизації роботи виробничих підприємств, такі як системи Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) [14, 15]. Система SCADA - це програмно-апаратний комплекс, що складається з розрахункового пристрою, який включає в себе різні фізичні інтерфейси для збору даних з промислового обладнання та з програмного забезпечення, що відповідає за взаємодію з обладнанням та обробкою даних, що отримуються від них.

Основне завдання системи SCADA - збір інформації з множини видалених пристроїв, зображення даної інформації в єдиному центрі контролю стану обладнання та при необхідності керування цим обладнанням.

Основні завдання системи SCADA є:

- взаємодія з промисловими розрахунковими пристроями в реальному часі;
- аналіз інформації в реальному часі;
- візуалізація отриманої інформації;
- зберігання інформації від кінцевого обладнання в спеціальних базах даних;
- сигналізація між пристроями в виробничих мережах, в тому числі в аварійних ситуаціях;
- генерація звітів про хід виробничого процесу;
- забезпечення взаємодії з зовнішніми системами (системи управління базами даних (СУБД), сервера).

Система SCADA складається з трьох основних компонентів (рис. 11):

• Віддалений термінал (Remote Terminal Unit – RTU) – підключається до керуючого обладнання здійснює управління та збір даних про його стан у режимі реального часу.

• Головний термінал (Master Terminal Unit – MTU) – здійснює збір даних з віддалених терміналів і забезпечує їх роботу, забезпечує людино-машинну взаємодію, а також управління всією системою.

• Комунікаційна система (Communication system – CS) – використовується для передачі даних між віддаленими та головними терміналами. Для передачі даних можуть використовуватися мобільні мережі, проводові мережі, бездротові мережі, аналогові телефонні лінії, ISDN-мережі.

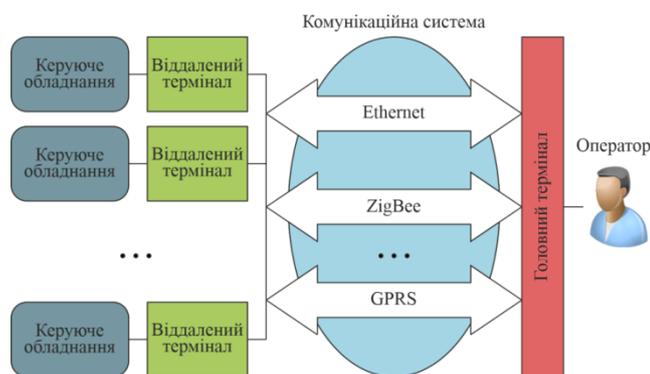


Рис. 11. Структура системи SCADA

Такі системи мають високі вимоги до безпеки та зберігання даних, до часу реакції системи в час аварійних ситуацій, до відмови стійкості та точності роботи. Раніше дані системи функціонували локально, без підключень до мереж зв'язку загального користування (МЗЗК), але постійна конкуренція, що виникає через впровадження нових технологій, змушує промислові підприємства залучати свої системи в загальну централізовану систему через МЗЗК. Для забезпечення безпеки передачі даних та реалізації додаткових алгоритмів аналізу та зберігання даних у рамках ІоТ пропонується використовувати такі технології, як хмарні, граничні та туманні обчислення.

Основною перевагою використання хмарних сервісів є знижене обчислювальне навантаження на обладнання користувача, зручний інструментарій для розробки власних рішень, доступ з будь-якого місця за допомогою МЗЗК.

Зазвичай, коли говорять про «хмарні обчислення», розглядають три типи віддалених послуг:

- Програмне забезпечення як послуга (software-as-a-service – SaaS). Даний тип послуг передбачає надання віддаленого доступу для використання програмного забезпечення, що функціонує на сервері постачальників послуг.

- Платформа як послуга (platform-as-a-service – PaaS). Користувачу надається доступ до віддаленого хмарного серверу для розміщення власного програмного забезпечення та розробки й надання власної віддаленої послуги. Зазвичай до складу таких систем входить певний набір інструментів для розробки програмного забезпечення, в залежності від типу платформ.

- Інфраструктура як послуга (infrastructure-as-a-service – IaaS). Даний тип послуг включає в себе великий набір різного програмного та апаратного забезпечення та дозволяє зробити в МЗЗК повністю робочу мережеву інфраструктуру, яка складається з таких елементів, як сервери обробки даних, бази даних, web-сервери, віртуальні машини.

Незважаючи на можливості, які хмарні сервіси надають своїм користувачам, виникають проблеми, пов'язані з віддаленим розташуванням обслуговуючих серверів. З найбільш поширених проблем слід відзначити:

- Показник мережевої затримки збільшується від розташування користувача від місця розподілу хмарного сервера (наприклад, індикатор мережевої підтримки при використанні web-сервісів Amazon з Європи може досягати значень 100...150 мс, коли для таких видів інформації, як голосова та відеотрафік, мережева затримка не повинна перевищувати 100 мс).

- Залежність користувача від роботи хмарних серверів. У разі неполадок в постачальника або мережевої недоступності рішення користувача, яке було створене на базі хмарного сервера, не буде функціонувати.

- Порушення конфіденційності інформації, особливо у випадку з комерційними підприємствами, у яких одним із важливих пунктів являється нерозголошення інформації про співробітників або клієнтів.

Через ці проблеми постачальники хмарних рішень створювали компромісні рішення, дозволяючи частково або повністю відмовлятися від використання хмарних сервісів.

Одним із таких рішень стала концепція граничних обчислень (edge computing - EC). Дана концепція передбачає використання, спільно з глобальними віддаленими хмарними серверами, локальні сервери для виконання частин функцій хмарних рішень. Наприклад, граничні сервери можуть виконувати функції збору та первинної обробки даних, потім передавати оброблену інформацію на хмарний сервер. Дане рішення зберігає переваги використання хмарних серверів для віддаленого користування, віддаленого моніторингу та управління з будь-якої точки мережі і в цей час дозволяє реалізувати локальну систему, частково або повністю незалежну від хмарної

платформи, наприклад, в області зберігання персональних даних, аварійної локальної роботи в разі втрати працездатності хмарного сервісу, виконання окремих чутливих для затримки задач.

Інша технологія, яка є розвитком ідей граничних обчислень застосовується до таких технологій, як 5G/ІМТ-2020, машинне навчання та ІоТ має назву «туманні розрахунки» (fog computing – FC). Дана технологія розвивається на базі груп стандартів OpenFog, що описують розподільну мережеву інфраструктуру, яка буде використовуватися розрахунковими можливостями кожного пристрою, підключеного до мережі для виконання різних завдань. Ця технологія використовує для розрахункових систем як хмарні і граничні сервери, так і кінцеві пристрої користувачів. Дане рішення було обґрунтовано появою і розвитком концепції ІоТ і активним розвитком ідей аналізу великих масивів даних (big data - BD) і машинного навчання (machine learning - ML), яке являється на сьогодні одним із самих поширених технологій в області штучного інтелекту.

Однією з причин появи цієї концепції є побоювання, що у разі збільшення частки міжмашинного трафіку, характерного для дедалі більшого числа пристроїв ІоТ, у глобальній мережі та використанні методів штучного інтелекту для їх обробки сучасні технології не дозволять виробляти необхідної кількості електроенергії, тому ця концепція передбачає енергоефективне використання всіх обчислювальних пристроїв у МЗЗК для інтелектуальної розподіленої обробки даних. На даний момент «fog computing» - можна виокремити як найбільш актуальний напрямок розвитку хмарних обчислень.

Туманні обчислення успадковують переваги таких технологій, як хмарні та граничні обчислення, але також вирішують безліч інших проблем, таких як:

- неефективне енергоспоживання;
- стандартизовано взаємодію із системами інтелектуальної обробки даних (або системами штучного інтелекту);
- впроваджено технології розподілених обчислень, розроблено систему управління цією процедурою;
- на базі даної технології можлива реалізація багаторівневої системи доступу до послуги через взаємодію групи серверів, що знаходяться на різних рівнях мережевої інфраструктури (на стороні постачальника послуги, на стороні магістрального провайдера, на стороні провайдера доступу до мережі Інтернет, на стороні користувача послуги).

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Як системи зберігання даних на промислових підприємствах доцільно застосовувати бази даних реального часу (БДРЧ). Дані системи відрізняються від традиційних систем управління базами даних (СУБД) тим, що дані системи мають високу швидкість виконання операцій, пов'язаних із записом, читанням та виправленням даних, що зберігаються, оптимізовані на роботу з високошвидкісним апаратним забезпеченням і дозволяють працювати з величезними обсягами даних в рамках однієї бази даних (БД).

Бази даних реального часу повинні враховувати такі аспекти:

- Паралельна обробка. БДРЧ має забезпечувати паралельну обробку даних із різних джерел.
- Розподіл БДРЧ має бути динамічно розширюваним та підтримувати розподілене зберігання та пошук даних, а також обробку запитів.
- Логічна узгодженість даних БДРЧ повинна підтримувати функції логічного узгодження даних за різними типами пристроїв та їх призначенням, форматами даних, місцезнаходженням та ін.
- Часова узгодженість БДРЧ повинна забезпечувати тимчасову узгодженість як часу обробки операцій, так і тимчасову узгодженість даних.
- Черговість та обробка операцій БДРЧ повинна забезпечувати сувору послідовність обробки операцій та даних, що надходять із різних джерел.
- Керування потоками вводу/виводу та чергами обробки даних БДРЧ повинна динамічно підлаштовуватися під потоки даних, що надходять, і мати функції їх перерозподілу на інші потоки вводу/виводу, а також керувати чергами обробки даних.

Усі операції БДРЧ належать до трьох наступних типів запитів:

- запис даних у БД;
- читання даних із БД;
- оновлення змісту БД.

Також операції БДРЧ мають різні ступені якості обслуговування різних операцій і пристроїв у межах систем ІоТ. Зокрема, можна навести такі показники якості обслуговування:

- Жорсткий реальний час. Операція має найвищий пріоритет та має критичне значення для стабільності роботи системи.

- М'який реальний час. Ця операція завжди буде виконана один раз, навіть за умови її пізнього надходження.

- Толерантні до втрат. Ця операція після закінчення терміну, відведеного на її обробку, може бути відкинута з черги виконання.

Як приклади БДРЧ можна навести такі системи: IndustrialSQL Server, Wonderware Historian Server, RiakKV/RiakTS, OracleDB, RedisDB.

Проте якщо паралельно з базами даних реального часу застосувати системи допомоги прийняття рішень (СДПР, Decision Support System) – автоматизовані комп'ютерні системи, які використовуються для допомоги людям, відповідальним за прийняття рішень у складних умовах, коли оператор не може самостійно прийняти раціональне, обґрунтоване рішення за короткий проміжок часу підходи до керування проектами набувають нового розвитку та продуктивності.

Величезна кількість даних, що генеруються системами ПоТ, не можуть бути оброблені оператором системи у реальному часі. За обробку даних та їх подання у зручному для оператора вигляді відповідають системи СДПР. Оскільки аналіз такого обсягу даних від множин різних типів пристроїв у ПоТ є складним розрахунковим завданням, для допомоги у прийнятті рішень у рамках промислових підприємств пропонується використовувати більш сучасний вид систем допомоги прийняття рішень - інтелектуальні системи допомоги прийняття рішень (ІСДПР). ІСДПР відрізняються від систем СДПР тим, що дані системи використовують методи аналізу великих обсягів інформації, машинного навчання та моделювання процесів у реальному часі для допомоги прийняття рішення оператором системи, у разі потреби. Одним із найважливіших елементів ІСДПР є напрямок машинного навчання.

Машинне навчання (МН, Machine Learning) - це напрям в інформаційних технологіях, що відповідає за інтелектуальний аналіз інформації і заснований на застосуванні алгоритмів, що самонавчаються. Навчання систем МН відбувається в такий спосіб – на вхід системи надходить інформація, аналіз якої відповідає ядру системи МН (алгоритм обробки даних, наприклад багатоплановий перцептрон, метод опорних векторів, логістична регресія).

В даний час йде активний розвиток та впровадження такого класу пристроїв у мережах ІоТ та ПоТ, як шлюзів. Дані пристрої відповідають за забезпечення взаємодії специфічних технологій зв'язку та передачі даних ПоТ, як між собою, так і з МЗЗК. Існує ціла низка рішень, призначених для підключення пристроїв ПоТ в мережеву інфраструктуру промислових підприємств. Наприклад, до шлюзів ПоТ входять такі пристрої: Dell Edge Gateway 3001, ADLINK MXE-101i, NEXCOM NIO-100, ICP DAS UA-5231. Таким чином було проведено дослідження концепції ПоТ та перспектив її розвитку. Розроблено класифікацію сфер автоматизації для промислових підприємств у рамках впровадження систем ПоТ. Проведено огляд існуючих на даний момент міжнародних стандартів у галузі ПоТ з архітектурами систем ПоТ, розглянуто підходи до їх реалізації. Досліджено існуючі рішення, що реалізують функції гетерогенного шлюзу у межах мережевої інфраструктури промислових підприємств.

Список бібліографічного опису

1. Bakhovskyy, P., Yevsiuk, M., Zabolotnyi, O., Cagánová, D., Tkachuk, A.: Stages of the Virtual Technical Functions Concept Networks Development. In: D. Cagánová et al. (eds.), *Advances in Industrial Internet of Things, Engineering and Management, EAI / Springer Innovations in Communication and Computing*, pp. 119-135 (2021) https://doi.org/10.1007/978-3-030-69705-1_7
2. ITU-T Y.4003. Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things. - Введ. 2018-06-29. - 26 с.
3. Kostiuchko, S., Polishchuk, M., Zabolotnyi, O., Tkachuk, A., Twarog, B.: The Auxiliary Parametric Sensitivity Method as a Means of Improving Project Management Analysis and Synthesis of Executive Elements. In: Miraz M.H., Southall G., Ali M., Ware A., Soomro S. (eds) *Emerging Technologies in Computing. iCETiC 2021. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 395 pp 174-184 Springer, Cham (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-90016-8_12
4. ITU-T Y.4000/Y.2060. Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. - Введ. 2012-06-15. - 22 с.
5. ІС. The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. Version 1.9. June 19, 2019 – 58 p.
6. ІС. The Industrial Internet of Things. Volume G5: Connectivity Framework. ІС: PUB:G5:V1.0:PB:20170228 – 129 p.
7. IETF RFC 7252. The Constrained Application Protocol (CoAP). - Введ. 2014-06.
8. Kim, S.-M. IoT home gateway for auto-configuration and management of MQTT devices / S.-M. Kim, H.-S. Choi, W.-S. Rhee // in *Proceedings of the IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe 15)*. - 2015. - PP. 12–17. - <https://doi.org/10.1109/ICWISE.2015.7380346>.

9. Селезнев, С. П. Архитектура промышленных приложений IoT и протоколы AMQT, MQTT, JMS, REST, CoAP, XMPP, DDS / С. П. Селезнев, В. В. Яковлев // International journal of open information technologies. - Т. 7. - № 5. - 2019. - 115 с. - С. 17–28.
10. Yokotani, T. Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT / T. Yokotani, Y. Sasaki // 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC). - 2017. - <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2016.7814989>.
11. W. You and H. Ge, "Design and Implementation of Modbus Protocol for Intelligent Building Security," 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT), 2019, pp. 420-423, <https://doi.org/10.1109/ICCT46805.2019.8946996>.
12. A. Veichtlbauer, M. Ortmayr and T. Heistracher, "OPC UA integration for field devices," 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2017, pp. 419-424, <https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104808>.
13. Toroshanko, Y., Selepyna, Y., Yakymchuk, N., Cherevyk, V.: Control of Traffic Streams with the Multi-Rate Token Bucket. International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019. pp. 352-355, (2019). <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847860>
14. M. M. Ahmed and W. L. Soo, "Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA) based customized Remote Terminal Unit (RTU) for distribution automation system," 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008, pp. 1655-1660, <https://doi.org/10.1109/PECON.2008.4762744>.
15. ITU-T Y.4101/Y.2067. Internet of things and smart cities and communities – Requirements and use cases. - Введ. 2017-10-29. - 26 с.

References

1. Bakhovskyy, P., Yeysiuk, M., Zabolotnyi, O., Cagaňová, D., Tkachuk, A.: Stages of the Virtual Technical Functions Concept Networks Development. In: D. Cagaňová et al. (eds.), Advances in Industrial Internet of Things, Engineering and Management, EAI / Springer Innovations in Communication and Computing, pp. 119-135 (2021) https://doi.org/10.1007/978-3-030-69705-1_7
2. ITU-T Y.4003. Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things. - Введ. 2018-06-29. - 26 с.
3. Kostiuchko, S., Polishchuk, M., Zabolotnyi, O., Tkachuk, A., Twarog, B.: The Auxiliary Parametric Sensitivity Method as a Means of Improving Project Management Analysis and Synthesis of Executive Elements. In: Miraz M.H., Southall G., Ali M., Ware A., Soomro S. (eds) Emerging Technologies in Computing. iCETiC 2021. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 395 pp 174-184 Springer, Cham (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-90016-8_12
4. ITU-T Y.4000/Y.2060. Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. - Введ. 2012-06-15. - 22 с.
5. IIC. The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. Version 1.9. June 19, 2019 – 58 p.
6. IIC. The Industrial Internet of Things. Volume G5: Connectivity Framework. IIC:PUB:G5:V1.0:PB:20170228 – 129 p.
7. IETF RFC 7252. The Constrained Application Protocol (CoAP). - Введ. 2014-06.
8. Kim, S.-M. IoT home gateway for auto-configuration and management of MQTT devices / S.-M. Kim, H.-S. Choi, W.-S. Rhee // in Proceedings of the IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe 15). - 2015. - PP. 12–17. - <https://doi.org/10.1109/ICWISE.2015.7380346>.
9. Seleznev, S. P. Arkhitektura promyshlennykh prilozheniy IoT i protokoly AMQT, MQTT, JMS, REST, CoAP, XMPP, DDS / S. P. Seleznev, V. V. Yakovlev // International journal of open information technologies. - Т. 7. - № 5. - 2019. - 115 p. - P. 17–28.
10. Yokotani, T. Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT / T. Yokotani, Y. Sasaki // 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC). - 2017. - <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2016.7814989>.
11. W. You and H. Ge, "Design and Implementation of Modbus Protocol for Intelligent Building Security," 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT), 2019, pp. 420-423, <https://doi.org/10.1109/ICCT46805.2019.8946996>.
12. A. Veichtlbauer, M. Ortmayr and T. Heistracher, "OPC UA integration for field devices," 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2017, pp. 419-424, <https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104808>.
13. Toroshanko, Y., Selepyna, Y., Yakymchuk, N., Cherevyk, V.: Control of Traffic Streams with the Multi-Rate Token Bucket. International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019. pp. 352-355, (2019). <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847860>
14. M. M. Ahmed and W. L. Soo, "Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA) based customized Remote Terminal Unit (RTU) for distribution automation system," 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008, pp. 1655-1660, <https://doi.org/10.1109/PECON.2008.4762744>.
15. ITU-T Y.4101/Y.2067. Internet of things and smart cities and communities – Requirements and use cases. - Введ. 2017-10-29. - 26 с.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-08>

УДК 004.02

Кошель Архип Володимирович, магістр, розробник програмного забезпечення
Товариство з обмеженою відповідальністю "Арткай"

<https://orcid.org/0000-0003-1099-0995>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У КОНСТРУКТОРСЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Кошель А. В. Перспективні напрямки застосування нейронних мереж у конструкторській діяльності. У статті описано перспективні напрямки застосування нейронних мереж у конструкторській діяльності. Наголошено, що в умовах сьогодення нейромережеві технології знайшли застосування в економіці, медицині, промисловості, багатьох інших галузях науки і техніки, здатні вирішувати практично будь-які завдання, пов'язані з моделюванням, прогнозуванням, оптимізацією. Наголошено на проблематиці дослідження, підкреслено, що виробничі процеси характеризуються величезним розмаїттям динамічно взаємодіючих параметрів і зазвичай надто складні до створення адекватних аналітичних моделей, а у деяких випадках вдалі з погляду адекватності описуваному процесу аналітичні математичні моделі виявляються неспроможними через високі вимоги до обчислювальної потужності. Запропоновано дві моделі нейронних мереж: глибока нейронна мережа та згортоква нейронна мережа, робота яких направлена на використання у конструкторській діяльності яка спрямована на проектування лонжерону автомобіля. Описано та схематично запропоновано блок-схему зворотного проектування профілів лонжеронів, а також сформовано багатопшарову архітектуру згорткової нейронної мережі, яка використовується у конструкторській діяльності, яка складається із згорткового шару, шару об'єднання та повністю пов'язаного шару та сформовано архітектуру глибокої нейронної мережі, яка використовується у конструкторській діяльності направленої на проектування лонжерону автомобіля. Наголошено, що на відміну від моделі згорткової нейронної мережі, дані навантаження розглядаються як ціле, а не поділяються на статичні та динамічні, а зворотне проектування з використанням глибокої нейронної мережі здійснюється за допомогою стандартних бібліотек. Підкреслюється, що нейромережеві технології можуть бути корисними при створенні набору базових програмних моделей-блоків, наділених певними властивостями, що відповідають деяким реальним процесам або явищам, для подальшого їх комбінування в більш складних системах конструювання. Причому найскладніша частина такого набору модулів це саме середовище взаємодії таких блоків, яке у перспективі також може бути побудовано на основі нейронних мереж.

Ключові слова: згортоква нейронна мережа, глибока нейронна мережа, параметри, проект, конструкторська діяльність, машинобудування, збірка.

Koshel Arkhpy. Promising directions of application of neural networks in design activity. The article describes promising areas of application of neural networks in design activities. It is emphasized that in today's conditions neural network technologies have found application in economics, medicine, industry, and many other fields of science and technology, capable of solving almost any problem related to modeling, forecasting, optimization. Emphasis is placed on the research issues, emphasizing that production processes are characterized by a huge variety of dynamically interacting parameters and are usually too difficult to create adequate analytical models, and in some cases successful in terms of adequacy of the described process analytical mathematical models fail due to high computing power requirements. Two models of neural networks are proposed: deep neural network and convolutional neural network, the work of which is aimed at use in design activities aimed at designing a car spar. Describes and schematically proposes a block diagram of the reverse design of spar profiles, as well as formed a multilayer architecture of convolutional neural network used in design activities, consisting of convolutional layer, union layer and fully connected layer and formed deep neural network architecture, which is used in design activities aimed at designing a car spar. It is emphasized that, in contrast to the model of convolutional neural network, these loads are considered as a whole, not divided into static and dynamic, and reverse design using a deep neural network is carried out using standard libraries. It is emphasized that neural network technologies can be useful in creating a set of basic software unit models, endowed with certain properties that correspond to certain real processes or phenomena, to further combine them in more complex design systems. Moreover, the most complex part of such a set of modules is the very environment of interaction of such blocks, which in the future can also be built on the basis of neural networks.

Key words: convolutional neural network, deep neural network, parameters, project, design activity, mechanical engineering, assembly.

Вступ та постановка завдання. Конструкторська діяльність нині розвивається швидкими темпами. У даному напрямку впроваджуються новітні схеми та механізми здійснення конструювання та проектування того чи іншого елемента збірки. Масштабно конструкторська діяльність розвинена на машинобудівних та авіобудівних підприємствах, підприємствах робота яких спрямована на випуск електротехніки та засобів масової комунікації, тощо.

У більшості випадках, у процесі проектування форма заготовки змінюється ітеративно, що призводить до необхідності оптимізації однієї або кількох цільових функцій, які відповідають за зниження або підвищення тиску, підвищення ефективності, або задовольняючи певні конструктивні обмеження закладені у конструкторській документації. Один з методів, який прискорює цей процес метод зворотного проектування. В цьому методі, конструктор задає потрібну мету; наприклад встановлює граничний тиск розподілу за профілем; та створює

оптимізований профіль необхідної форми. Загалом, процеси оптимізації діляться на градієнтні та безградієнтні алгоритми. Безградієнтні алгоритми можуть досягати глобально оптимального рішення, але вимагають тривалішого часу збіжності та за своєю суттю є набагато складніші у виконанні. Алгоритми на основі градієнта підходять для проектування форм, які перебувають у безперервному виробництві.

Останнім часом методи глибокого навчання набирають популярності порівняно зі звичайними методами проектування. Стратегії машинного навчання використовуються для зворотного проектування, оскільки вони забезпечують швидку, точну та надійну структуру проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах сучасного розвитку, актуальності набувають роботи направлені на впровадження штучного інтелекту у різні сфери людської діяльності з метою вдосконалення існуючої системи. Вчені підходять до розгляду основних аспектів автоматизації, пропонуючи нові методи та алгоритми, для підвищення продуктивності та скорочення часу виконання технологічного процесу.

О. А. Гавриш та С. В. Салоїд [1] розкрили питання використання теорії штучних нейронних мереж для оцінки результатів управлінських дій на економічну безпеку підприємств точного машинобудування.

В. Б. Гітис та А. Г. Аббакумова [2] провели дослідження ефективності використання нейронних мереж для прогнозування поведінки часових рядів. Проведені дослідження оптимальності характеристик і параметрів NAR-моделі на прикладі оцінювання обсягів продажу металургійного виробництва довели ефективність даного підходу до прогнозування динаміки часових рядів.

У статті [3] пропонується зниження надмірності нейронної мережі та необхідності зменшення числа нейронів прихованого шару при заданому рівні помилки навчання мережі. Мінімальне число нейронів прихованого шару для випадку 11-ти контролюючих штатних датчиків параметри автотракторному двигуна і п'яти класів типових дефектів вузлів АТД може бути знижено до п'яти-семи при високій якості розпізнавання стану автотракторного двигуна.

Використання нейронних мереж при реалізації процедур генетичного алгоритму для складання розкрійних схем запропонували О. З. Колиско та М. І. Шолудько [4]. У [5] запропоновано метод автоматизованої обробки послідовності термограм, отриманих у результаті активного теплового контролю багатошарових матеріалів, який використовує нейромережеві технології для аналізу температурних профілів у кожній точці об'єкту та дозволяє одночасно проводити класифікацію знайдених дефектів, вимірювати їх глибину залягання та розкрити.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Bennis Fouad & Chedmail P. & Helary O. [6], Ye Andre [7], Diao Jie [8], Sasaki Hidenori & Hidaka Yuki & Igarashi Hironaka [9], Adithya D & C Dinakaran [10], Frankreiter Florian & Breitenreiter Anselm & Schrape Oliver & Krstic Milos [11], Sossa Humberto & Virgilio-G Carlos [12], Fadhil Talal & Ahmed Taher & Mashhadany Yousif [13], Xiao Yang & Fan Wuyu & Du Yuan & Du Li & Chang Mau-Chung Frank [14], Guo Xiaohan & Xu Xiaopeng & Li Yu & Huang Weiping [15] Wang Dali & Zilouchian Ali [16] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття перспективних напрямків застосування нейронних мереж у конструкторській діяльності залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Здійснити дослідження перспективних напрямків застосування нейронних мереж у конструкторській діяльності.

Викладення основного матеріалу дослідження. Штучна нейронна мережа працює за принципом людського мозку та виконує конкретне завдання або реалізує функцію оптимізації. Проте сформована мережа потребує навчання відповідно до завдання покладеного в основу її роботи. Для точного навчання моделей нейронної мережі потрібна велика кількість даних: чим більше даних, тим точнішими будуть передбачення форми профілю заготовки, яка підлягає конструкторській розробці. Якщо дані, агреговані для навчання моделі, мають дуже схожі форми заготовок, тоді модель може не передбачити аналоги необхідної форми. З іншого боку, якщо навчальні дані значною мірою різномірні, модель може не навчитися на певному типі заготовки. Отже, важливо наповнювати модель великим набором даних про заготовку, які є специфічними для загального набору, що проектується, а також різномірними для різних наборів.

Розглянемо принципи застосування нейронної мережі у конструкторській діяльності при проектування лонжерону. Лонжерон – конструктивний вузол автомобіля, який виглядає як прямокутна труба, тобто металевий профіль із прямокутним перетином. Навчальні дані для

моделювання нейронної мережі генеруються з програмного забезпечення для моделювання. У якості моделі даних для навчання мережі використовуються координати лонжерону, які передаються програмному забезпеченню для створення відповідних розподілів тиску. Цей процес генерації набору даних автоматизований за допомогою програмного коду. Для заданого набору умов робочого потоку, код вилучення даних автоматично виконує програмне забезпечення для створення графіка розподілу тиску для кожного профілю лонжерону.

База даних з навчальною вибіркою з будь-якими відсутніми параметрами призведуть до більших втрат і нижчої точності моделі. Обов'язковою умовою є вилучення розбіжності в наборі даних для забезпечення однорідності.

Враховуючи, динамічні та статичні сили, які впливають на лонжерони постійно кожен профіль у програмному забезпеченні для проектування характеризується використанням поперечників, які згруповані на передній і задній кромках лонжерону. Зображення профілю лонжерону необхідні штучній нейронній мережі для навчання та числові значення параметрів зберігаються у навчальній вибірці бази знань.

Згорткова нейронна мережа – це модель глибокої нейронної мережі, яка керується даними у набір яких входять графічні дані, це упорядкована версія багат шарового перцептрона.

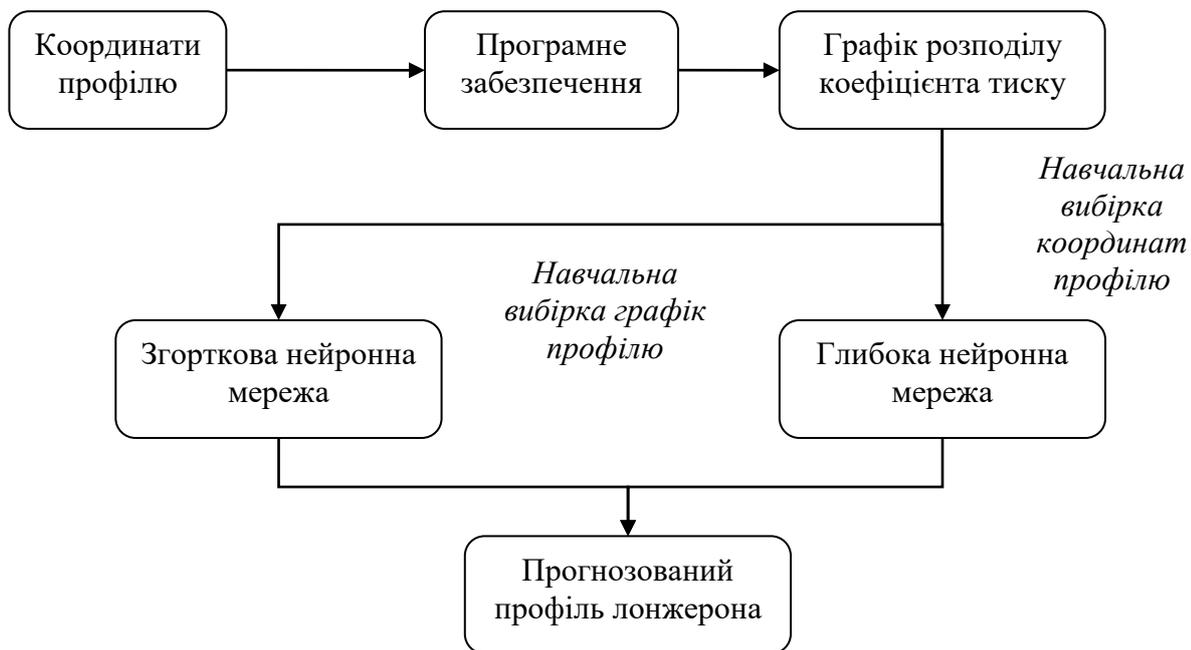


Рисунок 1 – Блок-схема зворотного проектування профілів лонжеронів

На рисунку 1 представлена блок-схема зворотного проектування профілів. Модель нейронної мережі навчається відповідно графічного представлення лонжеронів та у подальшому використовується для прогнозування та побудови діаграми форми лонжерону.

На рисунку 2 показана багат шарова архітектура згорткової нейронної мережі, яка використовується у конструкторській діяльності направлений на проектування лонжерону автомобіля. Складається, запропонована архітектура згорткової нейронної мережі із згорткового шару, шару об'єднання та повністю пов'язаного шару. Зображення, що подається в модель мережі, проходить через ці шари, які допомагають моделі покращити важливі характеристики зображення.

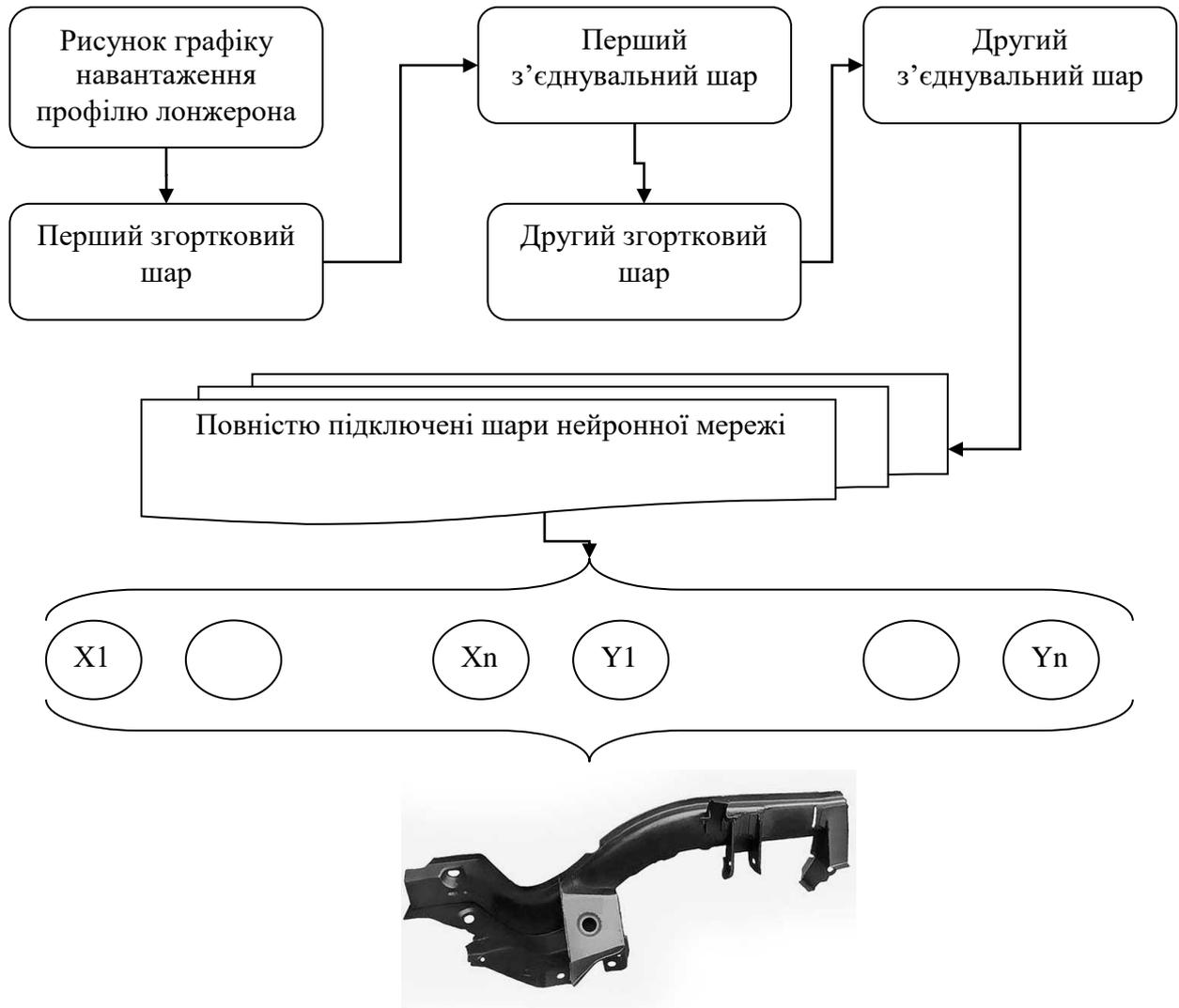


Рисунок 2 – Багатошарова архітектура згорткової нейронної мережі, яка використовується у конструкторській діяльності направлений на проектування лонжерону автомобіля

У таблиці 1 наведено параметри згорткових шарів: кількість фільтрів, розмір фільтра та використовувані функції активації. Архітектура згорткової нейронної мережі розроблена з трьома двовимірними згортковими шарами, кожним із яких слідує максимальний шар 2D об'єднання. Згенерована матриця згладжується і подається як вхід до нейронної мережі з двома прихованими шарами та одним вихідним шаром. Для вихідного шару використовується нелінійна функція активації, оскільки це набір даних типу регресії, але не класифікатор. Для решти шарів використовується лінійний блок випрямлення у якості функції активації. Розмір вихідної матриці становить 320×1 , причому перші 160 елементів відповідають координатам x , а решта 160 елементів відповідають координатам y .

Таблиця 1 – Параметри згорткових шарів згорткової нейронної мережі, яка використовується у конструкторській діяльності направлений на проектування лонжерону автомобіля

Номер загорткового шару	Розмір фільтру згортки	Кількість фільтрів	Функція активації	Розмір фільтру об'єднання
1	4 на 4	32	нелінійна	3 на 3
2	4 на 4	64	нелінійна	3 на 3
3	4 на 4	128	нелінійна	3 на 3

Реалізація моделі загорткової нейронної мережі базується на зображеннях графіків розподілу коефіцієнта тиску на лонжеронах під час дії динамічних та статичних сил. Кількість

імпортованих зображень вдвічі перевищує кількість згенерованих даних. Це пояснюється тим, що для кожного профілю є два зображення, одне відповідає графіку розподілу коефіцієнта тиску, а інше відповідає показнику рівня навантаження. Поверх зображень наносяться шари згортки, щоб підкреслити домінуючий елемент. Зображення у процесі обробки перетворюються на числові матриці з елементами від 0 до 255 через три стовпці, що відповідають червоно-синьо-зеленим каналам. Проте для більш точного відображення на етапі попередньої обробки всі кольорові зображення перетворюються у сірі, це допомагає мінімізувати матрицю до двох стовпців, що відповідають різним відтінкам сірого, тим самим зменшуючи інтенсивність обчислень. Для подальшого скорочення часу обчислень матриці нормалізуються на 255 так, що всі елементи зменшуються в діапазоні [0,1]. Далі поділяються на два набори, а саме – навчальна вибірка даних та вибірка даних тестування з розподілом 3:1, де три частини належать до набору навчальних даних, а одна частина – до набору даних тестування. Навчальні дані подаються до моделі згорткової нейронної мережі для навчання. Після проходження навчальних даних через шари згортки, остаточний вектор з одним стовпцем подається як вхід до глибоких нейронних мереж для прогнозування координат профілю лонжерону. Навчена модель додатково перевіряється на наборі тестових даних.

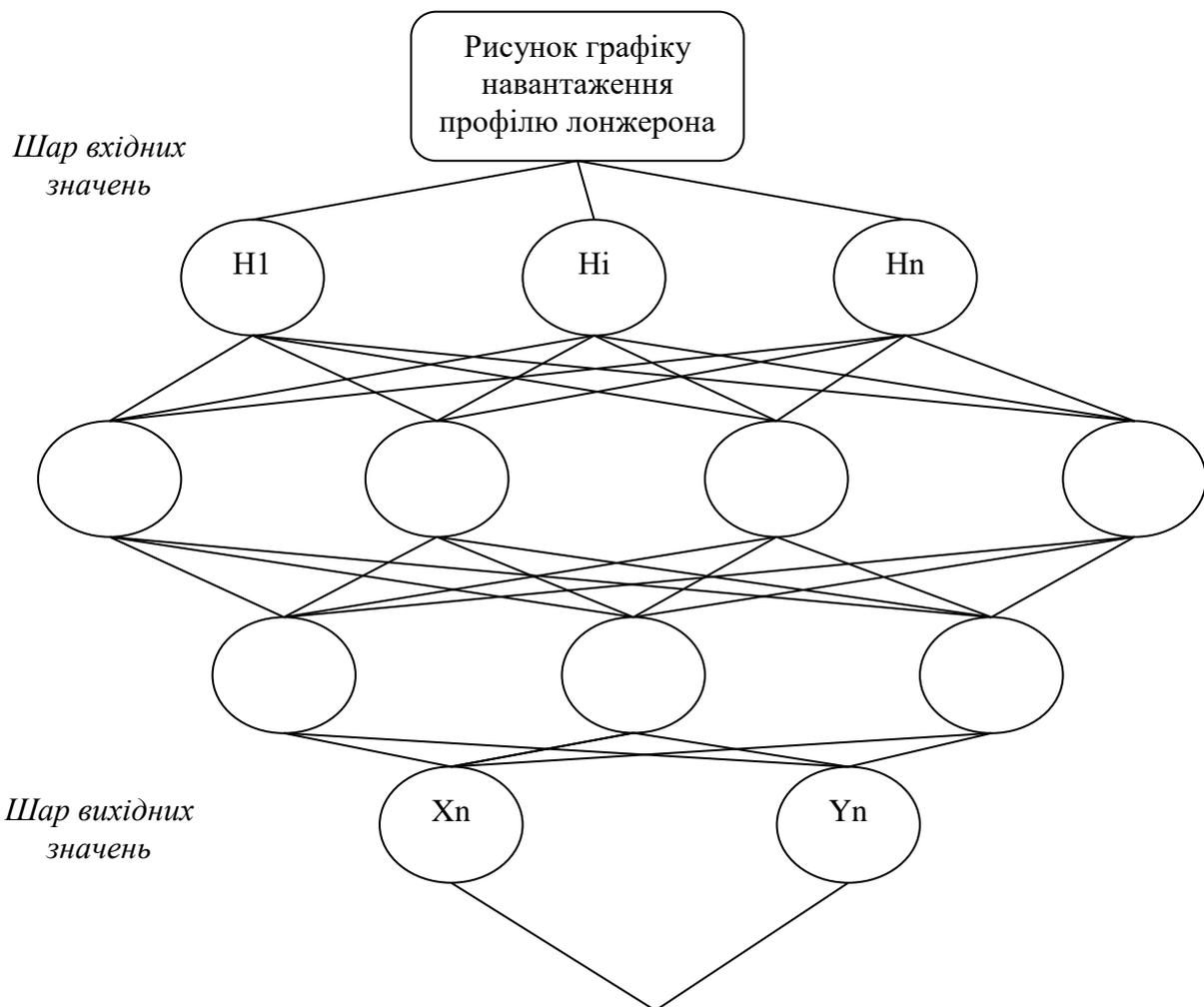


Рисунок 3 – Глибока нейронна мережа, яка використовується у конструкторській діяльності направленої на проектування лонжерону автомобіля

Окрім згорткової нейронної мережі також застосовується глибока нейронна мережа для прогнозування форми розподілу навантаження. Однак глибока нейронна мережа працює тільки з числовими даними. На рисунку 3 запропоновано схематичне зображення глибокої нейронної мережі, яка використовується у конструкторській діяльності направлений на проектування лонжерону автомобіля. Вона приймає числові значення як вхідні дані у вигляді вектора або матриці. Цей вектор/матриця потім передається крізь різні шари нейронів, а ваги навчаються за допомогою ітерацій. Зв'язок між нейронами послідовних шарів пов'язано з деякими ваговими коефіцієнтами, які при помноженні на вхідний дають необхідне передбачення у вихідному шарі. Після кожної ітерації вагові коефіцієнти оновлюються, щоб мінімізувати помилку, тим самим покращуючи результат роботи глибокої нейронної мережі.

На відміну від моделі згорткової нейронної мережі, дані навантаження розглядаються як ціле, а не поділяються на статичні та динамічні. Зворотне проектування з використанням глибокої нейронної мережі здійснюється за допомогою стандартних бібліотек TensorFlow і Keras. У таблиці 2 наведено різні шари, кількість нейронів і функція активації, що використовується в кожному шарі. Архітектура глибокої нейронної мережі, яка запропонована для реалізації конструкторської діяльності, що направлена на проектування лонжерону автомобіля, має один вхідний рівень, три прихованих шари та вихідний. Вхідний шар приймає матрицю з розмірами 1×160 , що відповідає 160 направляючим у профілі. Подібно до моделювання загорткової нейронної мережі, дані поділяються на два набори – навчальний та тестовий набір даних у співвідношенні 3:1. Нелінійна функція активації використовується для вхідного та прихованого шарів, тоді як вихідний рівень використовує функцію лінійної активації.

Таблиця 2 – Параметри шарів глибокої нейронної мережі, яка використовується у конструкторській діяльності направлений на проектування лонжерону автомобіля

Шар	Функція активації	Кількість нейронів у шарі
Вхідний	нелінійна	128
Прихований шар 1	нелінійна	256
Прихований шар 2	нелінійна	128
Прихований шар 3	нелінійна	512
Вихідний	лінійна	320

Налаштування гіперпараметрів нейронної мережі має важливе значення для забезпечення того, щоб модель ефективно відповідала даним і уникала переповнень чи помилкових результатів. Тому, обов'язковим є врахування швидкості навчання, розміру пакету навчальних даних і кількості епох на загальній середньоквадратичній помилці. Швидкість навчання це швидкість, з якою модель відповідає даним у відповідь на середню квадратичну помилку після оновлення ваг. Будь-яка зміна швидкості навчання безпосередньо впливає на час моделювання та збіжність моделі. Пакетний розмір визначає навчальні дані для обробки перед оновленням внутрішніх параметрів моделі. Розмір партії відіграє істотну роль у підвищенні точності та скороченні часу навчання. Типовими значеннями розміру пакету є 32, 64 і 128. Епохи визначають кількість повторень моделі через навчальний набір даних. У кожен епоху має можливість навчатися декілька груп.

Висновки. У роботі здійснено дослідження перспективних напрямків застосування нейронних мереж у конструкторській діяльності. Варто наголосити, що нейронні мережі дають універсальний спосіб вирішення багатьох нестандартних завдань, які є основою конструкторської діяльності, здатні вловити складні нелінійні залежності під час проектування, самовдосконалюватися, навчаючись у процесі використання. Використання побудованих на їх основі систем є ефективним та економічно вигідним за рахунок скорочення часу на проектну діяльність та підвищення точності конструкторських розробок. Тому не дивно, що зростаючий інтерес до цієї технології призвів до значного розширення сфери її використання, появи безлічі різних підходів, алгоритмів навчання, програмних продуктів, варіантів застосування.

Перспективами подальшої роботи є розробка архітектури штучної нейронної мережі робота якої направлена на моделювання ПДД-регуляторів та регуляторів частоти навантаження, з метою скорочення часу на проектну діяльність та підвищення точності моделі.

Список бібліографічного опису.

1. Гавриш О. А., Салоїд С. В. Використання теорії штучних нейронних мереж для оцінки результатів управлінських дій на економічну безпеку підприємств точного машинобудування. Інвестиції: практика та досвід. 2018. № 21. С. 21–27. DOI: 10.32702/2306-6814.2018.21.21
2. Аббакумова А.Г., Гітис В.Б. Прогнозування поведінки часових рядів з використанням засобів штучного інтелекту / Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць / Під редакцією Г.О. Райко. – Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2020. С. 204–207.
3. Застосування штучної нейронної мережі для визначення рівня зношеності циліндро-поршневої групи автотракторного двигуна / А. О. Молодан, Д. В. Абрамов, Ю. В. Тарасов, М. М. Потапов // ВМТ, 2022. вип. 14, вип. 2. С. 62–71.
4. Колиско О. З. Використання нейронних мереж при реалізації процедур генетичного алгоритму для складання розкрийних схем / О. З. Колиско, М. І. Шолудько // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей III-ої Міжнар. наук.-практ. конф. (10 жовтня 2019 р., м. Київ) / відп. за вип. М. А. Зенкін. – Київ : КНУТД, 2019. С. 49-50.
5. Момот А. С. Удосконалення методу визначення характеристик дефектів багатошарових матеріалів за результатами активного теплового контролю. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2020. 192 с.

References.

1. Bennis, Fouad & Chedmail, P & Helary, O. (2002). Representation of Design Activities Using Neural Networks. 10.1007/978-94-015-9966-5_4.
2. Ye, Andre. (2022). Successful Neural Network Architecture Design. 10.1007/978-1-4842-7413-2_6.
3. Diao, Jie. (2022). BP Neural Network for Design of Hybrid System. 10.1007/978-3-030-89508-2_103.
4. Sasaki, Hidenori & Hidaka, Yuki & Igarashi, Hironaka. (2021). Explainable Deep Neural Network for Design of Electric Motors. IEEE Transactions on Magnetics. PP. 1-1. 10.1109/TMAG.2021.3063141.
5. Adithya, D & C, Dinakaran. (2019). Artificial Neural Network Based Design of Governor Controller. 7. 261-267.
6. Frankreiter, Florian & Breitenreiter, Anselm & Schrape, Oliver & Krstic, Milos. (2021). Power- and Area-optimized Neural Network IC-Design for Academic Education. 1-6. 10.1109/ICECS53924.2021.9665471.
7. Sossa, Humberto & Virgilio-G, Carlos. (2022). Spiking neural networks and dendrite morphological neural networks: an introduction. 10.1016/B978-0-12-820125-1.00022-1.
8. Fadhil, Talal & Ahmed, Taher & Mashhadany, Yousif. (2021). Application of Artificial Neural Networks as Design Tool for Hot Mix Asphalt. International Journal of Pavement Research and Technology. 10.1007/s42947-021-00065-7.
9. Xiao, Yang & Fan, Wuyu & Du, Yuan & Du, Li & Chang, Mau-Chung Frank. (2021). CTT-based Non-Volatile Deep Neural Network Accelerator Design. 258-259. 10.1109/ISOCC53507.2021.9613930.
10. Guo, Xiaohan & Xu, Xiaopeng & Li, Yu & Huang, Weiping. (2021). Extendable neural network and flexible extendable neural network in nanophotonics. Optics Communications. 508. 127671. 10.1016/j.optcom.2021.127671.
11. Wang, Dali & Zilouchian, Ali. (2001). Application of Neural Network in Design of Digital Filters. 10.1201/9781420058147.ch5.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-09>

УДК 621.398.

¹Мороз Сергій Анатолійович, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>

²Шендерук Дмитро Володимирович, учень

¹Луцький національний технічний університет

²Волинський науковий ліцей

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ NFC

Мороз С.А., Шендерук Д.В. Дослідження роботи системи безконтактного керування пристроями на основі технології NFC. В статті проведений аналіз технології безпроводного зв'язку Near Field Communication. Описаний принцип роботи технології та схеми модуляції. Виготовлено діючий макет системи для керування безконтактним способом. Проведені дослідження роботи системи безконтактного управління при різних зовнішніх впливах.

Ключові слова: технологія NFC, безпроводний зв'язок, NFC-мітка, індуктивний зв'язок, смарт-картка.

Мороз С.А., Шендерук Д.В. Исследование системы бесконтактного управления устройствами на основе технологии NFC. В статье проведен анализ технологии беспроводной связи Near Field Communication. Описан принцип работы технологии и схемы модуляции. Изготовлен действующий макет системы для управления бесконтактным способом. Проведены исследования работы системы бесконтактного управления при разных внешних воздействиях.

Ключевые слова: технология NFC, беспроводная связь, NFC-метка, индуктивная связь, смарт-карта.

Moroz S.A, Shenderuk D.V. Research of contactless device control system based on NFC technology. The article analyzes the wireless communication technology Near Field Communication. The principle of operation of the technology and modulation scheme is described. A working model of the contactless control system has been made. Research of work of system of contactless management at various external influences are carried out.

Keywords: NFC technology, wireless communication, NFC label, inductive communication, smart card.

Постановка наукової проблеми.

Розвиток У сучасному світі у зв'язку з розвитком безпроводних широкосмугових каналів зв'язку, значним зменшенням розмірів пристроїв для доступу до цих каналів, а також масовим переходом до безконтактних способів керування як об'єктами так і інформацією, особам-користувачам необхідно мати велику кількість «електронних ключів», виконаних за різними технологіями, які в переважній більшості є смарт-картами. Технологія безконтактної передачі даних NFC надає можливість об'єднати всі необхідні користувачу смарт-карти в одному керуючому пристрої, а також забезпечити безпроблемний доступ до різних ресурсів за допомогою ідентифікаторів.

Технології безпроводної (безконтактної) передачі даних можна розділити за дальністю передачі на Proximity (щільного контакту), Short Range (короткого діапазону) та Long Range (дальнього діапазону) (рис. 1.1).

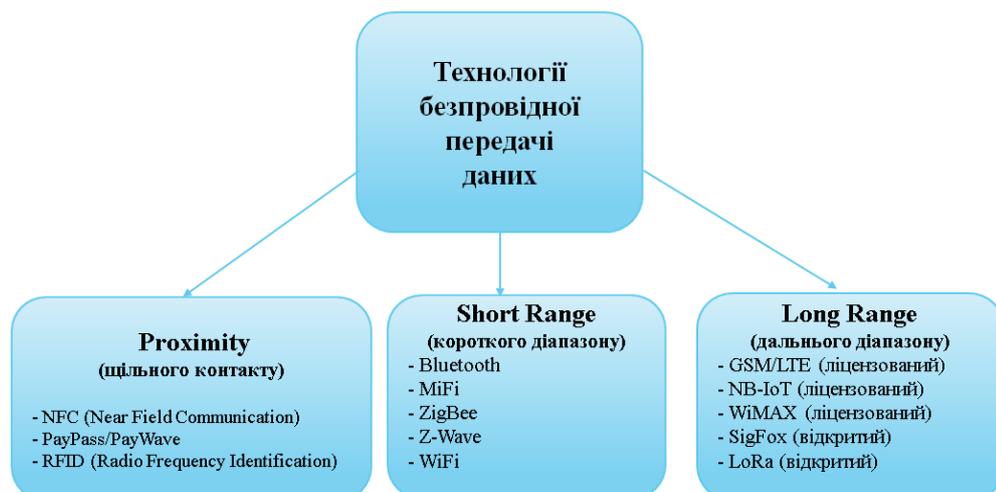


Рис. 1.1. Класифікація технологій безпроводної передачі даних

Серед багатьох видів технології передачі даних, які можна використовувати для керування електронними системами та пристроями варто виділити технологію безпроводного зв'язку малого

радіусу дії NFC. NFC (Near Field Communication) – це сучасна технологія безпроводного зв'язку малого радіусу дії, яка об'єднала у собі різні безконтактні способи ідентифікації, взаємозв'язку та керування. «Технологія NFC розроблена з метою обміну різними типами даних та інформації, такими як номери телефонів, фотозображення, музичні файли або даними цифрової авторизації між двома девайсами з підтримкою NFC, наприклад, смартфонами, або між NFC-телефонами і сумісними RFID чіпкартами або зчитувальними пристроями, які розташовані в безпосередній близькості один від одного. Технологія NFC може бути використана як ключа доступу до контенту та для таких сервісів, як оплата по безготівковому розрахунку, оплата квитків та контроль доступу» [1 - 4].

Аналіз останніх досліджень.

Технологія NFC використовує індуктивний зв'язок. Принцип роботи схожий до роботи трансформаторів, ближнє магнітне поле двох витків провідників використовується для взаємного зв'язку опитувального пристрою (ініціатора) та приймального пристрою (адресата) (рис. 1.2). Як відомо, «трансформатор - це елемент, який дозволяє змінювати величину струму, що протікає по ньому і поданого на його первинну обмотку напруги в співвідношенні кількості витків його первинної та вторинної обмотки $U_1 / U_2 = N_1 / N_2$. Проте імпеданс обмоток змінюється вже в іншій пропорції: $Z_1 / Z_2 = (N_1 / N_2)^2$. відповідно невелика зміна імпедансу в навантаженні буде явно виражена для опитувального пристрою. Відповідно отримуємо наступну систему: приймально-передавальний модуль, як антени у якого передбачена обмотка (первинна). Мітка - це чіп, з вторинною обмоткою відповідно. При піднесенні зчитувача до мітки, через обмотку мітки починає текти струм і від нього живиться чіп, який змінюючи імпеданс в навантаженні обмотки передає інформацію зчитувачу» [4, 5].

Робоча частота технології NFC становить 13,56 МГц, а швидкість передачі досягає 106 кбіт/с (іноді 212 кбіт/с та 424 кбіт/с).

При передачі даних пасивній системі, наприклад, смартфону з NFC в режимі емуляції карти, в якості джерела живлення пасивної системи використовується сигнал опитувального пристрою з частотою несучої 13,56 МГц.

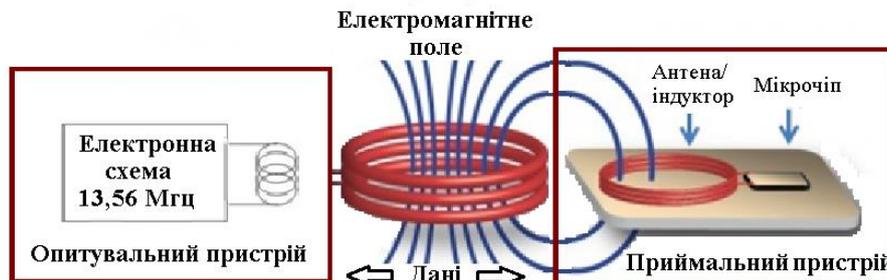


Рис. 1.2. Схема взаємодії опитувального та приймального пристроїв

Як схеми модуляції в опитуваних пристроях використовується амплітудна маніпуляція (ASK) (рис. 1.3).

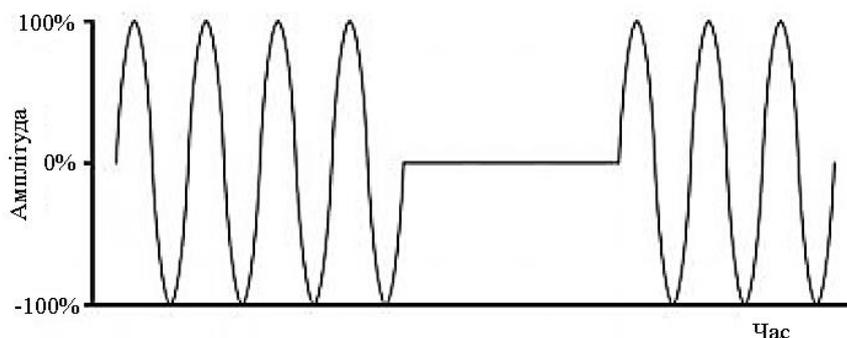


Рис. 1.3. Амплітудна маніпуляція

Для режиму тимчасової передачі даних обидва напрямки передачі модулюються і кодуються як опитувальний пристрій. Однак в даному режимі потрібно менше потужності, так як кожний з NFC-пристроїв використовує своє власне джерело живлення і після закінчення передачі сигнал несучої знімається.

Через індуктивний зв'язок витків опитувального і приймального пристроїв, пасивний приймальний пристрій впливає на активний опитуваний пристрій. Зміни імпедансу приймального пристрою викликають амплітудні або фазові зміни в напрузі антени опитувального пристрою. Даний метод модуляції носить назву навантажувальної модуляції (рис. 1.4). Він реалізований в режимі прийому з використанням допоміжної несучої на частоті 848 кГц, яка модулюється смуговим сигналом і призводить до зміни імпедансу приймального пристрою. [4, 6]

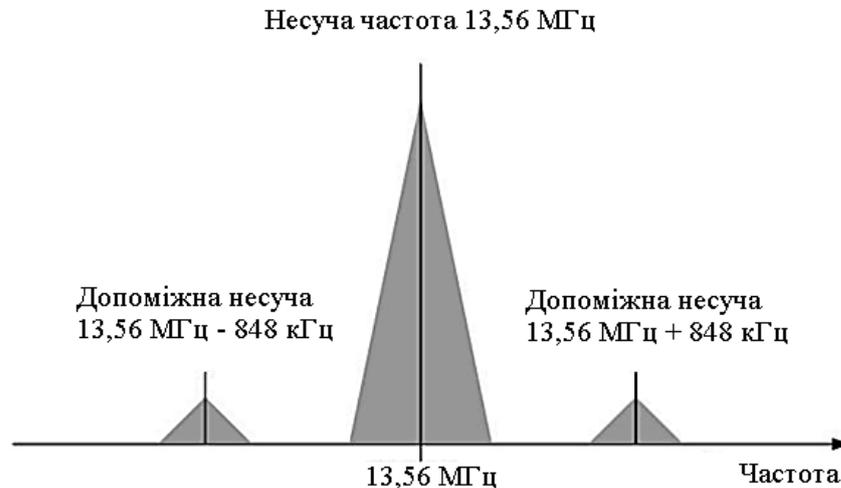


Рис. 1.4. Навантажувальна модуляція на несучій частоті 13,56 МГц

У технології NFC підтримуються три основні режими роботи(рис. 1.5):

–Режим емуляції картки (пасивний режим): NFC-пристрій працює як звичайна безконтактна карта відповідно до одного із сумісних стандартів

–Одноранговий режим: обмін інформацією між двома пристроями NFC.

Ініціатор (опитувальний пристрій) споживає менше енергії за порівняно з режимом читання/запису, тому що в даному випадку адресат (приймальний пристрій) використовує власне джерело живлення.

–Режим читання/запису (активний режим): NFC-пристрій є активним та здійснює читання або запис пасивну сумісну RFID-мітку.

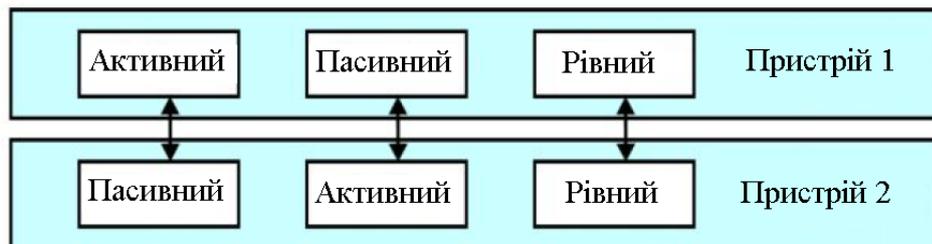


Рис. 1.5. Режими роботи NFC

Кожен режим роботи (емуляція карти, одноранговий, режим читання/запису) можна об'єднати з однією технологією передачі з таких як (табл. 1.1): NFC-A, NFC-B, NFC-F.

А щоб забезпечити підтримку різних технологій, NFC-пристрій у режимі опитування спочатку надсилає відповідний сигнал запиту і чекає відповідь від NFC-A, NFC-B та NFC-F міток. Після отримання відповіді сумісного пристрою NFC пристрій встановлює відповідний режим зв'язку. [3, 6]

Таблиця 1.1. Технічна характеристика стандартів радіоінтерфейсів NFC

Стандарти асоціації NFC-Forum	Запит/ Прийом	Швидкість передачі даних	Частота передачі
NFC-A	Запит	106 кбіт/с	13,56 МГц
	Прийом	106 кбіт/с	13,56 МГц +/- 848кГц

NFC-B	Запит	106 кбіт/с	13,56 МГц
	Прийом	106 кбіт/с	13,56 МГц +/- 848кГц
NFC-F	Запит	212/424 кбіт/с	13,56 МГц
	Прийом	212/424 кбіт/с	13,56 МГц

Виклад основного матеріалу.

Для проведення дослідження системи керування було розроблено макет системи NFC для безконтактного керування пристроями. [5, 6] Складові елементи підключені до мікроконтролера, а соленоїдний замок підключений до реле (рис. 1.6.)

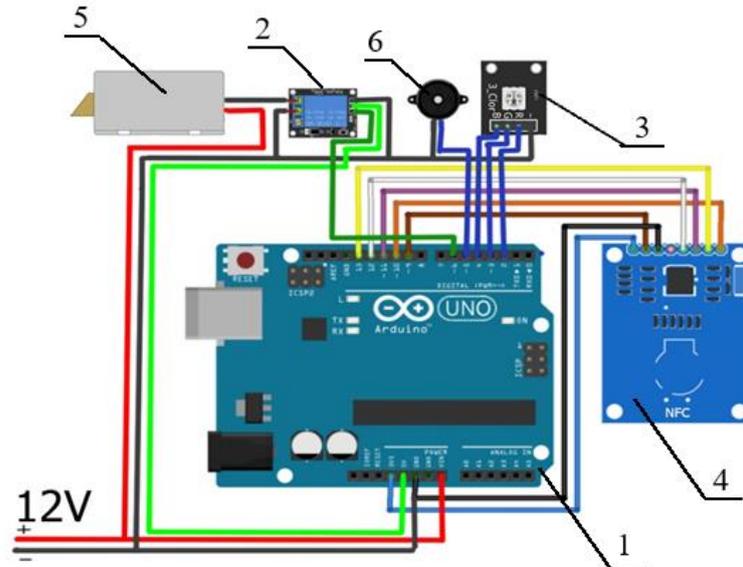


Рис. 1.6. Комутація елементів в макеті NFC: 1) мікроконтролер ARDUINO UNO; 2) реле; 3) RGB світлодіод; 4) NFC модуль; 5) соленоїдний замок; 6) пасивний зумер

Корпус макету виготовили з пресованої фанери товщиною 5 мм. Усі електронні елементи розміщені в ніші в середині корпусу (рис. 1.7). Оскільки складові частини мають електроспоживання не більше 12В то макет може працювати і автономно на акумуляторі.



Рис. 1.7. Зовнішній вигляд діючого макету системи

Принцип функціонування макету можна поділити на 3 цикла. Першим циклом буде зчитування інформації зчитувачем з мітки. Кожна мітка має свій номер, який є індивідуальним. Другим циклом стане надходження коду мітки до мікроконтролера Arduino UNO та звірення номеру закладеного в мікроконтролері та зчитаного коду. 3 цикл можна поділити на два різних випадки.

1) Номер зчитаного номера мітки співпав. Мікроконтролер подає струм на реле, воно активується та активує соленоїдний замок який відчиняє двері.

2) Номер зчитаного номера мітки не співпадає. Мікроконтролер подає сигнал на зумер та світлодіод який дає людині зрозуміти що мітка не відчинить двері

Щоб додати або вилучити NFC-мітку потрібно змінювати самий код (додаток А). Спочатку потрібно взнати номер мітки, а потім вже змінити номер в коді або додати ще такий самий фрагмент коду, але вже з новим номером.

Основним завданням, яке потрібно вирішити є проведення дослідження функціонування системи при різних зовнішніх впливах. Ми провели експерименти двох видів: вплив різних матеріалів, які знаходяться між міткою і приймально-передавальним модулем (табл. 1.2) та вплив стороннього електромагнітного випромінювання, яке знаходиться на близькій відстані від зони роботи технології NFC (табл. 1.3).

Під час першого експерименту ми поміщали в зону обміну даними такі матеріали як дерево, папір, пластик, шкіра, метал з різною товщиною та вимірювали відстань між міткою і NFC-модулем на якій відбудеться відкриття замка. Під час другого експерименту здійснювався вплив електромагнітного випромінювання мобільного телефону, мікрохвильової печі, іншої смарт-картки, котушки Тесли, Bluetooth гарнітури та спостерігали за змінами в роботі системи.

Таблиця 1.2. Вплив товщини матеріалів на відстань спрацювання

Матеріал \ Товщина, h	Товщина, h				
	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
Дерево (ряд 1)	2 см	2 см	1,7 см	1,4 см	1 см
Папір (ряд 2)	2 см	2 см	2 см	1,8 см	1,5 см
Пластик (ряд 3)	2 см	2 см	1,8 см	1,5 см	1,3 см
Шкіра (ряд 4)	2 см	1,5 см	1,4 см	1 см	0,5 см
Метал (ряд 5)	-	-	-	-	-

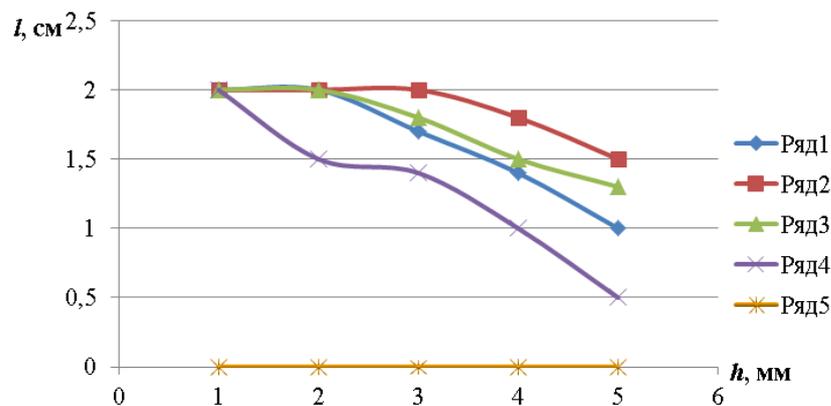


Рис. 1.8. Діаграми впливу матеріалів на відстань спрацювання системи

Таблиця 1.3. Вплив електромагнітного випромінювання на систему

Предмет випромінювання радіохвиль	Зміни в роботі системи
Телефон	-
Мікрохвильова піч	±
Інша картка	-
Котушка тесли	+
Bluetooth гарнітура	-

Провівши дослідження впливу різних матеріалів, які знаходяться між міткою і приймально-передавальним модулем виявилось, що чим більша товщина перешкоди тим менша відстань при якій спрацьовує система. Але металева перешкода взагалі не пропускає через себе електромагнітні сигнали.

В дослідженнях впливу стороннього електромагнітного випромінювання встановлено, що лише мікрохвильова піч, орієнтовна величина випромінювання якої 10 мкВт/см² (незначні перебої у функціонуванні системи) та котушка Тесли (значні перебої у функціонуванні системи) перешкоджали роботі системи. А всі інші пристрої ніяк не впливали на роботу макету.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

За результатами проведених досліджень зроблені наступні висновки:

1. На основі аналізу інформаційних джерел та порівнянь технологій безконтактної передачі даних перспективною для керування електронними пристроями є технологія NFC. Основною перевагою даної технології є простота та ефективність використання.

2. Технологія NFC для передачі даних використовує індуктивний зв'язок, тобто електромагнітне поле NFC зчитувача використовується в якості основного модулюючого джерела як живлення мітки так і прийому інформації.

3. На основі мікроконтролера Arduino UNO та інших компонентів було спроектовано та виготовлено діючий макет системи безконтактного керування пристроями на основі технології NFC. Експериментально було підтверджено ефективність та доцільність використання безконтактної передачі даних NFC.

4. Проведений ряд досліджень роботи системи безконтактного керування при різних зовнішніх впливах. Встановлено, що чим більша товщина перешкоди, яка знаходиться між міткою і приймально-передавальним модулем, тим менше відстань спрацювання пристрою. А металева перешкода взагалі не пропускає через себе електромагнітні сигнали. Виявлено, що стороннє електромагнітного випромінювання більше 10 мкВт/см² здійснює значний вплив на роботу технології безпроводного зв'язку NFC.

5. Одним з перспективних напрямів використання технології безпроводного зв'язку NFC є її впровадження в різні проекти типу «Розумний будинок», «Розумне місто» та інші де потрібне безпроводне керування, простота налаштування, надійність та ефективність роботи.

Список бібліографічного опису

1. Ткаленко О.М. Аналіз упровадження технології NFC у телекомунікаційних системах // Сучасна спеціальна техніка. 2018. № 1(52). С. 65-73.
2. О NFC технологии. URL: <http://nfcukraine.com/about-nfc/> (дата звернення: 25.12.2021).
3. Технология NFC и проведение испытаний беспроводной связи ближнего действия // Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. [Мюнхен, 2011]. URL: http://www.emftest.ru/media/2017/10/rto_new_appl3_n.pdf (дата звернення: 04.01.2022).
4. Технология NFC - связь на близком расстоянии // Издательский дом Электроника [Москва, 2007-2018]. URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/57689/> (дата звернення: 04.01.2022).
5. Информационный портал «ARDUINOMASTER» // Подключение RFID к Arduino с помощью RC522 и RDM3600. URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/podklyuchenie-rfid-k-arduino/> (дата звернення: 10.11.2021).
6. Климаш М. М. Технологии беспроводного зв'язку / М. М. Климаш, В.О. Пелішок, П. М. Михайленч. – Львів, 2007. – 818с.
7. Погорілий Сергій Дем'янович, Калита Дмитро Миколайович. Комп'ютерні мережі. Апаратні засоби та протоколи передачі даних: підручник для студ. вищих закл. освіти / Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. - К.: ВПЦ "Київський ун-т", 2007. - 455с.
8. Столлинс Вильямс. Беспроводные линии связи и сети / А.В. Высоцкий (пер.с англ.). - М.; СПб.; К.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 638с.

References

1. Tkalenko OM Analysis of the introduction of NFC technology in telecommunication systems // Modern special equipment. 2018. № 1 (52). Pp. 65-73.
2. About NFC technology. URL: <http://nfcukraine.com/about-nfc/> (access date: 25.12.2021).
3. NFC technology and testing of short-range wireless light // Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. [Munich, 2011]. URL: http://www.emftest.ru/media/2017/10/rto_new_appl3_n.pdf (access date: 04.01.2022).
4. NFC technology - short-distance communication // Electronics Publishing House [Moscow, 2007-2018]. URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/57689/> (access date: 04.01.2022).
5. ARDUINOMASTER information portal // RFID connection to Arduino using RC522 and RDM3600. URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/podklyuchenie-rfid-k-arduino/> (access date: 10.11.2021).
6. Klimash MM Technologies of wireless communication / MM Klimash, VO Pelishok, PM Mykhaulynych. - Lviv, 2007. - 818p.
7. Pohoriliy Serhiy Demyanovych, Kalita Dmytro Mykolayovych. Computer networks. Hardware and data transmission protocols: a textbook for students. higher education of Education / Kyiv National University named after Taras Shevchenko. - Kyiv: Ukrainian Orthodox Church "Kyiv University", 2007. - 455p.
8. Stollings Williams. Wireless communication lines and networks / A.V. Vysotsky (translated from English). - M.; СПб.; K.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 638с.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-10>

УДК 004.415.3

Пех Петро Антонович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., ст.викладач

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Дяченко Роман Олегович, студент

Луцький національний технічний університет

ПРОГРАМНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ТИПУ ФУНКЦІЇ ДЛЯ АПРОКСИМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Пех П. А., Христинець Н.А., Дяченко Р. О. Програмна оптимізація вибору типу функції для апроксимації експериментальних даних. В статті запропоновано програма мовою Matlab для оптимального вибору апроксимуючої функції в процесі оброблення експериментальних даних. Програма складається з головного та дев'яти допоміжних модулів, кожен з яких реалізує окрему частину загального алгоритму розв'язку задачі вибору та розрахунку параметрів апроксимуючої функції.

Ключові слова: Метод найменших квадратів, Matlab, апроксимація, підпрограма- функція, модуль

Пех П. А., Христинець Н.А., Дяченко Р. О. Програмная оптимизация выбора типа функции для аппроксимации экспериментальных данных. В статье предложена программа на языке Matlab для оптимального выбора аппроксимирующей функции в процессе обработки экспериментальных данных. Программа состоит из главного и девяти вспомогательных модулей, каждый из которых реализует отдельную часть общего алгоритма решения задачи выбора и расчета параметров аппроксимирующей функции.

Ключевые слова: Метод наименьших квадратов, Matlab, аппроксимация, подпрограмма- функция, модуль

Pekh Petro, Hrystynets Natalia, Diachenko Roman. Software optimization of function type selection for approximation of experimental data. The article proposes a program by means Matlab language for the optimal choice of the approximating function in the process of processing experimental data. The program consists of the main and nine auxiliary modules, each of which implements a separate part of the general algorithm for solving the problem of selection and calculation of the approximating function parameters.

Keywords: least squares method, Matlab, approximation, subroutine-function, module

Постановка задачі. Нехай в результаті проведення n дослідів експерименту отримані дані, які чисельно відображають залежність деякої вихідної величини (функції) від іншої вхідної величини (аргумента), значення якої під час проведення експерименту регулюються самим дослідником. Позначимо значення аргументу в i -ому досліді експерименту x_i , а значення функції y_i . Відомо, що експериментальні дані можуть бути апроксимовані різними типами теоретичних функцій: лінійною $y = ax + b$, параболічною $y = ax^2 + bx + c$, показниковою $y = ae^{bx}$, степеневою $y = ax^b$ та іншими [4,5]. Задача полягає у розробленні та тестуванні на різних наборах експериментальних даних такої програми, з допомогою якої можна було б оптимізувати процес вибору типу апроксимуючої функції з певної множини функцій та розрахувати її параметри.

Мета дослідження полягає у розробленні, відлагодженні та тестуванні програми для автоматизації процесу вибору типу апроксимуючої функції з певної множини функцій та розрахунку її параметрів.

Новизна дослідження полягає у вирішенні задачі вибору типу апроксимуючої функції програмним шляхом засобами Matlab [2,3].

Основна частина. Розроблена нами засобами Matlab програма складається з головного модуля `opt_model` (рис.1) та допоміжних модулів (рис.2 – рис.7). Призначення головного модуля `opt_model` – формування вихідних наборів експериментальних даних та виклик підлеглих модулів, які крок за кроком реалізують алгоритм розв'язку задачі. Програма розроблена за технологією функціонального програмування [1,2,3], а тому зручна для аналізу, налаштування та удосконалення.

Модуль `[v x y]=choose(x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4)` (рис. 2) передає у головний модуль значення певного набору експериментальних даних робочим векторам x та y , а також номер цього набору v .

Модуль `pre_graf(x, y)` (рис.3) наносить точки, координати яких задаються даними, що містяться у векторах x та y , з метою їх візуального аналізу та вибору типу апроксимуючої функції.

Модуль `koef_kor(x, y, n)` (рис.4) розраховує коефіцієнт кореляції між даними, що містяться у двох векторах x та y .

Модуль `[ozn]=approximation(x, y, n, ozn)` (рис.5) викликає чотири допоміжні модулі, кожен з яких апроксимує дані, що містяться у двох векторах x та y за допомогою лінійної,

параболічної, показникової та степеневі функції. У головний модуль передаються середнє значення суми квадратів відхилень експериментальних та теоретичних значень функції.

```

1  function opt_model
2  % В результаті проведення експерименту отримано ряд значень функції,
3  % які відповідають встановленим у кожному досліді значенням аргумента.
4  % Ці дані можна апроксимувати різними математичними функціями:
5  % 1 - лінійною; 2 - параболічною; 3 - експоненціальною; 4 - степеневою.
6  % Необхідно вибрати зі запропонованих варіантів функцію,
7  % яка найкращим чином описує експериментальні дані,
8  % та визначити її параметри.
9
10 % Формування чотирьох наборів експериментальних даних
11 % у вигляді значень елементів масивів аргумента x та функції y:
12 x1=[2.5 2.7 2.9 3.1 3.3 3.5 3.7 3.9 4.1 4.3];
13 y1=[8.0 8.4 8.8 9.2 9.4 10.1 10.5 10.8 11.2 11.5];
14 x2=1.2:0.2:4.0;
15 y2=[9.2 8.5 5.9 5.1 4.4 3.1 2.5 2.3 3.1 3.2 3.0 3.8 5.0 6.4 7.0];
16 x3=0.1:9.1;
17 y3=[82.5 66.4 53.5 43.1 34.7 28.0 22. 18.4 14.2 12.4];
18 x4=5.0:2.0:33;
19 y4=[26.5 64.4 124.8 211.7 328.7 479.2 666.4 893.2 1162.6 1477.4 1840.2 ...
20     2253.8 2720.5 3162.9 3980.5];
21
22 % Вибір номера набору експериментальних даних для подальшого аналізу
23 [v x y]=choose(x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4);
24 n=length(x); % Визначення довжини вектора x
25 ozn=[]; % Формування вектора, що зберігає значення сум квадратів відхилень
26 % Нанесення експериментальних точок на координатну сітку
27 % для подальшого аналізу і вибору виду апроксимуючої функції
28 pre_graf(x,y);
29 % Розрахунок коефіцієнта кореляції за експериментальними даними
30 koef_kor(x,y,n);
31 % Апроксимація експериментальних даних
32 % різними типами функцій і формування вектора оцінок ozn
33 [ozn]=approximation(x,y,n,ozn);
34 % Порівняльний аналіз результатів апроксимації експериментальних даних
35 % різними типами функцій за допомогою вектра оцінок ozn
36 est_eff(ozn,v);
37 end
    
```

Рисунок 1 – Головний модуль програми

```

39 function [v x y]=choose(x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4)
40 % Вибір номера набору експериментальних даних
41 v=input("Введіть номер набору експериментальних даних :\n");
42 if (v == 1) x=x1; y=y1; end
43 if (v == 2) x=x2; y=y2; end
44 if (v == 3) x=x3; y=y3; end
45 if (v == 4) x=x4; y=y4; end
46 end
    
```

Рисунок 2 – Модуль вибору номера експерименту

```

87 function pre_graf(x,y)
88 % Нанесення експериментальних точок на координатну сітку
89 % для аналізу і вибору виду апроксимуючої функції
90 figure(1);
91 plot(x,y,'ko');
92 xlabel('Значення аргумента x');
93 ylabel('Значення функції y');
94 grid on
95 end
    
```

Рисунок 3 – Модуль побудови експериментальних точок на координатній площині

Модуль $[p]=linear(x,y,m,n)$ (рис.б) апроксимує експериментальні дані лінійною функцією. Вхідними параметрами цього модуля є вектори аргумента x та функції y , які зберігають значення конкретного набору експериментальних даних, довжина цих векторів n та власне порядковий номер m апроксимуючої функції (для лінійної функції він має значення 1). Модуль $[p]=linear(x,y,m,n)$ розраховує значення елементів допоміжних векторів: xx (містить квадрати елементів вектора x), xy (містить добутки значень елементів вектора x на значення елементів вектора y), та середні значення sx , sy , sxx , sxy векторів x , y , xx , xy . Далі модуль $linear(x,y,m,n)$ формує головну матрицю та стовпчик вільних членів системи

```

48 function koef_kor(x,y,n)
49 % Розрахунок коефіцієнта кореляції за експериментальними даними
50 xc=sum(x)/n;
51 yc=sum(y)/n;
52 xic=x-xc;
53 yic=y-yc;
54 xicyic=abs((x-xc).*(y-yc));
55 xicxic=(x-xc).*(x-xc);
56 yicyic=(y-yc).*(y-yc);
57 sxicyic=sum(xicyic);
58 sxicxic=sum(xicxic);
59 syicyic=sum(yicyic);
60 Rxy=sxicyic/(n-1);
61 SigmaX=sqrt(sxicxic/(n-1));
62 SigmaY=sqrt(syicyic/(n-1));
63 Kxy=Rxy/(SigmaX.*SigmaY);
64
65 fprintf('\n Розрахунок коефіцієнта кореляції за експериментальними ');
66 fprintf('даними: \n');
67 fprintf('      x(i)      y(i)      v(i)-xc      y(i)-yc ');
68 fprintf(' (x(i)-xc)*(y(i)-yc) (x(i)-xc)^2 (y(i)-yc)^2 \n');
69 for i=1:n
70     fprintf('\n %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %15.4f %15.4f %10.4f ', ...
71           x(i), y(i), xic(i), yic(i), xicyic(i), xicxic(i), yicyic(i) );
72 end
73 fprintf('\n')
74 fprintf('\n %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %15.4f %15.4f %10.4f ', ...
75       xc, yc, 0, 0, sxicyic, sxicxic, syicyic );
76 fprintf('\n')
77 fprintf('\nДругий змішаний момент Rxy=%10.4f ',Rxy );
78 fprintf('\nСереднє квадратичне відхилення аргумента SigmaX=%10.4f ', ...
79       SigmaX );
80 fprintf('\nСереднє квадратичне відхилення функції SigmaY=%10.4f ', ...
81       SigmaY );
82 fprintf('\nКоефіцієнт кореляції Kxy=%10.4f ', Kxy );
83 fprintf('\n');
84 stop=input("Натисніть яку-небудь клавішу, щоб продовжити...");
85 end

```

Рисунок 4 – Модуль розрахунку коефіцієнта кореляції

```

97 function [ozn]=approximation(x,y,n,ozn)
98 % Апроксимація експериментальних даних
99 % різними типами функцій
100 for m=1:4
101     % Апроксимація експериментальних даних
102     % лінійною залежністю y=a0*x+al
103     if (m == 1) efl=linear(x,y,m,n); ozn=[ozn 1/efl]; end
104     % Апроксимація експериментальних даних
105     % параболічною залежністю y=a0*x^2+al*x+a2
106     if (m == 2) ef2=parabolic(x,y,m,n,ozn); ozn=[ozn 1/ef2]; end
107     % Апроксимація експериментальних даних
108     % експоненціальною залежністю y=a0*exp(al*x).
109     if (m == 3) ef3=exponent(x,y,m,n,ozn); ozn=[ozn 1/ef3]; end
110     % Апроксимація експериментальних даних
111     % степеневую залежністю y=a0*x^al.
112     if (m == 4) ef4=powwer(x,y,m,n,ozn); ozn=[ozn 1/ef4]; end
113 end
114 end

```

Рисунок 5 – Модуль управління процесом апроксимації даних різними функціями

лінійних рівнянь для визначення параметрів лінійної функції і розв'язує цю систему. Це дає змогу розрахувати значення елементів вектора y_t , тобто теоретичні значення лінійної функції, відхилення r теоретичних значень y_t функції від експериментальних y та квадрати цих відхилень r_r . Результати розрахунків виводяться на екран у зручному для аналізу табличному вигляді. Функція $[p]=linear(x,y,m,n)$ повертає одне єдине значення – середню величину квадрата відхилень теоретичних значень y_t функції від експериментальних y , яке стає одним з елементів вектора ознак $[ozn]$. За таким же принципом побудовані ще три модулі для апроксимації експериментальних даних параболічною, показниковою та степеневую функцією. Відрізняються вони лише кількістю допоміжних векторів, тому вони у даній статті не приведені.

```

116 function [p]=linear(x,y,m,n)
117     % Апроксимація експериментальних даних лінійною функцією y=a0*x+a1
118
119     % формування допоміжних масивів:
120     xx=x.*x;
121     xy=x.*y;
122
123     % Обчислення допоміжних сум:
124     sx=sum(x)/n;
125     sy=sum(y)/n;
126     sxx=sum(xx)/n;
127     sxy=sum(xy)/n;
128
129     % формування головної матриці СЛАР
130     % для визначення коефіцієнтів теоретичної залежності:
131     fprintf('\n')
132     disp(' Головна матриця СЛАР та стовпчик вільних членів :')
133     A=[sxx sx;
134       sx 1]
135     % формування вектора-стовпчика вільних членів СЛАР
136     b=[sxy;sy]
137     % Розв'язування СЛАР за допомогою оберненої матриці
138     z=inv(A)*b;
139
140     % формуємо коефіцієнти СЛАР:
141     a0=z(1);
142     a1=z(2);
143
144     % формування вектора теоретичних значень функції:
145     fprintf('\n')
146     disp(' Коефіцієнти рівняння y=a0*x+a1*:')
147     fprintf('\n a0=%10.4f    a1=%10.4f\n\n', a0, a1)
148     yt=a0*x+a1;
149
150     % Будемо графік теоретичної залежності:
151     figure(2);
152     plot(x,y,'ko',x,yt,'g-');
153     xlabel('Значення аргумента x');
154     % формування вектора квадрата відхилень
155     % теоретичних та експериментальних значень функції
156     rr=r.*r;
157     figure(4);
158     plot(x,rr,'g-');
159     xlabel('Значення аргумента x');
160     ylabel('Квадрат відхилень теоретичних та експериментальних значень rr');
161     srr=sum(rr)/n;
162
163     % Обчислюємо суму квадратів відхилень
164     % теоретичних та експериментальних значень функції:
165     disp('   x(i)      y(i)      x(i)^2    x(i)*y(i)    yt(i)    rr(i)')
166     for i=1:n
167         fprintf('\n %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f ', ...
168             x(i), y(i), xx(i), xy(i), yt(i), rr(i))
169     end
170     fprintf('\n')
171     fprintf('\n %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f ', ...
172         sx, sy, sxx, sxy, 0, srr)
173     fprintf('\n');
174     p = srr;
175     fprintf('\n ozn(%d)=%10.4f \n',m, p);
176     stop=input("Натисніть яку-небудь клавішу, щоб продовжити...");
177 end
    
```

Рисунок 6 – Модуль апроксимації даних лінійною функцією

Модуль `est_eff(ozn,v)` (рис.7) здійснює вибір найбільш ефективного варіанту типу теоретичної функції.

Головний результат роботи програми – це тип апроксимуючої функції. Ця функція, як видно з рис. 8, визначається за значенням параметра ефективності. Для даного набору експериментальних даних – це функція №2, тобто параболічна функція.

```

452 function est_eff(ozn,v)
453 % Порівняльний аналіз результатів апроксимації експериментальних даних
454 % різними типами функцій
455 figure(5);
456 m=1:4;
457 bar(m,ozn,'r');
458 xlabel('Порядковий номер теоретичної залежності m');
459 ylabel('Значення параметра ефективності методу ef');
460 grid on
461 [val_max, pos_max]= max(ozn);
462 fprintf('\nЗагальний висновок за результатами дослідження:');
463 fprintf('\nНайбільш ефективною функцією ');
464 fprintf('\nдля апроксимації даних експерименту номер %2d',v);
465 fprintf('\ne функція номер %2d.',pos_max);
466 fprintf('\nЗначення параметра ефективності для цієї функції ');
467 fprintf('дорівнює %6.4f \n',val_max);
468 stop=input("Розв'язок задачі завершено!\n");
469 fprintf('\n')
470 end

```

Рисунок 7 – Модуль оптимального вибору типу апроксимуючої функції

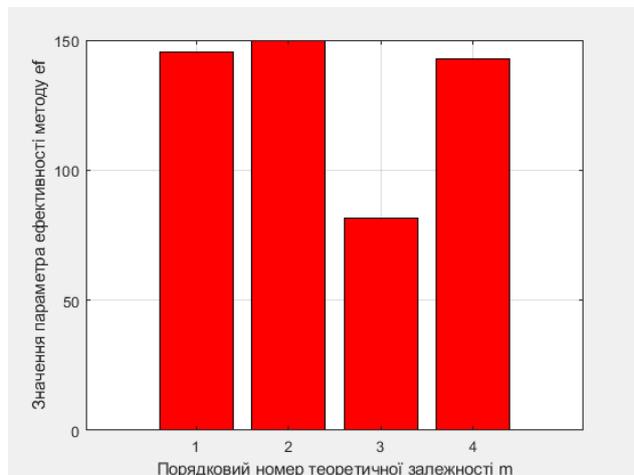


Рисунок 8 – Графічна інтерпретація оптимального вибору типу апроксимуючої функції

Висновки. 1. У даній роботі розроблена програма засобами Matlab для оптимального вибору типу теоретичної функції для апроксимації експериментальних даних зі множини, до якої включено лінійну, параболічну, показникову та степеневу функції, і виконані дослідження за допомогою цієї програми. Програма протестована і показала надійну роботу на чотирьох наборах експериментальних даних, що дає підстави зробити висновок про її придатність для вирішення поставлених у роботі завдань. Запропонована програма дозволяє більш обґрунтовано і точно підібрати тип апроксимуючої функції, ніж це робилося традиційним шляхом, а сам процес вибору вирішити засобами сучасної інформаційної технології.

2. Модульний принцип побудови програми дозволяє у подальшому розширити множину функцій, які використовуються для апроксимації експериментальних даних, шляхом добавляння нових функцій до вже існуючих.

3. Вважаємо, що розроблена програма може бути використана як у навчальному процесі, так і в інженерній практиці під час оброблення даних реальних експериментів.

Список бібліографічного опису.

1. Пех П.А., С.В. Лавренчук, М.В.Делявський, С.В. Гринюк. Лабораторний практикум з програмування мовою C /C++ – Луцьк : Вежа-Друк, 2020. – 228 с.
2. Дьяконов В.П. Matlab і Simulink для радіоінженерів. – М.: «ДМК-Пресс», 2011. -976 с.
3. Бахвалов, М.С. Чисельні методи: Підручник / М.С. Бахвалов, М.П. Жидков, Г.М. Кобельков. - М.: Біном. ЛІЗ, 2011. - 636 с.

References.

1. P.Pekh, O.Kuzmych, N.Zdolbitska, N.Bahniuk, I.Pasternak. Generators of Some Kinds Random Erlang Numbers and Estimation of Their Complexity // IEEEExplore Digital Library (Scopus), Published in: 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208831, ISBN: 978-1-7281-6760-2. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9208831>
2. Björck, Åke . Numerical methods for least squares problems. Philadelphia: SIAM, 1996. ISBN 0-89871-360-9. Greene, William H. Econometric analysis (5th ed.). New Jersey: Prentice Hall, 2002

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-11>

УДК 004.415.3

Пех Петро Антонович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>

Хільчишин Андрій Віталійович, студент

Луцький національний технічний університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІЗНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ ФУНКЦІЙ

Пех П. А., Хільчишин А. В. Порівняльний аналіз різних комп'ютерних технологій чисельного інтегрування функцій. В статті порівнюються різні технології чисельного інтегрування функцій: на базі розробленої авторами програми мовою Matlab, за допомогою електронних таблиць Excel та за стандартною функцією `quad()`.

Ключові слова: формула Сімпсона, підпрограми, Matlab, модуль, чисельне інтегрування

Пех П. А., Хільчишин А. В. Сравнительный анализ различных компьютерных технологий численного интегрирования функций. В статье сравниваются различные технологии численного интегрирования функций: на базе разработанной авторами программы на языке Matlab; с помощью электронных таблиц Excel и с помощью стандартной функции `quad()`.

Ключевые слова: формула Симпсона, подпрограмма, Matlab, модуль, численное интегрирование

Petro Pekh, Andriy Khilchyshyn. Comparative analysis of different computer technologies of numerical integration functions. The article compares different technologies of functions numerical integration: on the basis of the program developed by the authors in Matlab, using Excel spreadsheets and using the standard function `quad()`.

Keywords: Simpson's formula, subroutines, Matlab, module, numerical integration

Постановка задачі. Під час чисельного інтегрування функції за формулою Сімпсона проміжок інтегрування розбивається на парну кількість інтервалів n , і через кожні три сусідні точки, що ділять проміжок інтегрування, проводяться ланки параболі. Тоді величина означеного визначається за формулою [4]: $I = h(y_0 + y_n + 4 \sum_{i=1}^n y_{2i} + 2 \sum_{i=1}^n y_{2i-1})$; n – парне число. Існують багато різних інструментальних засобів, які автоматизують процес інтегрування за формулою Сімпсона [5]. У даній роботі акцент робиться на використанні мови Matlab [1, 2, 3] та електронних таблиць Excel.

Метою нашого дослідження було розроблення програми засобами мови Matlab та електронних таблиць Excel для чисельного інтегрування функцій на базі формули Сімпсона і порівняти результати їх роботи.

Новизна полягає у вирішенні задачі обчислення означених інтегралів різними комп'ютерними технологіями.

Основна частина. Насамперед розглянемо структуру розробленої нами мовою Matlab програми для чисельного визначення величини означеного інтеграла (одного із трьох зазначених у «шапці» програми) з наперед заданою точністю та призначення її окремих частин. Ця програма складається з головної функції та п'ятнадцяти підпрограм різного рівня.

Головна функція `Simpson_Formula_Function` (рис. 1) послідовно викликає до роботи п'ять підпрограм першого рівня, кожна з яких реалізує окрему частину основної задачі, а саме:

- введення вхідних даних;
- ітераційне обчислення послідовних наближень означеного інтеграла;
- ініціалізацію початкових значень робочих змінних;
- виведення на друк всіх послідовних наближень означеного інтеграла;
- виведення на друк підсумкових результатів обчислення інтеграла різними методами.

Після запуску програми на виконання, вона викликає підпрограму першого рівня `inp_data()` (рис. 2), яка забезпечує ввід вхідних даних: прядкового номера v інтеграла з трьох зазначених у «шапці» програми; нижню x_{\min} та верхню x_{\max} межі інтегрування; кількість інтервалів розбиття n проміжку інтегрування:

Введіть номер інтеграла: 1

Введіть нижню межу інтегрування: 0

Введіть верхню межу інтегрування: 1

Введіть кількість інтервалів розбиття проміжку $[x_{\min}; x_{\max}]$: 10

Введені підпрограмою `inp_data()` дані повертаються у головну функцію програми за допомогою параметрів $[v, x_{\min}, x_{\max}, n, eps]$.

Далі з головної функції викликається підпрограма першого рівня `init_data()` (рис. 3), яка встановлює початкові значення робочих змінних програми і повертає їх у головну функцію через відповідні параметри. Серед цих змінних – попереднє I_p та наступне I_k значення інтеграла, номер ітерації k . На кожній k -ій ітерації поточні результати розрахунків інтеграла будуть накопичуватися у відповідних векторах: ks – змінна для зберігання сумарної кількості ітерацій; kk – вектор для зберігання значень номерів ітерацій; nk – вектор для зберігання значень кількості інтервалів розбиття; Ikk – вектор для зберігання значень інтеграла на k -ій ітерації.

```

1  function Simpson_Formula_Function
2  % Обчислення значень трьох означених інтегралів від таких функцій:
3  % f1(x)= 1./(x.^2+4).^(1/2); межі інтегрування a=0; b=1; n=10
4  % f2(x)= (x.^3+1)./(x.^4-3*x.^3+3*x.^2-x); a=2.1; b=4.1; n=10
5  % f3(x)= x./(1-x.^3).^(1/2); a=0; b=0.9; n=10
6  % за формулою Сімпсона з точністю eps=0.001
7
8  % Введення вхідних даних
9  [v,xmin,xmax,n,eps]=inp_data();
10
11 % Ініціалізація початкових значень робочих змінних
12 [Ip,Ik,k,ks,kk,nk,Ikk]=init_data();
13
14 % Ітераційне обчислення послідовних наближень означеного інтеграла
15 [Ik,k,ks,kk,nk,Ikk]=iterat_integr_calc(v,xmin,xmax, ...
16                                     n,eps,Ip,Ik,k,ks,kk,nk,Ikk)
17
18 % Виведення на друк всіх послідовних наближень означеного інтеграла:
19 print_all_iteration(Ip,Ik,k,ks,kk,nk,Ikk,n);
20
21 % Підсумкові результати обчислення інтеграла різними методами:
22 print_res_total(v,Ik,xmin,xmax);
23 stop=input('\nРозв'язок задачі завершено...\n');
end

```

Рис. 1 – Головна функція програми `Simpson_Formula_Function`

```

25 % Введення вхідних даних
26 function [v,xmin,xmax,n,eps]=inp_data()
27 v=input('Введіть номер інтеграла: ');
28 xmin=input('Введіть нижню межу інтегрування: ');
29 xmax=input('Введіть верхню межу інтегрування: ');
30 n=input('Введіть кількість інтервалів розбиття проміжку [xmin; xmax]: ');
31 eps=0.001; % Точність обчислення означеного інтеграла
32 end

```

Рис. 2 – Підпрограма введення вхідних даних

```

34 % Ініціалізація початкових значень робочих змінних
35 function [Ip,Ik,k,ks,kk,nk,Ikk]=init_data()
36 Ip=0; % Попереднє наближення значення інтеграла
37 Ik=1; % Наступне наближення значення інтеграла
38 k=0; % Номер поточної ітерації
39 ks=0; % Змінна для зберігання сумарної кількості ітерацій
40 kk=[]; % Вектор для зберігання значень номерів ітерацій
41 nk=[]; % Вектор для зберігання значень кількості інтервалів розбиття
42 Ikk=[]; % Вектор для зберігання значень інтеграла на певній ітерації
43 end

```

Рис. 3 – Підпрограма ініціалізації початковими значеннями робочих змінних

Третьою за порядком з головної функції викликається підпрограма першого рівня `iterat_integr_calc(v, xmin, xmax, n, eps, Ip, Ik, k, ks, kk, nk, Ikk)` (рис. 4), яка за допомогою оператора `while abs(Ik-Ip)>eps` реалізує ітераційний процес обчислення означеного інтеграла шляхом багаторазового виклику підпрограми другого рівня `integr_k(v, xmin, xmax, n, eps, Ip, Ik, k, ks, kk, nk, Ikk)`. Виконання оператора `while` припиняється, як тільки буде досягнута задана точність обчислень. Крім того, після завершення

```

45     % Ітераційне обчислення послідовних наближень означеного інтеграла
46     function [Ik,k,ks,kk,nk,Ikk]=iterat_integr_calc(v,xmin,xmax, ...
47         n,eps,Ip,Ik,k,ks,kk,nk,Ikk)
48     while abs(Ik-Ip)>eps
49         % Обчислення k-го наближення означеного інтеграла
50         [Ip,Ik,k,n,x,y,ks,kk,nk,Ikk]=integr_k(v,xmin,xmax,n,eps, ...
51             Ip,Ik,k,ks,kk,nk,Ikk);
52         if k==1 % Побудова гістограми підінтегральної функції
53             plot_figure(v,x,y);
54         end
55     end
56 end
    
```

Рис. 4 – Підпрограма ітераційного обчислення послідовних наближень означеного інтеграла

першої ітерації за допомогою підпрограми другого рівня `plot_figure(v, x, y)` (рис. 11) на екран виводиться гістограма підінтегральної функції. Результати побудов для всіх трьох розглядуваних інтегралів наведені на рис. 15.

Підпрограма `integr_k(v, xmin, xmax, n, eps, Ip, Ik, k, ks, kk, nk, Ikk)` (рис.5) під час виконання ітераційного процесу у свою чергу послідовно викликає п'ять підпрограм третього рівня. Вони реалізують такі частини основного алгоритму.

- `cycle_preparation(k, xmin, xmax, n, Ik)` (рис. 6) – підготовка ітераційного циклу;
- `tab_func(v, n, xmin, dx, s1, s2)` (рис. 7) – табулювання функції та обчислення допоміжних сум;
- `integr_calc(s1, s2, dx, y, n, k)` (рис. 8) – обчислення інтеграла за формулою Сімпсона та виведення результату;
- `accumulation(ks, kk, nk, Ikk, k, n, Ik)` (рис. 9) – накопичення даних для їх подальшого аналізу;
- `correction_data(n)` (рис. 10) – корекція значення кількості інтервалів n .

Зокрема, результати табулювання підінтегральної функції та обчислення значення означеного інтеграла на першій ітерації виводяться у такому вигляді:

Результати табулювання підінтегральної функції:

```

x= 0.00000 y= 0.50000
x= 0.10000 y= 0.49938
x= 0.20000 y= 0.49752
x= 0.30000 y= 0.49447
x= 0.40000 y= 0.49029
x= 0.50000 y= 0.48507
x= 0.60000 y= 0.47891
x= 0.70000 y= 0.47193
x= 0.80000 y= 0.46424
x= 0.90000 y= 0.45596
x= 1.00000 y= 0.44721
    
```

```

s= 0.94721 s1= 1.93096 s2= 2.40681
    
```

Наближене значення інтеграла на 1-ій ітерації:

```

k= 1 n= 10 Ik= 0.44949
    
```

Як тільки точність обчислень буде досягнута, головна функція викличе підпрограму другого рівня `print_all_iteration(Ip, Ik, k, ks, kk, nk, Ikk, n)` (рис. 12), яка виведе на друк всі послідовні наближення означеного інтеграла у такому вигляді:

Послідовні наближення значення інтеграла:

```

k= 1 n= 10 Ik= 0.44949
    
```

k= 2 n= 100 Ik= 0.47805
k= 3 n= 1000 Ik= 0.48090
k= 4 n= 10000 Ik= 0.48118

```
58 % Обчислення k-го наближення означеного інтеграла
59 function [Ip,Ik,k,n,x,y,ks,kk,nk,Ikk]=integr_k(v,xmin,xmax,n,eps, ...
60     Ip,Ik,k,ks,kk,nk,Ikk);
61 % Підготовка ітераційного циклу
62 [k,dx,s1,s2,x,y,Ip]=cycle_preparation(k,xmin,xmax,n,Ik);
63
64 % Табулювання функції та обчислення допоміжних сум
65 [x,y,s1,s2]=tab_func(v,n,xmin,dx,s1,s2);
66
67 % Обчислення інтеграла за формулою Сімпсона та виведення результату
68 [s1,s,Ik]=integr_calc(s1,s2,dx,y,n,k);
69
70 % Накопичення даних для подальшого аналізу
71 [ks,kk,nk,Ikk,k,n,Ik]=accumulation(ks,kk,nk,Ikk,k,n,Ik);
72
73 % Коррекція значення кількості інтервалів n
74 [n]=correction_data(n);
75 end
```

Рис. 5 – Підпрограма обчислення k-го наближення означеного інтеграла

```
77 % Підготовка ітераційного циклу
78 function [k,dx,s1,s2,x,y,Ip]=cycle_preparation(k,xmin,xmax,n,Ik)
79 k=k+1; % Поточне значення номера ітерації
80 if k==1
81 Ip=0; % Попереднє наближення інтеграла
82 else
83 Ip=Ik; % Запам'ятовуємо наступне наближення інтеграла як попереднє
84 end
85 dx=(xmax-xmin)/n; % Крок інтегрування
86 s1=0; % Обнулення допоміжної суми парних елементів
87 s2=0; % Обнулення допоміжної суми непарних елементів
88 fprintf('\nРезультати табулювання підінтегральної функції:\n');
89 x=[]; % Очищення вектора абсцис функції x
90 y=[]; % Очищення вектора ординат функції y
91 end
```

Рис. 6 – Підпрограма підготовки ітераційного циклу

```
93 % Табулювання функції та обчислення допоміжних сум
94 function [x,y,s1,s2]=tab_func(v,n,xmin,dx,s1,s2)
95 for i=1:n+1; % формування значень елементів векторів x та y
96 x(i)=xmin+dx*(i-1); % формування вектора абсцис точок розбиття
97 if v==1
98 y(i)=f1(x(i)); % формування вектора ординат в точках розбиття
99 end
100 if v==2
101 y(i)=f2(x(i)); % формування вектора ординат в точках розбиття
102 end
103 if v==3
104 y(i)=f3(x(i)); % формування вектора ординат в точках розбиття
105 end
106 if rem(i,2)>0
107 s1=s1+y(i);
108 end
```

Рис. 7 – Підпрограма табулювання підінтегральної функції та обчислення допоміжних сум (початок)

```
109 -     if rem(i,2)==0
110 -         s2=s2+y(i);
111 -     end
112 -     fprintf('\nx=%8.5f y= %8.5f',x(i), y(i)); % Друк абсцис та ординат
113 - end
114 - end
```

Рис. 7 – Підпрограма табулювання підінтегральної функції та обчислення допоміжних сум (кінець)

```
116     % Обчислення інтеграла за формулою Сімпсона та виведення результату
117     function [s1,s,Ik]=integr_calc(s1,s2,dx,y,n,k)
118 -         s1=s1-y(1)-y(n+1);
119 -         s=y(1)+y(n+1)+4*s1+2*s2;
120 -         Ik=s*dx./3; % Інтеграл за формулою Сімпсона
121 -         fprintf('\ns= %8.5f s1= %8.5f s2= %8.5f',y(1)+y(n+1), s1, s2)
122 -         fprintf('\n\nНаближене значення інтеграла на %2d-ій ітерації:', k);
123 -         fprintf('\nk=%4d n=%8d Ik= %8.5f',k, n, Ik);
124 -     end
```

Рис. 8 – Підпрограма обчислення інтеграла за формулою Сімпсона та виведення результату

```
126     % Накопичення даних для подальшого аналізу
127     function [ks, kk, nk, Ikk, k, n, Ik]=accumulation(ks, kk, nk, Ikk, k, n, Ik)
128 -         ks=ks+1; % Змінна для зберігання сумарної кількості ітерацій
129 -         kk=[kk k]; % Вектор для зберігання значень номерів ітерацій
130 -         nk=[nk n]; % Вектор для зберігання значень кількості інтервалів розбиття
131 -         Ikk=[Ikk Ik]; % Вектор для зберігання значень інтеграла на певній ітерації
132 -     end
```

Рис. 9 – Підпрограма накопичення даних для їх подальшого аналізу

```
134     % Корекція значення кількості інтервалів n
135     function [n]=correction_data(n)
136 -         n=10*n; % Збільшення у 10 разів кількості інтервалів
137 -         stop=input('\nНатисніть яку-небудь кнопку, щоб продовжити...');
138 -     end
```

Рис. 10 – Підпрограма корекції значення кількості інтервалів розбиття проміжку інтегрування

```
140     % Побудова гістограми підінтегральної функції
141     function plot_figure(v,x,y)
142 -         % Вибір графічного вікна для побудови графіка функції
143 -         figure(v);
144 -         area(x,y), grid on; % Побудова графіка підінтегральної функції
145 -     end
```

Рис. 11 – Підпрограма побудови гістограми підінтегральної функції

```
147     % Виведення на друк всіх послідовних наближень означеного інтеграла:
148     function print_all_iteration(Ip, Ik, k, ks, kk, nk, Ikk, n)
149 -         fprintf('\n\nПослідовні наближення значення інтеграла:');
150 -         for i=1:ks
151 -             fprintf('\nk=%4d n=%8d Ik= %8.5f',kk(i), nk(i), Ikk(i));
152 -         end
153 -         stop=input('\n\nНатисніть яку-небудь кнопку, щоб продовжити...');
154 -     end
```

Рис. 12 – Підпрограма виведення на друк всіх послідовних значень означеного інтеграла

Останньою головною функцією викличе підпрограму другого рівня `print_res_total(v, Ik, xmin, xmax)` (рис. 12), яка виведе на друк підсумкові результати обчислення інтеграла різними методами:

Підсумкові результати обчислення 1-го інтеграла:
Значення інтеграла за формулою Сімпсона $I_k = 0.48118$
Значення інтеграла, обчислене за первісною $I_t = 0.48121$
Значення інтеграла за стандартною функцією $I_s = 0.48121$

```
156 % Підсумкові результати обчислення інтеграла різними методами::
157 function print_res_total(v, Ik, xmin, xmax)
158     fprintf('\n\nПідсумкові результати обчислення %2d-го інтеграла:', v);
159     if v==1
160         fp=inline('log(x+(x.^2+4).^(1/2))'); % Первісна функція від f1(x)
161         It=fp(xmax)-fp(xmin); %Значення інтеграла, обчислене за первісною
162         Is=quad('1./(x.^2+4).^(1/2)', xmin, xmax); % Використано функцію Matlab
163     end
164     if v==2
165         fp=inline('-x./(x-1).^2+log(((x-1).^2)./abs(x))'); % Первісна від f2(x)
166         It=fp(xmax)-fp(xmin); %Значення інтеграла, обчислене за первісною
167         Is=quad('(x.^3+1)./(x.^4-3*x.^3+3*x.^2-x)', xmin, xmax); % функція Matlab
168     end
169     if v==3
170         Is=quad('x./(1-x.^3).^(1/2)', 0, 0.9); % Використано функцію Matlab
171     end
172     fprintf('\n\nЗначення інтеграла за формулою Сімпсона Ik= %8.5f', Ik);
173     if (v==3)
174         fprintf('\nЗначення інтеграла, обчислене за первісною не існує');
175     else
176         fprintf('\nЗначення інтеграла, обчислене за первісною It= %8.5f', It);
177     end
178     fprintf('\nЗначення інтеграла за стандартною функцією Is= %8.5f', Is);
179     fprintf('\n');
180     stop=input('\n\nНатисніть яку-небудь кнопку, щоб продовжити...');
181 end
```

Рис. 13 – Підпрограма виведення на друк результатів обчислення інтеграла різними методами

Зазначимо, що кожного разу, коли є потреба обчислити значення підінтегральної функції, викликаються підпрограми першого рівня $f_1(x)$, $f_2(x)$ чи $f_3(x)$ (рис. 14).

```
183 % Оголошення підпрограми-функції f1
184 function y1=f1(x);
185     y1=1./(x.^2+4).^(1/2);
186 end
187
188 % Оголошення підпрограми-функції f2
189 function y2=f2(x);
190     y2=(x.^3+1)./(x.^4-3*x.^3+3*x.^2-x);
191 end
192
193 % Оголошення підпрограми-функції f3
194 function y3=f3(x);
195     y3=x./(1-x.^3).^(1/2);
196 end
```

Рис. 14 – Підпрограми оголошень трьох підінтегральних функцій

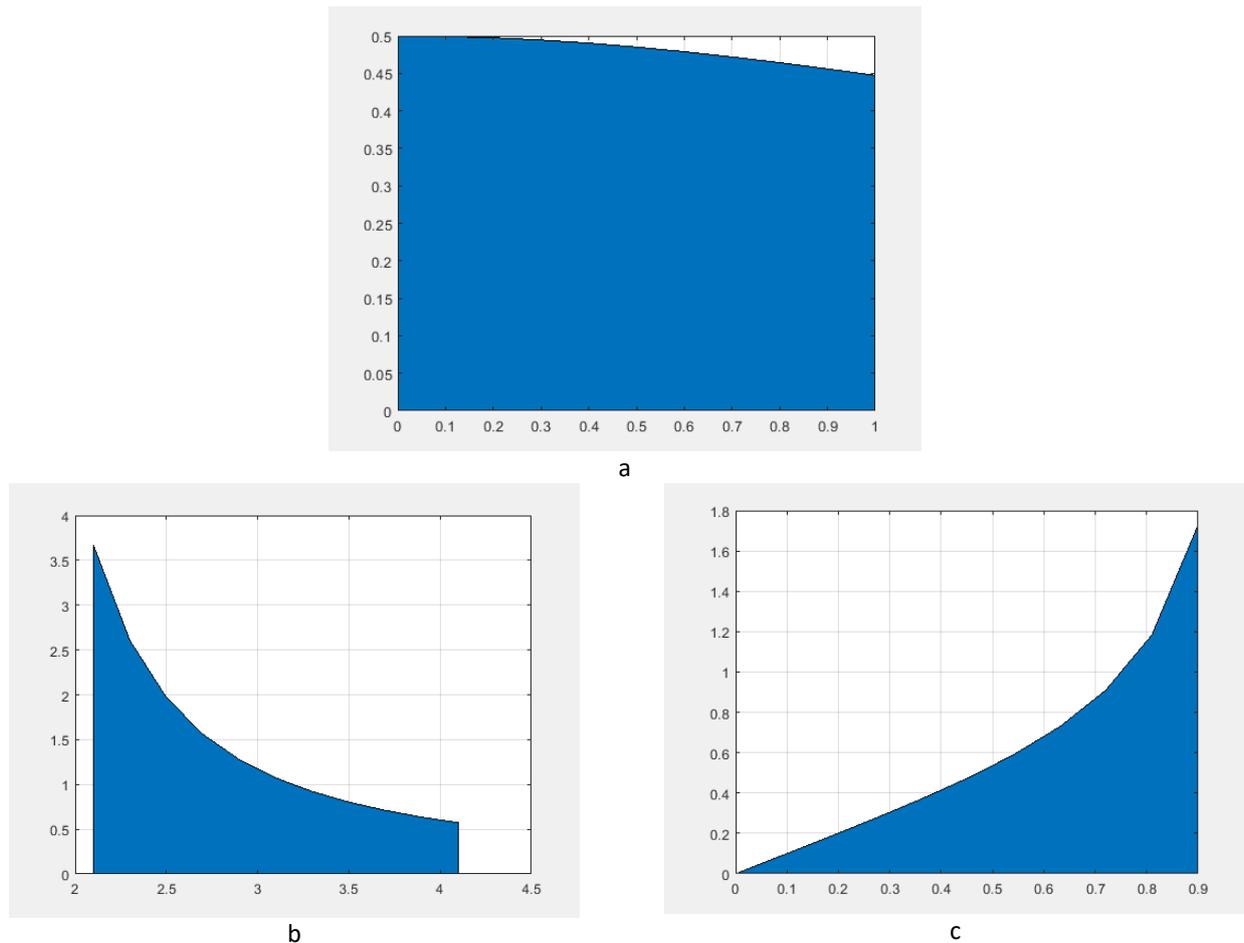


Рис. 15 – Гістограми підінтегральних функцій:

$$a - f_1(x) = \frac{1}{\sqrt{x^2+4}}; \quad b - f_2(x) = \frac{x^3+1}{x^4-3x^3+3x^2-x}; \quad c - f_2(x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^3}}.$$

Розглянемо тепер фрагмент електронної таблиці (рис. 16), розроблену нами для обчислення інтеграла $I_1 = \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{x^2+4}}$ за формулою Сімпсона. Формула Сімпсона відрізняється, по-перше, тим, що відрізок інтегрування ділиться на парне число частин, по-друге, у ній використовуються три допоміжні суми. Перша допоміжна сума (клітина C15) – це сума значень функції на початку (клітина C4) та кінці (клітина C14) проміжку інтегрування. Друга допоміжна сума (клітина D15) – це сума значень функції з непарними індексами (клітини D5 – D13); далі ця сума множиться на 4. Третя допоміжна сума (клітина E15) – це сума значень функції з парними індексами (клітини E5 – E13); далі ця сума множиться на 2. Отримані у таких спосіб величини додаються і множаться на крок інтегрування 0,1 та діляться на 3. Це й буде значення означеного інтеграла (клітина C16). Далі ця електронна таблиця конструюється аналогічно з кроками 0,01; 0,001; 0,0001 і т.д., поки два послідовних значення означеного інтеграла не співпадуть у межах заданої точності.

	A	B	C	D	E
1					
2	Формула Сімпсона				
3	h=0,1		$x \times x^2 + 4)^{1/2}$	Непарні	Парні
4	1	0	0,50000		
5	2	0,1	0,49938	0,00000	0,49938
6	3	0,2	0,49752	0,49752	0,00000
7	4	0,3	0,49447	0,00000	0,49447
8	5	0,4	0,49029	0,49029	0,00000
9	6	0,5	0,48507	0,00000	0,48507
10	7	0,6	0,47891	0,47891	0,00000
11	8	0,7	0,47193	0,00000	0,47193
12	9	0,8	0,46424	0,46424	0,00000
13	10	0,9	0,45596	0,00000	0,45596
14	11	1	0,44721		
15			0,94721	1,93096	2,40681
16			0,44949		

Рис. 16 – Електронна таблиця для обчислення інтеграла $I_1 = \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{x^2+4}}$ за формулою Сімпсона

У табл. 1 наводяться підсумкові результати обчислення трьох означених інтегралів різними методами. Порівнюючи ці результати, можна стверджувати, що всі розглядувані методи обчислення означених інтегралів забезпечують необхідну точність.

Табл. 1 – Підсумкові результати обчислення означених інтегралів різними методами

Метод обчислення інтеграла	$\int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{x^2+4}}$	$\int_{2.1}^{4.1} \frac{x^3+1}{x^4-3x^3+3x^2-x} dx$	$\int_0^{0.9} \frac{x dx}{\sqrt{1-x^3}}$
За розробленою програмою	0.48118	2.71200	0.50348
За первісною функцією	0.48121	2.71203	не існує
За стандартною функцією Matlab	0.48121	2.71203	0.50353

Висновки. 1. У даній статті розроблені програма засобами Matlab та електронні таблиці засобами Excel для розрахунку трьох означених інтегралів з наперед заданою точністю. Крім того, величини інтегралів визначалися також за допомогою стандартної функції quad(). Розрахунки показали, що всі три методи забезпечують задану точність обчислень.

2. Модульний принцип побудови програми дозволяє у подальшому розширити кількість підінтегральних функцій, що є важливим як з теоретичної, так і практичної точки зору.

3. Вважаємо, що розроблена програма може бути використана як у навчальному процесі, так і в інженерній практиці під час обчислення означених інтегралів.

References.

1. P.Pekh, O.Kuzmych, N.Zdolbitska, N.Bahniuk, I.Pasternak. Generators of Some Kinds Random Erlang Numbers and Estimation of Their Complexity // IEEEExplore Digital Library (Scopus), Published in: 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208831, ISBN: 978-1-7281-6760-2. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9208831>

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. – 162 с. Формат А4
2. Дьяконов В.П. Matlab і Simulink для радіоінженерів. – М.: «ДМК-Пресс», 2011. -976 с.
3. Бахвалов, М.С. Чисельні методи: Підручник / М.С. Бахвалов, М.П. Жидков, Г.М. Кобельков. - М.: Біном. ЛІЗ, 2011. - 636 с.
4. Björck, Åke . Numerical methods for least squares problems. Philadelphia: SIAM, 1996. ISBN 0-89871-360-9. Greene, William H. Econometric analysis (5th ed.). New Jersey: Prentice Hall, 2002

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-12>

УДК 004.4

Ткачук Валерій Олегович, студент

<https://orcid.org/0000-0002-7125-699X>

ІТ СТЕП Університет, м. Львів

РWA, ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК ОБ'ЄДНАННЯ ВЕБ ТА МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ткачук В. О. РWA, як перспективний напрямок об'єднання веб та мобільних технологій. У статті описано РWA, як перспективний напрямок об'єднання веб та мобільних технологій. Описано генезис прогресивних веб-додатків від поняття до структури розробки. Підкреслено, що РWA це технологія веб-розробки, яка візуально та функціонально трансформує сайт на додаток для різних пристроїв, яка дозволяє істотно полегшити розробку у сфері веб-додатків, програмісти / розробники не масово переходять на використання цієї технології у своїх проєктах. Окреслено чотири основні групи технологій РWA, які поділяються на статичні, клієнтські, групу фреймворку та Service-Worker. У свою чергу наголошено, що Service-Worker це код JavaScript, який запускається браузером у фоновому режимі цей код не залежить від веб-сторінки, яка дає доступ до функцій, для яких не потрібна веб-сторінка або взаємодія з користувачем. Графічно представлено архітектуру РWA з встановленням всіх компонентів та зв'язків між ними. Розкрито переваги та недоліки РWA. До головних переваг віднесено: властивості нативної програми, кросплатформність, кешування у браузері, автономність, робота за протоколом HTTPS, відокремленість від серверної частини. Недоліки сформовано у вигляді наступних позицій: низький рівень доступу до функцій, низька якість роботи офлайн, низький зв'язок з операційними системами. Відокремлено два напрямки розробки інформаційного забезпечення: нативні додатки та адаптивні веб-сайти. Сформовано поняття кожного напрямку, так адаптивні веб-сайти вписуються у екран будь-якого розміру будь-то планшет чи мобільний телефон, а нативні програми створені для певного пристрою та можуть бути запущені за допомогою піктограм на головному екрані пристрою, зазвичай вони завантажуються з магазину програм та встановлюються на пристрій. Підкреслено, що різниця між РWA та нативними програмами полягає в тому, що нативні програми залежать від платформи, тобто їх можна запускати лише в тій операційній системі, для якої вони були розроблені. Наголошено, що основна відмінність між технологією веб-розробки, яка візуально та функціонально трансформує сайт на додаток для різних пристроїв і адаптивними веб-сайтами полягає у функціональності, у той час, як в інтерфейсі користувача особливої різниці немає.

Ключові слова: технологія, мобільний додаток, веб, прогресивний веб-додаток, перспектива, інновації, розробка.

Tkachuk Valerii. PWA as a prospective direction of combining web and mobile technologies. The article describes PWA as a promising direction for combining web and mobile technologies. The genesis of progressive web applications from concept to development structure is described. It is emphasized that PWA is a web development technology that visually and functionally transforms the site into an application for various devices, which significantly facilitates the development of web applications, programmers / developers do not switch to using this technology in their projects. Four main groups of PWA technologies are outlined, which are divided into static, client, framework group and Service-Worker. In turn, it is emphasized that Service-Worker is JavaScript code that runs in the browser in the background, this code does not depend on the web page, which gives access to features that do not require a web page or user interaction. The PWA architecture is graphically represented with all the components and connections between them. The advantages and disadvantages of PWA are revealed. The main advantages include: native program properties, cross-platform, browser caching, autonomy, HTTPS, separation from the server side. Disadvantages are formed in the form of the following items: low level of access to functions, low quality of offline work, low connection with operating systems. There are two areas of information support development: native applications and adaptive websites. The concept of each direction is formed, so adaptive websites fit into the screen of any size, whether tablet or mobile phone, and native applications are created for a specific device and can be launched using icons on the home screen of the device, usually downloaded from the app store and installed on the device. It is emphasized that the difference between PWA and native programs is that native programs depend on the platform, ie they can be run only in the operating system for which they were designed. It is emphasized that the main difference between web development technology, which visually and functionally transforms a site into an application for different devices, and adaptive websites is functionality, while the user interface does not differ much.

Key words: technology, mobile application, web, progressive web application, perspective, innovation, development.

Вступ та постановка завдання. Вплив технологічних змін на сучасні продукти та послуги колосальний. З появою смартфонів практика розробки традиційних мобільних додатків зазнає інноваційних змін, цей процес є трудомістким і дорогим через потребу програмістів розробляти, тестувати та підтримувати програми для всіх різних платформ і пристроїв. Тому більшість розробників мобільного програмного забезпечення реалізують різні стратегії для покращення розробки додатків, починаючи від нативних програм і закінчуючи гібридними програмами. Крім того, протягом багатьох років було створено кілька підходів до кросплатформної розробки у вигляді альтернативного шляху для нативної розробки.

Мобільний Інтернет заснований на веб-додатку, який часто називають кросплатформним. Цей тип додатків відповідає стандартним мовам, таким як HTML5, CSS3 та JavaScript, які пропонують перевагу повної сумісності додатків між такими платформами, як Android та Apple.

Поява кросплатформних фреймворків розробки, значно полегшило створення додатків для кількох платформ. Крім того, це зменшує витрати на розробку та зусилля, а також забезпечує швидший вихід на ринок. Однак кросплатформні підходи переважають не у всіх випадках, оскільки він забезпечує низьку продуктивність і користувальницький досвід через свою залежність від WebView (інтегрований у програму компонент браузера) та обмеження браузера.

Прогресивні веб-додатки (PWA) – це нова веб-технологія, яку Google підтримує як новий спосіб розробки, оскільки вони обіцяють поєднати простоту розробки веб-технологій з універсальністю вбудованих додатків і знаннями для подолання обмежень мобільних веб-додатків. Шляхом введення таких функцій, як автономна підтримка, push-сповіщення, фонові синхронізація та встановлення на домашній екран у Інтернеті. Крім того, PWA було вдосконалено деякими технологіями, які дозволяють використовувати нативну поведінку на мобільному пристрої, при цьому функціонуючи у веб-браузері. Однак через новизну наукове висвітлення PWA як кросплатформного рішення для розробки було менш поширеним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах сучасного розвитку, актуальності набувають роботи направлені розвиток веб-технологій та технологій мобільного зв'язку.

В. О. Безуглий та Р. В. Петросян [1] дослідили сучасні сайти як прогресивні веб-додатки, авторами описано технологію progressive web application яка є технологією, яка додає сайту функціональність додатку. Розглянули переваги використання PWA в сучасних проектах.

Т. О. Прищепа та А. Р. Чайковський [2] проаналізували можливості технології PWA для побудови сучасного інформаційного середовища. Науковці запропонували архітектуру progressive web application та розкрили головні компоненти задіяні у розробці.

Розробку ігрового застосунку з використанням технології прогресивного веб-додатку запропонували А. О. Писаренко та С. В. Коваленко [3]. Для гри використовується такий алгоритм: алгоритм для обходу дерева, починається з кореня дерева (або іншої обраної вершини в графі) і здійснюється обхід в максимально можливу глибину до переходу на наступну вершину. Алгоритм пошуку описується рекурсивно.

Дослідженню теоретико-методичних засад та практичних аспектів використання нової технології створення вебдодатків — Progressive Web Applications (PWA), яка була анонсована Google у 2015 році присвячена робота [4]. О. В. Корзаченко та К. І. Чернявський наголошують що особливості переваги від використання PWA можуть отримати компанії у сфері e-commerce й інформаційного бізнесу. Зручність використання таких додатків, високий рівень UI/UX, їх швидкодія та невибагливість до ресурсів, можливість роботи без підключення до інтернету сприяють розширенню мобільної присутності компаній у вебпросторі, зростанню конверсії та збільшенню доходів, які надходять з інтернет-каналів. Важливою перевагою є невисока вартість розробки та супроводу PWA у порівнянні з їх нативними аналогами, що пояснюється кросплатформністю готового продукту.

Ю. А. Гуренко та О. В. Старкова [5] дослідили принципи та механізми реалізації Progressive Web App або PWA. Авторами зазначено, що найкращий спосіб для розробників змусити свої веб-програми завантажуватися швидше і бути продуктивнішими. У статті підкреслено, що PWA – це технологія у веб-розробці, з її допомогою можна побудувати сайт, що візуально і функціонально нагадує мобільний додаток, тільки він буде відображатись у браузері.

Л.В. Харитоновна, В.В. Донець та А.В. Коник [6] здійснили розробку веб-додатку на основі технології PWA. Авторами доведено продуктивність та дієвість новітніх технологій.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Asthana, Ajeeta [7], Kottmyer, Chris & Zhao, Kevin & Kostic, Zona & Jevremovic, Aleksandar [8], Magomadov, Viskhan [9], Khan, Asharul & Al-Badi, Ali & Al Kindi, Mahmood [10], Nurpeisov, Y.M. [11], Nurwanto, Nurwanto [12], Napif, Muhammad & Kosasi, Sandy & Gat, & Kuway, Susanti & Wijaya, Tony [13], Kurniawan, Antonius [14], Gambhir, Abhi & Raj, Gaurav [15], Adetunji, Oluwatofunmi & Ajaegbu, Chigozirim & Nzechukwu, Otuneme [16] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання дослідження PWA, як перспективного напрямку об'єднання веб та мобільних технологій залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Здійснити опис PWA, як перспективного напрямку об'єднання веб та мобільних технологій.

Викладення основного матеріалу дослідження. Прогресивна веб-програма – це технологія веб-розробки, яка візуально та функціонально трансформує сайт на додаток для різних пристроїв. В даний час незважаючи на те, що технологія PWA дозволяє істотно полегшити

розробку у сфері веб-додатків, програмісти / розробники не масово переходять на використання цієї технології у своїх проєктах.

Генезис технології PWA бере свій початок з 2007 року, так корпорація Apple здійснила дану розробку та надала у користування в браузері Safari для операційних систем macOS і iOS. Однак інноваційна технологія не знайшла прихильників, однак у березні 2018 року відбулися суттєві зміни у сфері реалізації веб-стандартів. В оновленій операційній системі iOS корпорація Apple додала підтримку технології Service Worker в мобільну версію браузера Safari, і після цього решта компаній-розробників софту в області веб-технології почали активно впроваджувати технологію PWA у свої платформи.

Технології, що використовуються для створення PWA варто згрупувати на чотири основні групи.

До першої групи відносять: HTML5, CSS3, JavaScript, які направлено на створення користувацького інтерфейсу. Дана група є статичною. Цей інтерфейс, відомий як оболонка програми, кешується на мобільному пристрої користувача, тому його можна завантажувати без будь-яких затримок, які можуть мати місце через погане мережеве підключення.

Друга група це клієнтська сторона, яка використовує виклики веб-сервісів для завантаження та рендерингу контенту так само, як це робиться в нативних програмах. Даний факт працює на попередження події при якій при виконанні кожного запиту інтерфейс користувача і дані об'єднуються на стороні сервера і відразу відправляються клієнту.

Третя група ґрунтується на Service-Worker. ServiceWorker – це код JavaScript, який запускається браузером у фоновому режимі. Цей код не залежить від веб-сторінки, яка дає доступ до функцій, для яких не потрібна веб-сторінка або взаємодія з користувачем.

Четверта група це група фреймворків. До них можна віднести Angular, React або Vue. Ці фреймворки мають вбудовані сервіс-воркери, тому немає необхідності перебудовувати їх для кожної PWA.

На рисунку 1 наведено архітектуру PWA.

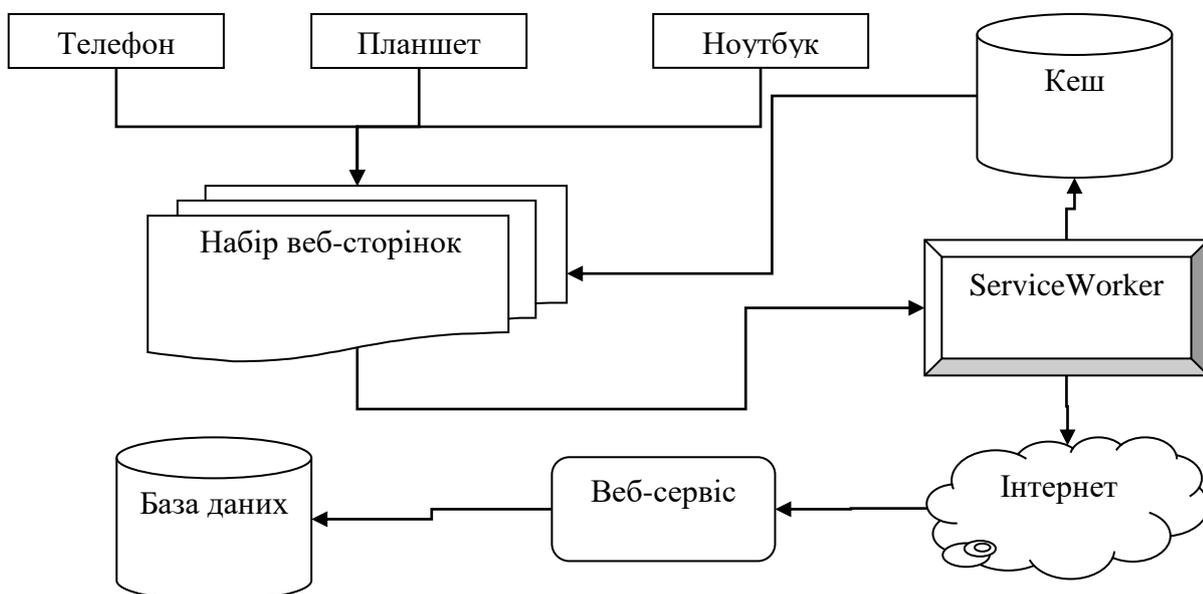


Рисунок 1 – Архітектура PWA

Існує три основні компоненти PWA: Service Workers і App Shell.

1. Оболонка додатка: використовується для зберігання статичного вмісту програми, такого як панель навігації, домашня сторінка та інші ресурси, які залишаються однаковими для всієї програми (HTML, CSS-Minimal і JavaScript). Це робиться для того, щоб надати скелет програми під час офлайн-запиту. Ця функція допомагає скоротити час завантаження додатків, який ще більше зменшується, коли користувач знову відвідує веб-додаток.

2. Service Workers: виконує технічну роботу, таку як фонові синхронізація та push-повідомлення. Це ефективно, оскільки Service Workers запускає окремий потік браузера разом з іншими API, щоб забезпечити власні функції програми. Service Worker – це скрипт, який виконується у фоновому режимі для отримання повідомлень, навіть якщо програма не активна.

3. Маніфест веб-програми: це файл, який надає розробнику програми певні параметри, які можна змінити, наприклад шлях до зображення логотипу, назву програми тощо. Він використовується для зміни поведінки та стилю PWA.

До переваг використання PWA варто віднести:

1. Легко навчатися та розвиватися, використовуючи існуючі веб-технології. Прогресивний веб-додаток має властивості нативної програми і, в той же час, дозволяє використовувати функціонал браузера, що забезпечує додаткові можливості.

2. Встановлення програми на пристрій користувача перед використанням не є обов'язковим.

3. Dodatok може бути доступним користувачам у автономному режимі. Програма кешується в пам'яті браузера і таким чином зберігає працездатність у автономному режимі.

4. PWA-технологія володіє кросплатформеністю. Розроблені із застосуванням цієї технології програми можна встановлювати на будь-які пристрої незалежно від платформи та операційної системи. Це є великою перевагою в порівнянні з нативними додатками

5. PWA працюють лише за протоколом HTTPS, що робить його дуже захищеним.

6. Клієнтська частина розробки відокремлена від серверної частини. Завдяки цьому витрачається менше ресурсів та часу на розробку та доопрацювання дизайну.

7. Головною перевагою прогресивної веб-програми в порівнянні з традиційною є обсяг, який вона займає в пам'яті пристрою.

До недоліків використання PWA варто віднести:

1. PWA не мають повного доступу до всіх низькорівневих функцій мобільних пристроїв.

2. Робота офлайн обмежена, тому що будь-який прогресивний веб-додаток в першу чергу орієнтований на роботу з доступом до Інтернету. Але цей недолік не є серйозним, тому що на сьогоднішній день більшість пристроїв мають постійне підключення до Інтернету.

3. Користувачі не можуть вирішити оновити програму, оскільки програма автоматично оновлюється після відвідування.

4. Не всі операційні системи підтримують повний функціонал прогресивного веб-додатку. Це наслідок того, що технологія PWA, хоч і підтримується найпопулярнішими операційними системами, проте впроваджена ще не у всі платформи.

Загалом інформаційне забезпечення поділяється на нативні додатки та адаптивні веб-сайти. Останні вписуються у екран будь-якого розміру будь-то планшет чи мобільний телефон. У наші дні навряд чи можна знайти професійний сайт, який не відповідає цій вимозі, і це вважається обов'язковим. Фактично більшість користувачів не проводять багато часу на веб-сайтах, розмір яких не відповідає розміру екрана їхнього пристрою. Щоб зробити веб-сайт адаптивним, існує набір часто використовуваних інструментів, таких як медіа-запити CSS, гнучкі макети та сітки, а також зображення. Коли користувач переключається зі свого ноутбука на смартфон, веб-сайт автоматично підлаштовується до розміру цього пристрою.

Основна відмінність між технологією веб-розробки, яка візуально та функціонально трансформує сайт на додаток для різних пристроїв і адаптивними веб-сайтами полягає у функціональності, у той час, як в інтерфейсі користувача особливої різниці немає. PWA має веб-сторінки, до яких можна отримати доступ через URL, як і будь-який інший веб-сайт. Однак PWA забезпечує функціональність, яка більш характерна для нативної програми, і цього не вистачає адаптивному веб-сайту. Користувачі можуть персоналізувати PWA відповідно до своїх потреб. Наприклад, вони можуть увімкнути push-повідомлення, доступ до камери і навіть додати PWA на головні екрани своїх пристроїв так само, як вони додають нативні програми.

Нативні програми створені для певного пристрою та можуть бути запущені за допомогою піктограм на головному екрані пристрою. Зазвичай вони завантажуються з магазину програм та встановлюються на пристрій. Однією з основних характеристик програми є те, що вона може використовувати всі функції, доступні на пристрої. Наприклад, вона може використовувати GPS пристрої, камеру, звук та багато іншого. Крім того, нативна програма може використовувати систему повідомлень пристрою.

Різниця між PWA та нативними програмами полягає в тому, що нативні програми залежать від платформи, тобто їх можна запускати лише в тій операційній системі, для якої вони були розроблені. Вони залежать від інструментів розробника, доступних в операційній системі, щоб користувачі могли скористатися їх функціональними можливостями. PWA в основному залежить від браузера, через який до них можна отримати доступ. Їх не потрібно розробляти для конкретної

платформи, оскільки їх можна запускати на будь-якому сучасному пристрої з браузером. Багато в чому вони діють як нативні програми, але не контролюють обладнання пристрою.

Висновки. У роботі описано PWA, як перспективний напрямок об'єднання веб та мобільних технологій. Інноваційні розробки PWA є перспективним напрямком та вимагає особливої уваги науковців, їх не можна ані недооцінити, ані порівняти з існуючими (традиційними) стратегіями мобільного розвитку. Компанії, що займаються розробкою, прагнуть скоротити час розробки, час тестування та витрати, а також загальні витрати на технічне обслуговування, що є відносно неможливим при прийнятті нативної та гібридної архітектури розробки. Підхід до мобільної веб-розробки повністю усунув проблему мобільної фрагментації, яка означає, що мобільний додаток тепер може працювати на будь-якій мобільній платформі за допомогою браузера і не буде потребувати повторної розробки. PWA повністю вніс новий вимір за допомогою сервісного працівника, оболонки програми та інших компонентів, що полегшило автономне завантаження, фонову синхронізацію, push-повідомлення мобільних додатків, таким чином роблячи веб-програми схожими на рідні та гібридні програми. PWA є перспективним напрямком для розробників мобільних додатків.

Перспективами подальшої роботи є експерименти щодо управління пам'яттю та визначення рівня ефективності на смартфонах, можуть бути проведені щоб додатково підтвердити твердження цієї роботи.

Список бібліографічного опису.

1. Сучасні сайти як прогресивні веб-додатки / В. О. Безулий, Р. В. Петросян // Тези XI Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2020», 2020. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/05/35-1.pdf>
2. Прищеп Т. О., Чайковський А. Р. Аналіз можливостей технології PWA для побудови сучасного інформаційного середовища / XIII Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2019: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 342-345.
3. Розробка ігрового застосунку з використанням технології прогресивного веб-додатку / А. О. Писаренко, С. В. Коваленко // XIII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів, 2019. С. 119-120.
4. Корзаченко О.В. Прогресивные веб-приложения: революционные изменения в веб-разработке / Корзаченко О. В., Чернявский К. І. // Моделирование и информационные системы в экономике : зб. наук.пр. / М-во освіти и науки України, ДВНЗ «Київ.нац.екон.ун-т ім.Вадима Гетьмана»; [редкол.: О. Є. Каминський (отдп. ред.) и ин.]. – Київ : КНЕУ, 2020. Вип. 99. С. 92–101.
5. Progressive Web App / Ю. А. Гуренко, О. В. Старкова // Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Free and Open Source Software», Харків, 16-18 листопада 2021 р. – Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2021. С. 14-15.
6. Розробка веб-додатку на основі технології PWA / Л.В. Харитонова, В.В. Донець, А.В. Коник // LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2020. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:kQVH8dBXqMJ:kist.ntu.edu.ua/konferencii/23_konf_2020.pdf+&cd=46&hl=uk&ct=clnk&gl=ua

References.

1. Asthana, Ajeeta. (2019). Building a Serverless Progressive Web Application. IJARCCSE. 8. 149-151. 10.17148/IJARCCSE.2019.8424.
2. Kottmyer, Chris & Zhao, Kevin & Kostic, Zona & Jevremovic, Aleksandar. (2021). Roomsemble: Progressive web application for intuitive property search. 1-7. 10.1109/ICDS53782.2021.9626740.
3. Magomadov, Viskhan. (2020). Basic principles of developing a progressive web application. TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND EDUCATION. 10.18411/ij-06-2020-85.
4. Khan, Asharul & Al-Badi, Ali & Al Kindi, Mahmood. (2019). Progressive Web Application Assessment Using AHP. Procedia Computer Science. 155. 289-294. 10.1016/j.procs.2019.08.041.
5. Nurpeisov, Y.M. (2021). Studying the role of progressive web application in modern web development. Vestnik KazNRTU. 143. 290-295. 10.51301/vest.su.2021.i2.38.
6. Nurwanto, Nurwanto. (2019). Penerapan Progressive Web Application (PWA) pada E-Commerce. Techno.Com. 18. 227-235. 10.33633/tc.v18i3.2400.
7. Napif, Muhammad & Kosasi, Sandy & Gat, & Kuway, Susanti & Wijaya, Tony. (2021). Pembuatan dan Pengujian Website Penjualan Elektronik Berbasis Progressive Web Application. 10. 159-169.
8. Kurniawan, Antonius. (2020). ANALISIS PERFORMA PROGRESSIVE WEB APPLICATION (PWA) PADA PERANGKAT MOBILE. Jurnal Ilmiah Informatika Komputer. 25. 18-31. 10.35760/ik.2020.v25i1.2510.
9. Gambhir, Abhi & Raj, Gaurav. (2018). Analysis of Cache in Service Worker and Performance Scoring of Progressive Web Application. 294-299. 10.1109/ICACCE.2018.8441715.
10. Adetunji, Oluwatofunmi & Ajaegbu, Chigozirim & Nzechukwu, Otoneme. (2020). Dawning of Progressive Web Applications (PWA): Edging Out the Pitfalls of Traditional Mobile Development. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 68. 85-99.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-13>

УДК 004.4'27

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Багнюк Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Кошлатий Назарій Віталійович, студент

ПРОЦЕС РОБОТИ ІГРОВОГО ДИЗАЙНЕРА У СУЧАСНИХ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКАХ GAMEDEV

Христинець Н. А., Багнюк Н. В., Кошлатий Н. В. Процес роботи ігрового дизайнера у сучасних перспективних напрямках GameDev. Розглянуто перспективні напрямки ігрової індустрії, специфіку роботи та завдань ігрового дизайнера. Визначені основи орієнтування в ігрових рушіях, правила розробки ігрової документації та ключові навички роботи з спеціалізованим програмним забезпеченням.

Ключові слова: ігровий дизайн, gamedev, рушій, відеоігри, розробник ігор.

Khrystynets N. A. Bahniuk N. V., Koshlady N. V. The process of work of a game designer in modern promising areas of GameDev. Perspective directions of the game industry, specifics of work and tasks of the game designer are considered. The basics of orientation in game engines, rules of game documentation development and key skills of work with specialized software are defined.

Keywords: game design, gamedev, engine, video games, game developer.

Постановка проблеми. Відеоігри – це процвітаюча галузь як в Україні, так і за кордоном, і кількість кар'єр, пов'язаних із створенням відеоігор, зростає в геометричній прогресії щороку. За цією тенденцією [1], все більша кількість студентів вирішують скористатися своєю пристрасстю до відеоігор і перетворити це на кар'єру ігрового дизайнера. Розробка відеоігор – робота мрії для багатьох геймерів і причин прийняття рішень вивчати ігровий дизайн є багато. Індустрія відеоігор є основою для різноманітних можливостей роботи, приємного та веселого робочого середовища та високих початкових зарплат. Студенти, які вивчають ігровий дизайн, фактично є на шляху до кар'єри, яка процвітає завдяки творчості та уяві. Також індустрія геймдеву є бажаною для багатьох людей через її заробітні плати, які конкурентноспроможні з іншими зарплатами на ринку ІТ.

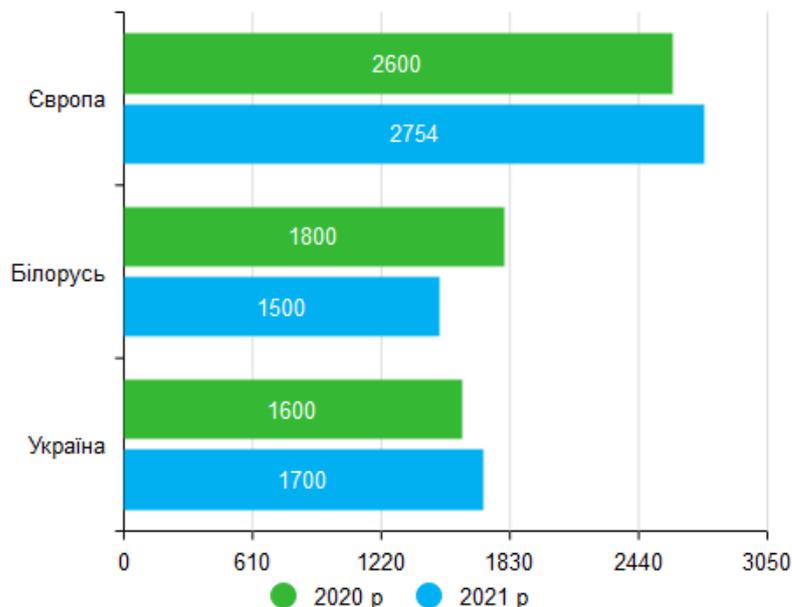


Рис. 1. Графіки зарплат у gamedev на 2020-2021 роки

Не усім, хто любить грати у відеоігри, подобається їх створювати. Насправді, створення відеоігри – це тривалий і складний процес з безліччю послідовних завдань і ролей, необхідних для створення готового продукту, який вже можна використовувати. Щоб успішно вивчати ігровий дизайн, перш за все, студенту потрібно бути зацікавленим не лише у тому, як весело провести час під час проходження рівнів гри. Щоб дізнатися, чи підходить йому професія ігрового дизайнера, варто відповісти собі самому на запитання «Що я розумію під поняттям ігрового дизайну?».

Мета дослідження. Питання вибору напрямку у геймдеві залежить від здібностей – маркетинг, програмування, UI та UX-дизайн, тестування, Art-директор, Art-менеджер, аніматор, адміністратор тощо. Тому, у даному контексті, метою дослідження буде огляд та вивчення процесу роботи ігрового дизайнера у індустрії геймдеву для подальшого застосування набутих навичок у розробці ігрового додатку та для подальшого працевлаштування у цьому напрямку.

Аналіз досліджень. Отже, що таке ігровий дизайн? Ігровий дизайн – це частина галузі розробки відеоігор, сфера з широким фокусом. Навички ігрового дизайнера черпаються з галузей інформатики та програмування, творчого письма та графічного дизайну. Ігрові дизайнери беруть на себе творчу ініціативу, створюючи уяву та втілюючи в життя історії відеоігор, персонажів, ігровий процес, правила, інтерфейси, діалоги та середовище. Зазвичай, це люди, які мають широке художнє бачення, а також володіють технічними навичками для контролю та внесення правок у програмний код, умінням рендерингу зображень, дизайну рівнів, цифрового редагування та інших аспектів конструювання ігор.

Зупинимось на одній професії з зазначених – геймдизайнері. Геймдизайнер – це креативний рушій проекту, який відповідає за стиль гри та те, як вона гратиметься. Зазвичай роль геймдизайнера у широкій сфері створення відеоігор десь посередині між сценаристом, программістом та художником.

Ігровий дизайн відноситься до більш широкого поля розробки відеоігор і стосується насамперед креативності та вмінь розробки сюжетів в розважальних або освітніх цілях. Це передбачає створення переконливих історій, персонажів, мотивів, правил і завдань, які стимулюють взаємодію з іншими персонажами, користувачами або об'єктами. Ця дуже різностороння робота зазвичай вимагає знання у всьому потроху, для того щоб мати змогу правильно взаємодіяти з усіма командами розробників.

Багато людей вважає що бути геймдизайнером легко, але це не так. Геймдизайн це не лише той, хто придумує ідеї, це розуміння того, як вводити елемент у гру, що саме потрібно ввести, коли це краще зробити, та чому дана гра потребує саме цього елемента.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Кожна гра побудована з комбінації механік та стилів геймплею, а правильно і професійно підібрана комбінація зробить цю гру хітом. Будь-який елемент у грі – це продукт вибору гейм дизайнера, або його команди.

Не кожен дизайнер має супер-навики у технічному плані, але для того щоб стати дизайнером, потрібно мати невеликий бекграунд у розробці для розуміння того, як буде проводитись розробка та щоб виставляти правильні завдання для команди художників та програмістів.

Залежно від розмірів студії, обов'язки дизайнера можуть варіюватись від простих дописів у ігрову документацію до:

- розробки сюжету гри або історій персонажів;
- розробки геймплею;
- балансування рівнів складності;
- розробки інтерфейсів;
- програмування;
- монтажу;
- роботи з зображеннями;
- тестування.

Також, однією з основних вимог до професії геймдизайнера є відмінні навички комунікації, оскільки геймдизайнеру доводиться проводити дуже багато часу, розмовляючи з членами команд, видаючи або пояснюючи їм їхні завдання. Дизайнер повинен вміти виражати свої думки, вміти схилити людей на свою сторону та приймати і аналізувати критику.

Зазвичай, дизайнер знаходиться у центрі процесу і більшість людей, які думають, що вміють розробляти ігри, будуть критикувати або коментувати його роботу. Хороший дизайнер повинен вислухати усю критику та побажання, проаналізувати її та вирішити те, чи варта вона імплементації у проект. Тобто, психологічна рівновага важлива не менш, як технічні навички.

Також дизайнер повинен вивчати поточний ігровий ринок, щоб бути в курсі усіх трендів та популярних жанрів. Гра, розроблена у популярному на даний момент ігровому жанрі, буде мати кращий бюджет, продаватиметься краще.

Дизайнер повинен вміти розробити гру так, щоб вона зацікавлювала людей, заохочувала їх повертатись до цієї гри знову і знову. Також він повинен вміти її монетизувати без значного удару по самому ігровому процесу. Наприклад, дизайн рівнів – це концепція мозкового штурму, з чим зіткнеться гравець під час гри. Таким чином, дизайнери рівнів повинні враховувати ряд різних елементів, щоб гарантувати, що вони створюють захоплюючу гру для гравців.

Складність в ігровому додатку є важливою з точки зору таких міркувань. Найчастіше, коли гейм дизайнери обирають сюжет, вони формують або надто складні, або надто прості рівні. Насправді, актуальною є потреба створювати ігри, які були б «правильні» або, простіше кажучи, веселі. З одного боку вони повинні спонукати гравців до повернення в ігровий процес, з іншого боку – ще й сприяти адреналіновим стрибкам у плані задоволення від пройденого етапу. Все залежить від типу гри та від помірності наростання складності. Зазвичай ігри формують таким чином, що складність, перешкоди, завдання створюються поетапно, у цьому гейм дизайнер повинен орієнтуватися відмінно. Є ще варіант, коли один тип складності спостерігається протягом усього ігрового процесу, але, як показують дослідження, вони є менш цікаві.

Як зазначено вище, в ігровий дизайн входить набагато більше, ніж просто персонажі та сюжети. Ті, хто зацікавлений в успішній розробці гри, повинні продумати ці багато різних аспектів, але також повинні залишатися зосередженими, оскільки кожне рішення може розгалужуватися до менших рішень, які потрібно розібрати перед початком роботи. Наприклад, одне з перших важливих рішень, яке прийме геймдизайнер, – це той тип гри, який він хоче створити. Від ігор-екшн до спортивних ігор, головоломок, симуляцій тощо, оскільки існує ряд різних типів відеоігор, з яких можна вибрати, які найактуальніші сьогодні (рис. 2).

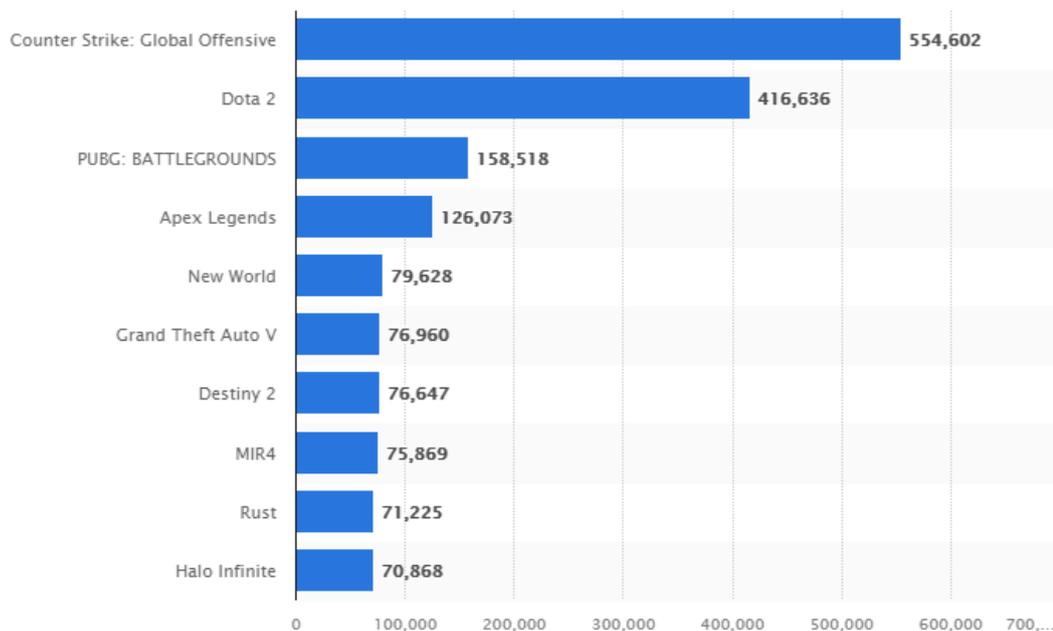


Рис. 2. Популярні типи ігор у 2021 році [2]

Хоча список різних типів відеоігор довгий, варіантів тематик таких ігор ще більше. Це не повинно бути складним і бентежити дизайнера, бо насправді, яку б тему не обрати за ідею, буде аудиторія, яка гратиме і насолоджуватиметься саме цією тематикою. Наступним кроком найчастіше виступає проектування дизайну рівнів. Для великих проектів у цьому випадку створюють обов'язкові креслення рівнів, щоб згенерувати ідеї та спланувати, як розробник може втілити їх у життя. Цей план може включати різні місця появи персонажів, від будинків до міст, підземель тощо.

Потрібно виконати багато інших кроків, але вже з вищесказаного можна побачити рівень деталізації, який необхідний для планування та створення гри.

Найбільшим важчим у проектуванні зазвичай є те, що у кожній платформі, жанру або типу гри є свій особистий набір правил та вимог, який вимагається для її створення.

Японський розробник відеоігор, програміст Юдзі Нака почав з простої концепції [3] – гравці керували персонажем всередині м'яча, який котився крізь рівні в довгих трубах. Згодом персонаж перетворився на кролика – і, як і відомий Маріо, він міг зупинятися й піднімати речі. Однак, коли було визначено, що його кролячі вуха буде занадто складно анімувати, а зупинка, щоб підняти

предмети, сповільнить увесь темп гри, розробники звернулися до тварин, які згорталися б, як кульки, щоб зберегти стиль гри та швидкі дії, на які вони йшли. Їжак (запропонований дизайнером Наото Осіма) врешті-решт був обраний – замість кролика – і спочатку його назвали містером Голкова мишка. Так з'явилися перші анімаційні ігри та концепція фізики персонажу. Далі ця гра допомогла визначити та створити жанр шутера від першої особи на консолях, сигналізуючи про перехід від ігор, схожих на Doom, до більш реалістичних та сучасних. Дизайнер відеоігор Сігеру Міямото «подарував» Маріо свої культові вуса, щоб гравці могли бачити його ніс. Через обмежені графічні можливості Міямото також зробив інші ярлики для дизайну персонажів, надаючи герою-сантехнику капелюх, тому що волосся було занадто важко малювати та анімувати, і запропонував йому одягнути комбінезон, щоб гравці могли бачити, як рухаються його руки.

З історії формування такої концепції видно, що для того, щоб стати геймдизайнером потрібно мати значну кількість технічних навичок, а також потрібно мати розуміння того як створити хороший, цікавий проект, який буде виділятися поміж інших та який можна буде у подальшому монетизувати (як і у випадку відомої гри Маріо розробника Юдзі Нака).

Також робота дизайнера відрізняється своїми обов'язками та комплексністю від розміру команди. Команда, яка складається з 5-10 чоловік працюватиме зовсім по іншому порівняно з командою, яка складається з більш ніж 1000 людей як у Electronic Arts або Ubisoft.

Також дизайнер у команді зазвичай не один. У команді розробників можуть бути наступні посади дизайнерів [4]:

- розробник сюжету;
- дизайнер квестів;
- художник;
- дизайнер систем програмування;
- дизайнер ігрових рівнів;
- дизайнер користувацького інтерфейсу;
- помічник геймдизайнера;
- креативний директор.

Також дизайнер повинен уміти орієнтуватись у популярних ігрових рушіях, бо зазвичай великі компанії мають свої власні самописні рушії, але зазвичай, вони мають схожий інструментарій, як і їх безпатентні аналоги (рис. 3).

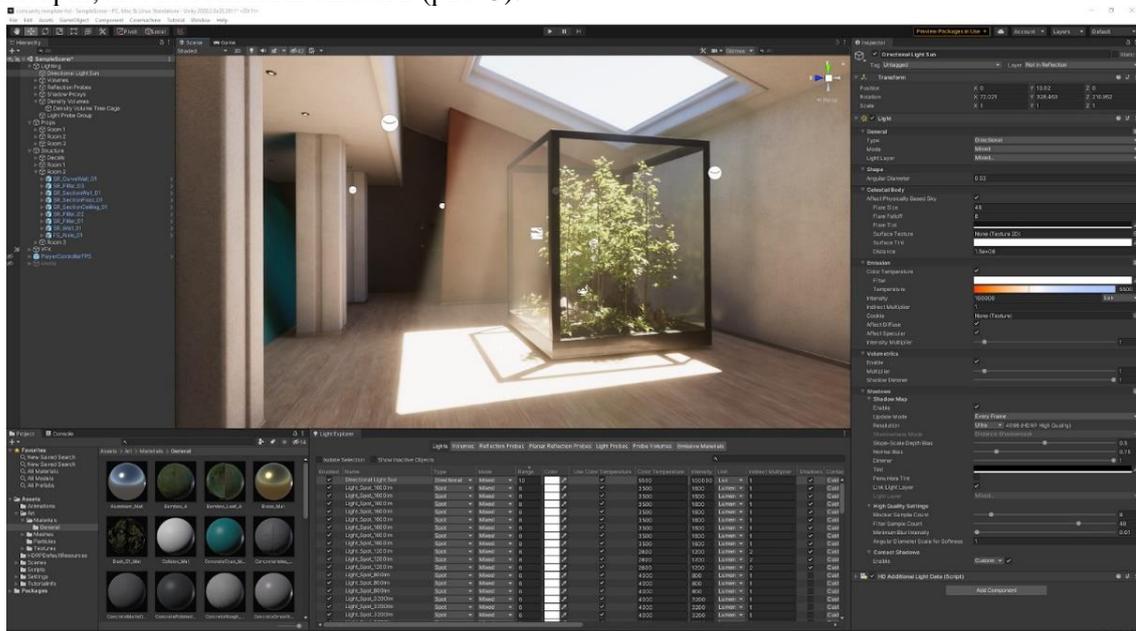


Рис. 3. Інтерфейс ігрового рушія

В ідеалі дизайнер повинен вміти працювати хоча б з одним з наступних ігрових рушіїв:

- Unity 3D;
- Unreal Engine 4;
- GameMaker Studio 2;
- Construct 3;
- Godot Engine.

Ключові навички дизайнера які потрібні у розробці відеоігор наступні. Необхідне повне знання процесу розробки гри у AAA сегменті. Гра, яка збирається згідно уміло організованого процесу розробки, має більші шанси бути успішною, або взагалі побачити світ продаж, ніж гра, яка збирається з випадкових розробників, які мало взаємодіють один з одним. Багато розробників, особливо з малих компаній, обирають працювати таким чином, щоб постійно щось додавати без особливого зворотного зв'язання до ігрової документації. Хороший дизайнер повинен завжди знаходити баланс між цим, бо ігрова документація – це головна зброя гейм-дизайнера. За допомогою неї він створює взаємопов'язаний проект команди розробників. Розуміння роботи таких фаз розробки як препродакшн, продакшн, та пост продакшн передбачає те, що у дизайнера має бути ще вміння формувати прототипи [5].

Так як кожна з платформ та жанрів має свої вимоги, дизайнер повинен бути в їх курсі та розбиратись у трендах. Він повинен розуміти, який жанр прийме аудиторія, який жанр буде касовим, а який проігнорує більша частина гравців.

Також, дуже важливою складовою хорошого дизайнера є його пет-проекти. Це проекти, які він створює особисто, для себе. Такі проекти зазвичай створюються з метою навчання, щоб зрозуміти роботу якихось механік або технологій. Такого роду проект може слугувати, як портфоліо для переходу між роботами, або для інтерв'ю при перших пошуках роботи.

Розробка сторонніх проектів допомагає оптимізувати роботу при розробці комерційних проектів, так як практичні навички завжди стануть у нагоді.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Таким чином, у даній статті був розглянутий процес роботи геймдизайнера, переваги та складності роботи цієї професії. Були розглянуті шляхи розвитку у кар'єрі розробки відеоігор. Також у даній статті були вивчені вимоги для професії геймдизайнера. Аналізуючи роботи сучасних гейм дизайнерів, можна сформулювати свій особистий підхід, опираючись на їхній досвід та вдалі і невдалі проекти. Таким чином, вдасться уникати помилок, опираючись на інформацію, отриману з дослідження.

Оскільки напрямок вважається доволі креативним, перспективи подальших досліджень є дуже великими та обширними, так як щосезону виходять як гучні проекти, так і маленькі ігри, які можна грати, аналізувати та застосовувати їх у власних проектах.

Список бібліографічного опису

1. Большой зарплатный опрос геймдева 2021 [Електронний ресурс] // Boost Ingamejob. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://boost.ingamejob.com/bolshoj-zarplatnyj-opros-gejmdeva-2021g>
2. Most played games on Steam as of December 2021, by average number of concurrent players [Електронний ресурс] // statista. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.statista.com/statistics/1179973/steam-games-peak-concurrent-players/>
3. Phantasy Star Online [Електронний ресурс] // Wikiwand. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.wikiwand.com/ru/Phantasy_Star_Online
4. Tracy Fullerton, Game Design Workshop, Ігровий Дизайн : монографія, AK Peters/ CRC Press, 2014. P. 495-535
5. Jesse Shell, The Art of Game Design, Ігровий Дизайн : монографія, Elsevier, 2008. P. 465-518

References

1. Big gamedev salary survey 2021 [Electronic resource] // Boost Ingamejob. – 2021. – Resource access mode: <https://boost.ingamejob.com/bolshoj-zarplatnyj-opros-gejmdeva-2021g>
2. Most played games on Steam as of December 2021, by average number of concurrent players [Electronic resource] // statista. – 2021. – Resource access mode: <https://www.statista.com/statistics/1179973/steam-games-peak-concurrent-players/>
3. Phantasy Star Online [Електронний ресурс] // Wikiwand. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.wikiwand.com/ru/Phantasy_Star_Online
4. Tracy Fullerton, Game Design Workshop, Ігровий Дизайн : монографія, AK Peters/ CRC Press, 2014. P. 495-535
5. Jesse Shell, The Art of Game Design, Ігровий Дизайн : монографія, Elsevier, 2008. P. 465-518

CONTENTS

<i>AUTOMATION AND MANAGEMENT</i>	
Aleksiienko Hordii. Reduction of labor intensity of manufacturing of openings of a difficult form with use of the controlled boring system.	5
Zozulia S. V. Principles of realization of the technology of the closed cycle of water use on the territory of private property (private house).	12
Kovivchak Ya., Dubuk V., Mishak R. Development of software tool for image compression based on clustering.	17
Lukianiuk Svitlana. Preparation of production under conditions of pilot batch production: specifics of organization.	24
Moroz SA, Kales O.O. Analysis of construction and operation of strain gauge security system	29
Ozerchuk Ihor. Principles of Bluetooth implementation 5.2: hardware implementation.	36
Tkachuk A.A., Svirzhevsky K.M., Grisyuk O.A., Trokhimchuk I.M., Tkachuk V.V. Analysis of network interfaces and industrial Internet of things systems.	43
<i>INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE</i>	
Koshel Arkhyp. Promising directions of application of neural networks in design activity.	57
Moroz S.A, Shenderuk D.V. Research of contactless device control system based on NFC technology.	64
Pekh Petro, Hrystynets Natalia, Diachenko Roman. Software optimization of function type selection for approximation of experimental data.	70
Petro Pekh, Andriy Khilchyshyn. Comparative analysis of different computer technologies of numerical integration functions	75
Tkachuk Valerii. PWA as a prospective direction of combining web and mobile technologies.	83
Khrystynets N. A. Bagnyuk N. V., Koshlaty N. V. The process of work of a game designer in modern promising areas of GameDev.	88

ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ТА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ СТАТЕЙ

- **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:**
 - 1) **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
 - 2) **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
 - 3) **виділення невіршених раніше частин загальної проблеми**, котрим присвячується означена стаття;
 - 4) **формулювання мети дослідження** (постановка завдання);
 - 5) **виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження, у тому числі з науковою новизною і
 - 6) **перспективи подальших досліджень** у даному напрямку.
- Статтю можна подавати українською, російською або англійською мовами. Вона повинна бути набрана у текстовому редакторі MS WORD 03/07/10 і надрукована на лазерному або струменевому принтері на білих листах формату А4 (297×210 мм). **Нумерацію сторінок** не виконувати. **Обсяг статті** 5-10 сторінок (не менше).
- **Параметри сторінки.** Верхнє, нижнє та праве поле –1,5 см, лівє – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
- **Шапка статті.** УДК, ORCID (якщо є), автори (ім'я та прізвище повністю), місце роботи кожного автора. Назва організації та назва статті набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Суг розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується через один рядок нижче назви організації (розмір шрифту 11 пт з напівжирним виділенням та вирівнюванням по центру).
- **Анотації** (українською, російською та англійською мовами) повинні містити прізвища та ініціали авторів, назву статті та короткий її зміст і розміщуються через один рядок нижче назви статті та набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Суг розміром 9 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині. Нижче анотацій обов'язково вказуються **ключові слова**.
- **Основний текст** розміщується на через один рядок нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюється по ширині.
- **Формули** набираються у редакторі формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Суг; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
- **Ілюстрації**, що присутні у статті, необхідно розташовувати у тексті по центру, вирівнюючи підписи по центру (Рис. 1. Назва). Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
- **Таблиці** потрібно розташовувати у тексті по центру, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею ставиться її порядковий номер і назва (Таблиця 1. Назва) та вирівнюється по центру.
- **Посилання** на ту чи іншу роботу повинні позначатися в тексті у квадратних дужках за порядковим номером у списку літератури в кінці статті; посилання на джерела статистичних даних обов'язкові; посилання на публікації дослідників обов'язкові; посилання на підручники, навчальні посібники, газети і ненаукові журнали – небажані; посилання на власні публікації допускаються тільки у випадку крайньої необхідності; роботи авторів, на прізвища яких є посилання в тексті, мають бути в списку літератури до цієї статті.
- **Список бібліографічного опису та References.** Список літератури («References») потрібно приводити повністю окремим блоком, повторюючи список літератури, який подається українською / російською мовою, незалежно від того, є в ньому іноземні джерела чи ні. Тобто, після статті подається 2 списки: «Список бібліографічного опису» (звичайний список літератури) і «References» (список для міжнародних БД). Необхідно в опис джерела вносити всіх авторів, не скорочуючи їх до трьох, як це рекомендовано діючими у нас державними стандартами. References - повинен бути укладений англійською мовою або транслітерований. Оформлювати згідно з одним із найбільш уживаних у світі стандартів: APA – American Psychological Association; CBE – Council of Biology Editors, Citation-Sequence; Chicago (Author-Date System); Harvard; Harvard – British Standard; MLA (Modern Language Association) – Single Spaced Reference List; NLM – National Library of Medicine; Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. У жодному з перелічених стандартів не використовуються розділові знаки: «//», «-». Назва джерела та вихідні дані відокремлюються від авторів і заголовка статті типом шрифту, найчастіше, курсивом (italics), крапкою або комою. Існує багато безкоштовних програм для створення бібліографічних описів у романській абетці, що дають можливість автоматично створювати посилання за одним із світових стандартів наприклад: <http://www.easybib.com/>, <http://www.bibme.org/>, <http://www.sourceaid.com/>, <https://vak.in.ua/>.
- **Рецензування статей.** Просимо вказати двох рецензентів (ПІБ, електронні адреси та звання) для подальшого рецензування Вашої статті. Адміністратор реєструє поданих рецензентів на сайті журналу, тоді на їхню електронну адресу надсилається форма для рецензування. Редакція залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію та відхиляти їх в разі відсутності рецензій.
- Стаття обов'язково подається на електронну адресу: cit@lntu.edu.ua.
- Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.
- **Усі рукописи проходять перевірку на плагіат!**

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ
(поля верхнє, нижнє -1.5 см, ліве та праве 2см. дзеркальні поля)

ЗРАЗОК

УДК 621.391

Мороз Борис Іванович, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Антіпов Олександр Андрійович, аспірант,

Журавльов Володимир Сергійович, аспірант.

<https://orcid.org/0000-0002-7366-9552>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ МЕДИКАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (МУЛЬТИКОПТЕРІВ) ЗА ЗАПИТОМ СПОЖИВАЧА

Мороз Б. І., Антіпов О.А., Журавльов В. С. Автоматизована система доставки медик **Times New Roman 9**
безпілотних літальних апаратів (мультикоптерів) за запитом споживача. Представлено концепт системи доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Запропоновано архітектуру системи автоматичної диспетчеризації замовлень від споживача, зберігання замовлень, та планування доставки дронами. Також було розглянуто юридичні обмеження роботи запропонованої системи.

Ключові слова: мультикоптер, дрон, доставка, клієнт-серверна архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Мороз Б. И., Антипов А.А., Журавлев В. С. Автоматизированная система доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров) по запросу потребителя. Представлен концепт системы доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Предложена архитектура системы автоматической диспетчеризации заказов от потребителя, хранения заказов, и планирование доставки дронами. Также были рассмотрены юридические ограничения работы предложенной системы.

Ключевые слова: мультикоптер, дрон, доставка, клиент-серверная архитектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Moroz B., Antipov A., Zhuravlev V. Automated system for the delivery of medical supplies using unmanned aerial vehicles (multicopter) at the request of the consumer. The concept of medical supplies delivery system using unmanned aerial vehicles is presented. The architecture of the system of automatic dispatching orders from the consumer, storage of orders, and scheduling delivery by drones are proposed. The legal limitations of the proposed system were also considered.

Keywords: multicopter, drone, delivery, client-server architecture, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Постановка наукової проблеми.

.....

Аналіз досліджень.

.....

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

.....

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

.....

Список бібліографічного опису

1. Сін Лю, Ціньян Сяо, Віджай Гопалакришнан, Маттео Варвелло (2017) Досліджен **Times New Roman 9**
панорамного відеопотоку, С. 50-55. АСМ.
2. Б. Хань, Ф., Цянь, Л. Джі та В. Гопалакришнан. (2017) MP-DASH: Адаптивна відео-трансляція через перевагу, орієнтовану на багатфункціональність. У матеріалах 12-ї Міжнародної конференції з нових мережєвих експериментів та технологій, С. 129–143. АСМ.

References

1. Xing Liu, Qingyang Xiao, Vijay Gopalakrishnan, Matteo Varvello (2017) Research 360° Innovations for Panoramic Video Streaming, P. 50-55. ACM.
2. Han, B., Qian, F., Ji, L. & Gopalakrishnan, V. (2017) MP-DASH: Adaptive Video Streaming Over Preference-Aware Multipath. In Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies, P. 129-143. ACM.

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» можна отримати у відповідального секретаря – Свиридюк Катерини Анатоліївни за тел. (0332) 74-61-15, або (063)-940-69-42.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 141

Автор статті отримує 1 примірник збірника у форматі *pdf.

Вартість однієї сторінки становить 40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ЗВО.

Окремо, кожній статті, буде присвоєний DOI (digital object identifier) - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату 60 грн.(ціна з 2021 року).

**Реквізити для зарахування коштів
(за публікацію наукових праць, участь у наукових заходах)**

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

код в ЄДРПОУ 05477296

UA16 820172 0 3132 5 1 002 3 02 017820

в ДКСУ у м. Київ МФО 820172

Україна, Волинська область,

43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75