

СУПРИГАН ВІТАЛІЙ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2539-8003>e-mail: suprigan@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРАТЕГІЇ БАГАТОЕТАПНОГО РОЗГОРТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКЛЮЧЕННЯМ СТОРОННІХ ЕФЕКТІВ

Стаття описує проблему та її рішення, яка виникла під час додавання нових користувачів у існуючий сервіс імпортування та розсилання даних. Проведено аналіз усіх доступних рішень та показано, що не існує такого рішення, яке може повністю задовольнити вимогам. Запропоновано багатокрокову стратегію доставки рішення, що дозволила сервісу відповідати вимогам доступності. Науковою новизною статті є опис та дослідження нового способу доставки рішення у середовище розгортання програмного забезпечення – production.

Ключові слова: high availability, continuous integration, continuous delivery, continuous deployment, git flow, MongoDB, індекси баз даних, бізнес-модель за підпискою.

SUPRYHAN VITALII

Vinnytsia National Agrarian University

STUDY OF MULTI-STAGE SOFTWARE DEPLOYMENT STRATEGY WITH THE EXCLUSION OF SIDE EFFECTS

The article addresses a problem and its solution that arose during onboarding of new subscribers to the existing data import and distribution service. The analysis of all available solutions demonstrates that none fully meet the requirements. The process of searching for the values of the required indicators and the process of creating reports necessarily uses indexes. Messages of different types are placed in their respective MongoDB collections. Over the long period of operation of the repository, up to 64 indexes per collection have accumulated. According to the policies of connecting to the storage (Connect timeout) and waiting for a response (Socket timeout), the need to set such long-time expectations for consumers is unacceptable and usually, by default, is equal to 30 seconds.

A multi-step strategy for delivering the solution that allows the service to meet availability requirements was proposed. The novelty of the article is in the description and investigation of a new method of delivering solutions to the software deployment environment—production. The implementation of the described strategy opens a new approach for solving similar classes of problems related to the type of interaction with users, when custom settings are a mandatory part of the service and are guaranteed to carry the threat of service unavailability. This approach opens up new opportunities for achieving high availability of systems, reducing risks and increasing user satisfaction. Based on the analysis of the proposed approaches, the latest strategy of multi-step delivery of the service to users was developed, the result of which was the acceptable response waiting time of up to 5 seconds. The implementation of this strategy contributed to the achievement of the availability of software products - 99.999%, ensuring the reliability and stability of services for end users.

Keywords: high availability, continuous integration, continuous delivery, continuous deployment, git flow, MongoDB, database indexes, subscription business model.

Вступ

У сучасному світі, де бізнес-процеси стають все більше залежними від інформаційних технологій, питання високої доступності систем набуває особливої актуальності. Висока доступність — це концепція, спрямована на забезпечення безперервної роботи системи або сервісу, мінімізацію часу простою та забезпечення надійного доступу до ресурсів для користувачів та бізнесу в будь-який час [1].

Мета дослідження – вирішити практичну задачу як уникнути блокування доставки інформації підписникам та узагальнити рішення для повторного використання в галузі.

Актуальність дослідження полягає у тому, що компанії потребують сучасних методик, які гарантовано створюють послідовності дій для вирішення проблем із допустимими та детермінованими експлуатаційними показниками на етапах: модифікації сервісу та обслуговування клієнтів.

Опис проекту. В структурі банку є підрозділ, який накопичує та обновлює фінансові показники. Такі показники надходять з різних джерел і заміщують собою попередні значення. Протягом робочого дня середня швидкість надходження неструктурованих повідомлень складає 600 Мбайт/хв. На поточний момент часу використовується сховище MongoDB, як таке що відповідає вимогам швидкодії та відсутності вимог до структури даних. Задача сервісу – сформувати звіти для користувачів та вивантажити їх по запланованій процедурі. Також користувачі можуть самі відправляти запити у сховище щоби наживо отримувати актуальні показники. Для обох випадків: для вивантаження та для запитів, розроблений API взаємодії як для поточних так і для майбутніх постачальників та споживачів показників.

Постановка проблеми

Суть проблеми полягає у тому, що клієнт намагається дізнатися які типи даних він потребує та створює заявку на обслуговування. Процес пошуку значень потрібних показників і процес створення звітів обов'язково використовує індекси. Повідомлення за різним типом розміщені у відповідних колекціях MongoDB. За тривалий за час експлуатації сховища накопилось до 64 індексів на колекцію. Ця межа є такою, що технічно не може бути перевищена і є блокуючим фактором у залученні нових постачальників та споживачів, для яких часто потрібно використовувати поля у запитах такі, які до цього не використовувалися

і відповідно індекси для таких полів відсутні [2]. Будь-який клієнт може надіслати запит і із ненульовою ймовірністю у запиті буде критерій відбору із поля, індексу якого не існує, без використання індексу, запит може тривати від 2 до 6 годин. Згідно політик підключення до сховища (**Connect timeout**) та очікування відповіді (**Socket timeout**) необхідність налаштувань таких багаточасових очікувань у споживачів є неприйнятним і зазвичай в умовах по-замовчуванню дорівнюють 30 секундам.

Очікуваний результат

В загальному клієнтів задовольнить сервіс, який відповідає за 5-10 секунд та дає змогу гнучко задавати довільні набори полів та їхні значення у запитах, також як важливе покращення, але не критичне – передбачити можливість швидкого пере налаштування запиту із зміною пріоритетів клієнта.

Аналіз джерел та останніх досліджень показав, що для досягнення високої доступності важливо зосередитися на ключових компонентах, таких як надійне апаратне забезпечення, мережеві рішення, програмне забезпечення, а також стратегії реплікації даних і автоматичного переключення при виникненні помилок (failover). Крім того, важливо враховувати і метрики, які допомагають оцінити ефективність реалізації високої доступності, зокрема uptime, RTO (Recovery Time Objective) та RPO (Recovery Point Objective) [1] (Рис.1).

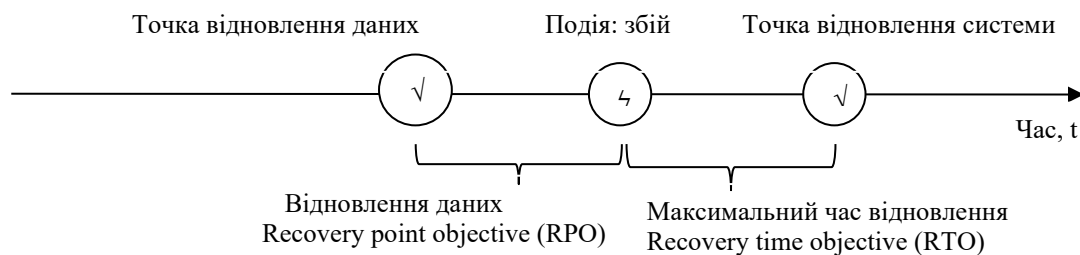


Рис.1. Розташування метрик відновлення у часі

Ці показники допомагають визначити, наскільки швидко система може бути відновлена після збою та яка кількість даних може бути втрачена без критичних наслідків для бізнесу.

Розглядаючи існуючі стратегії забезпечення високої доступності, ми бачимо широкий спектр підходів, від кластеризації серверів [3], що дозволяє розподіляти навантаження та забезпечувати відмовостійкість, до використання хмарних технологій [4, 5], які пропонують георозподіленість та еластичність ресурсів. Особливої уваги заслуговує реплікація даних, яка є ключовим елементом для забезпечення цілісності інформації [3].

Технології, які використовуються для досягнення цієї мети, різноманітні та постійно розвиваються. Від load balancing, який дозволяє ефективно розподіляти трафік між серверами, до систем аварійного переключення та розробки планів відновлення після аварій (Disaster Recovery plans), кожна технологія відіграє свою роль у побудові відмовостійкої системи [4].

Таким чином, глибоке розуміння принципів високої доступності, знання сучасних стратегій та технологій, а також аналіз реальних випадків їх застосування є ключовими для створення ефективних та надійних IT-інфраструктур.

Технології CI/CD

Зосередимося на огляді того, яку роль відіграють технології Continuous Integration (CI) та Continuous Delivery/Deployment (CD) у високій доступності [6, 7]. Ці методології є фундаментом для автоматизації процесів розробки та розгортання, спрямованих на підвищення якості продукту та ефективності робочих процесів.

Визначення CI/CD та їхня роль у високій доступності:

1. Continuous Integration (CI) — це практика, у якій розробники регулярно, часто кілька разів на день, інтегрують свій код у спільну гілку репозиторію [8]. Це дозволяє автоматично виконувати тести на кожну зміну коду, що значно знижує ймовірність появи помилок та спрощує виявлення та усунення проблем на ранніх етапах розробки.

2. Continuous Delivery є продовженням CI, яке забезпечує автоматичне розгортання всіх змін коду в тестове, проміжне або стейджингове середовище після успішного проходження тестів [9].

3. Continuous Deployment — ще одна стадія цього процесу, подальше розширення практики, що дозволяє автоматично розгортати зміни в production-середовище, за умови успішного проходження всіх тестів та перевірок [8, 9].

Застосування CI/CD має безпосередній вплив на підвищення високої доступності систем, адже дозволяє швидко вносити зміни, виявляти та усувати помилки, тим самим підтримуючи систему в актуальному та стабільному стані. Впровадження цих практик веде до зменшення часу простою та підвищення надійності служб.

Інструменти CI/CD

На ринку існує широкий вибір інструментів CI/CD, кожен з яких має свої унікальні переваги та недоліки. Найпопулярніші серед них:

- Jenkins: Відкритий інструмент, який пропонує величезну кількість плагінів та велику гнучкість у конфігурації процесів CI/CD [10, 11]. Однак, висока гнучкість може призвести до складностей у налаштуванні та управлінні.

- GitLab CI/CD: Вбудовані функції CI/CD в систему управління версіями GitLab, що дозволяє з легкістю налаштувати процеси автоматизації без необхідності встановлення зовнішніх інструментів [12].

- CircleCI: Хмарний сервіс, який пропонує швидку настройку та виконання процесів CI/CD з високою продуктивністю та масштабованістю [11].

- Travis CI: Хмарний сервіс, який інтегрується з GitHub, забезпечуючи простоту використання та налаштування [11].

Кожен з цих інструментів має свої особливості, які слід ретельно вивчати щоби обирати та застосовувати найкращий інструмент для конкретних проектів чи організацій.

Технології CI/CD є невід'ємною частиною сучасної розробки програмного забезпечення, спрямовані на підвищення якості продукту, ефективності процесів розробки та, зокрема, високої доступності систем. Вибір правильних інструментів CI/CD та їх адаптація під конкретні потреби проекту можуть значно вплинути на успішність впровадження цих практик.

Модель успішного розгалуження гілок в розробці

Робота технологій CI/CD базується на моделі розгалуження гілок у процесі розробки програмного забезпечення, та є ключовим елементом управління версіями та співпраці в команді розробників. Модель розгалуження впливає на ефективність розробки, можливість швидкого впровадження змін та, в кінцевому підсумку, на високу доступність продукту. Саме мітки станів системи є ключовою умовою коректної роботи технології CI/CD.

Основні поширені моделі розгалуження:

1. Модель Git Flow (автор Вінсент Дрійссен [12, 13]), є однією з найпопулярніших стратегій розгалуження, що передбачає використання фіксованого набору гілок для різних цілей — розробки, випусків, функціоналів та гарячих поправок. Ця модель дозволяє ефективно управляти релізами та паралельною розробкою нового функціоналу, забезпечуючи стабільність продукту та спрощення процесу розгортання.

2. Модель GitHub Flow. Вона є простішою альтернативою згаданій Git Flow [13, 14]. Модель GitHub Flow зосереджується на одній головній гілці (master/main), з якої створюються нові гілки для розробки функціоналу чи виправлення помилок. Зміни інтегруються назад у головну гілку через pull-requests, що забезпечує неперервне розгортання. Ця модель ідеально підходить для проектів, які мають на меті високу швидкість розробки та релізів.

3. Модель GitLab Flow комбінує елементи обох попередніх підходів, пропонуючи більшу гнучкість [13, 14]. Вона включає в себе використання гілки master для стабільної версії, окремих гілок для розробки функціоналу та додаткових механізмів для управління релізами через стейджингові та продакшн-середовища. GitLab Flow забезпечує баланс між стабільністю та швидкістю розробки, дозволяючи гнучко налаштувати процес під потреби проекту.

При виборі моделі розгалуження важливо враховувати кілька ключових факторів, серед яких: розмір та склад команди розробників, частота та складність релізів, а також загальні вимоги до стабільності та доступності продукту. Для проектів з високими вимогами до стабільності та регулярними, але добре контрольованими релізами, Git Flow може стати оптимальним вибором. Проекти, що прагнуть до швидкої розробки та випуску, можуть виграти від простоти та гнучкості GitHub Flow або GitLab Flow.

З урахуванням вимог до високої доступності, важливо обрати модель, що дозволяє швидко реагувати на помилки, ефективно управляти версіями та забезпечувати неперервний процес розробки та розгортання. Моделі розгалуження повинні сприяти автоматизації процесів, зниженню ризиків помилок та підвищенню якості кінцевого продукту.

У підсумку, вибір моделі розгалуження — це ключове рішення, що впливає на продуктивність команди, швидкість розробки та стабільність продукту. Врахування специфіки проекту та потреб бізнесу допоможе вибрати найбільш ефективний підхід до управління версіями та розгалуження.

Виклад основного матеріалу дослідження

Перерахуємо та проаналізуємо можливі стратегії та підходи до розробки та тестування програмного забезпечення, орієнтовані на забезпечення високої доступності.

1. Реорганізувати сховище, збільшення типів даних і створення нових колекцій та використати шардування — горизонтальне масштабування [5].

2. Збільшення продуктивності сховища — вертикальне масштабування [5].

3. Узагальнення запитів користувачів — пропозиція створювати тільки такі запити, як використовують наявні індекси [15].

4. Оптимізувати існуючі індекси — видалити непотрібні індекси, використовувати тільки узагальнені індекси [15].

5. Використати часткові індекси [2].

6. Переглянути архітектуру додатку, створити кешування, асинхронне оброблення, оптимізувати існуючі запити [1].

7. Обмежити доступ користувачів у випадку пікових навантажень – використати архітектурний патерн – Circuit Breaker [15].

8. Створити сервіс із новою архітектурою.

9. Використання монадних структур які будуть переміщувати сторонні ефекти в контекст [16].

Проаналізуємо запропоновані стратегії.

1. Реорганізація сховища змушує робити зміни у додатку, змінювати істоти (структури даних на рівні представлення, бізнес-логіки та у сховищі) як такі, що відображають структури (шаблони) які заповнюються даними. Обов'язкові зміни відбудуть у структурах які записуються в сховище у відповідну колекцію. Такі зміни викликають необхідність закладати додатковий час на внесення змін та тестування і часто є неприйнятними для поточних клієнтів із визначеним та вичерпаним бюджетом та уже доставленим і стабільним рішенням.

2. Збільшення продуктивності зазвичай призводить до експоненційного збільшення вартості обладнання при кратному збільшенні продуктивності. Що не є прийнятним оскільки очікується оптимізація, яка зменшить час очікування із декількох годин до одиниць секунд.

3. Якщо дозволяти користувачам створювати такі запити, які можуть використовувати наявні індекси, тоді має бути механізм забезпечення коректності дій користувачів. Користувач не є розробник сервісу чи фахівцем по сховищам даних. Ідея надати користувачу такі права, які призведуть до збоїв системи і відмову обслуговування інших користувачів не є прийнятною.

4. Якщо відстежувати частоту використання запитів і відповідні їм індекси, то можна вивільнити позиції для створення нових індексів. Але потрібна взаємодія із користувачами для яких створювалися такі індекси. Треба виявити усі можливі запити із небезпечними комбінаціями полів і заборонити їх. Така задача по трудомісткості є аналогічна внесенню змін у додаток, у загальному такий підхід також неприйнятний. Такий підхід показав гарні результати в умовах використання цього правила від початку взаємодії з клієнтами та постійного ретельного планування взаємодії із новими полями у структурі даних.

5. Використати часткові індекси — ідея гарна і легко втілюється, якщо виявити майбутню проблему дефіциту вільних місць для індексів. Але не вирішується сама проблема відправлення запиту із відсутнім індексом для обслуговування такого запиту. Тобто такий підхід є прийнятним але якщо контролювати формат запиту — дозволяти тільки вивірені комбінації параметрів. На запити перекладається частина бізнес-логіки у випадку запитів із декількох колекцій. Таке рішення ламає архітектуру сервісу.

6. Гарний підхід для підвищення швидкості оброблення, але доволі часто будуть зустрічатися кейси, коли користувач викриє таку комбінацію параметрів, що буде відмова в обслуговуванні, результат не буде створений, тому кешування не відбудеться, інші користувачі отримають помилку — відмовлення в обслуговуванні. Такий підхід не є прийнятним за виключенням організації асинхронного оброблення. Такий функціонал можна внести в архітектуру сервісу і використовувати. Але враховуючи об'єми даних та частоту їх оновлення варіант не є доцільним для використання.

7. Таке рішення дозволить відключати клієнтів із довгими запитами або переривати запити для звичайних користувачів, коли обслуговується клієнт із «важким» запитом. Рішення вносить деякі покращення у взаємодію клієнтів із сервісом – якщо система не готова обслуговувати, то принаймні не буде перевантажуватися сховище, а клієнт одразу отримає відповідь по відмову в обслуговуванні. В цілому таке рішення не вирішує проблему і часто використовується у мікросервісній архітектурі, зберігаючи систему цілому від перевантаження та зупинки обслуговування. Рішення не відповідає очікуванням, оскільки залишаться клієнти, які будуть відправляти «важкі» запити, понаднормово очікувати та в цілому блокувати роботу сервісу.

8. Добре рішення, але негативним є необхідність значних витрат часу на створення та тестування нового сервісу та додаткові фінансові витрати на розробку та онбординг існуючих клієнтів.

9. Теорія категорій пропонує винести сторонні ефекти у контекст та зосередитися на бізнес-логіці. На практиці таке не внесе поліпшення у зменшення часу відповіді чи підвищить доступність сервісу, оскільки такий рефакторинг відбувається без врахування роботи сховища. Не очікується змін у взаємодії із сховищем лише поліпшується загальна архітектура сервісу – розробники мають можливість модифікувати безпосередньо бізнес-логіку не відволікаючись на оброку сторонніх ефектів. Також слід відмітити, що підтримка монад них структур вимагає наявності функції як типа даних у мові програмування, на якій створюється сервіс.

Вибір рішення

Після проведення аналізу виявлено, що жодний із варіантів не дає відповіді на запитання як ґрунтуючись на досягненнях у дисципліні комп'ютерних технологій зменшити час обслуговування на 3-4 порядки без критичних змін у архітектурі сервісу та в умовах забезпечення стабільного обслуговування існуючих клієнтів. Тому рішенням може бути гібридним – часткове залучення різних підходів. І таке можливо, шляхом впровадження додаткової активності у поточну модель розгалуження – Git Flow, а саме створення дозволів для клієнтів використовувати набори параметрів для заданих типів даних. Такий підхід дозволяє долучити обслуговування нових клієнтів із новими запитами але використання таких запитів супроводжується повноцінною процедурою створенням та узгодження запиту із клієнтом, тестуванням та покроковим рухом рішення через усі середовища розробки до роботи у фінальному середовищі – production.

Таке рішення не має різких негативних недоліків окрім часу на додаткову розробку запитів та необхідність клієнтам слідувати встановленим контрактам взаємодії із сервісом.

Отже, представлено новаторську пропозицію, яка втілює інтеграцію практик Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD), оптимізованих моделей розгалуження гілок та покрокової доставки рішення з розробницького середовища у production. Цей підхід спрямований на підвищення ефективності процесів розробки та тестування, а також на забезпечення високої доступності рішень, доставлених замовнику. Наслідком такого рішення стало зменшення часу відгуку відповідно до умов контракту із замовником та виключення помилкових ситуацій пов'язаних із часом очікування відповіді.

Впровадження описаної стратегії відкриває новий підхід для вирішення аналогічних класів задач пов'язаних із типом взаємодії з користувачами, коли користувацькі налаштування є обов'язковою частиною сервісу і гарантовано несуть загрозу недоступності сервісу. Цей підхід відкриває нові можливості для досягнення високої доступності систем, зниження ризиків та підвищення задоволеності користувачів.

Узагальнення

Оглянемо ключові аспекти дослідження. Наше дослідження зосередилося на інтеграції передових практик Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD) та оптимізованих моделей розгалуження гілок з метою створення ефективної стратегії розробки та тестування. Було продемонстровано, як підхід може значно підвищити швидкість розробки, якість продукції та забезпечити надійну доступність сервісів для кінцевих користувачів.

Слід відзначити, що протягом практичної реалізації стратегії наштовхнулися з низкою викликів, серед яких було важливо відзначити:

- Інтеграція нових процесів у існуючі робочі потоки, що вимагає часу на адаптацію та навчання команди.

- Вибір та налаштування інструментів CI/CD, що найкраще відповідають потребам проекту.

- Оптимізація моделей розгалуження для забезпечення гнучкості та ефективності процесу розробки.

Додатковими рішеннями підвищенню високої доступності також сприяють організаційні фактори і стратегії, зокрема:

- Проведення тренінгів та семінарів для команди розробників з метою підвищення їх компетенцій в області CI/CD та роботи з новими інструментами.

- Поступове впровадження змін, що дозволяє команді адаптуватися без різких переходів від звичних методів до нових практик.

- Тісна співпраця з замовниками для забезпечення прозорості процесу розробки та впровадження змін, що відповідають їхнім вимогам та очікуванням.

Узагальнюючи дослідження, слід підкреслити важливість інтеграції сучасних технологій та методологій у процесі розробки та тестування для досягнення високої продуктивності, якості та доступності програмних продуктів. Впровадження запропонованої стратегії демонструє значний потенціал для підвищення ефективності розробки, зменшення часу виходу на ринок та підвищення задоволеності користувачів.

Підсумки дослідження

На основі аналізу запропонованих підходів була розроблена новітня стратегія багатокрокового доставляння сервісу користувачам, здобуто такий результат як допустимий час очікування відповіді до 5 секунд. Впровадження цієї стратегії посприяло досягненню доступності програмних продуктів – 99,999%, забезпечивши надійність та стабільність сервісів для кінцевих користувачів.

Рекомендації для подальших досліджень

На основі отриманих результатів рекомендується подальші дослідження в наступних напрямках:

1. Глибше дослідження індивідуальних компонентів CI/CD та моделей розгалуження, щоб визначити їх найбільш ефективні конфігурації для різних типів проектів та робочих середовищ.

2. Аналіз впливу організаційної культури та структури на успішність впровадження інтегрованих підходів до розробки та тестування, а також розробка методик їх оптимізації.

3. Розробка та тестування нових інструментів та технологій, які можуть допомогти в подальшому покращенні процесів CI/CD та розгалуження гілок, особливо у контексті використання штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації тестування та виправлення помилок.

Запропоноване рішення пройшло апробацію у Citibank, підрозділу Citigroup, успішно впроваджене у бізнес-продукт компанії, виведено у production та надихнуло відобразити як науковий результат.

References

1. Niall Richard Murphy, Betsy Beyer, Chris Jones, and Jennifer Petoff. Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems. O'Reilly Media, 2016, 550 p.
2. Kristina Chodorow, Shannon Bradshaw, Eoin Brazil. MongoDB: The Definitive Guide, 3rd Edition. O'Reilly Media, Incorporated, 2018, 425 p.
3. David Kopec, Classic Computer Science Problems in Python. Manning Publications; 1st edition. 2019, 224 p.
4. Sam Newman. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems, 2nd edition. O'Reilly Media, 2021, 612 p.
5. Kris Jamsa, Cloud Computing. Jones & Bartlett Learning, 2022, 400 p.

6. Paul M. Duvall, Steve Matyas, Andrew Glover, Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk by. Addison-Wesley Professional, 2007, 336 p.
7. Joakim Verona, Practical DevOps. Packt Pub Ltd., 2016, 217с.
8. Jez Humble and David Farley. Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation. Addison-Wesley Professional, 2012, 512 p.
9. Emily Freeman. DevOps for Dummies. For Dummies, 2019, 368 p.
10. Nicole Forsgren, Jez Humble, and Gene Kim. Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps: Building and Scaling High Performing Technology Organizations. IT Revolution Press, 2018, 288 p.
11. Mitesh Soni. Implementing DevOps with Microsoft Azure. Packt Publishing, 2017, 422 p.
12. Scott Chacon and Ben Straub. Pro Git. Apress, 2014, 458 p.
13. Vincent Driessen. A successful Git branching model. [Электронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nvie.com/posts/a-successful-git-branching-model>. – Назва з екрану. 05.01.2010
14. Gene Kim, Kevin Behr, and George Spafford. The Phoenix Project: A Novel about IT, DevOps, and Helping Your Business Win IT Revolution Press, 2013, 345 p.
15. Martin Fowlerю Circuit Breaker. [Электронний ресурс]. – Режим доступу: <https://martinfowler.com/bliki/CircuitBreaker.html>. – Назва з екрану. 06.03.2014
16. Saunders Mac Lane. Categories for the Working Mathematician. Springer Science & Business Media, 1998, 314 p.

ЄМЕЦЬ К. В.

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-5157-9118

e-mail: kyrylo.v.yemets@lpnu.ua

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ З ВИРАЖЕНОЮ СЕЗОННІСТЮ НА ОСНОВІ ТРАНСФОРМЕРІВ

Прогнозування часових рядів є критично важливим завданням, що охоплює різні сфери, такі як фінанси та медицина, погода, тощо, вимагаючи точних прогнозів, отриманих на основі аналізу історичних даних. Складність цієї задачі посилюється при аналізі сезонних даних, які характеризуються непередбачуваними коливаннями та різноманітними впливами, тим самим зменшуючи ефективність існуючих інструментів штучного інтелекту. У цій роботі проведено огляд та експериментальне порівняння передових моделей прогнозування часових рядів, з вираженою сезонністю в даних, на основі трансформерів. У дослідження було включено три моделі: Temporal Fusion Transformer, PatchTST та DLinear. Подано особливості їх архітектури, принципи роботи, окреслено їхні переваги та обмеження. Результати моделювання на основі цих моделей оцінювалися із використанням трьох різних показників ефективності, під час розв'язання задачі аналізу даних про продажі продукції. Проведений аналіз показує, що моделі нейронних мереж, які використовують архітектуру трансформера, демонструють високу ефективність під час розв'язання задачі прогнозування сезонних часових рядів. Однак ці моделі вимагають значних часових ресурсів для оптимізації десятків тисяч параметрів. Саме тому, вибір конкретної моделі прогнозування часових рядів повинен опиратися на конкретну задачу, доступні ресурси та пріоритети замовника.

Ключові слова: часові ряди, трансформери, сезонність.

YEMETS KYRYLO V.

Lviv Polytechnic National University

FORECASTING METHODS OF TIME SERIES WITH EXPRESSED SEASONALITY BASED ON TRANSFORMER

Forecasting time series data with seasonal patterns remains a significant challenge in various domains. The complex and non-stationary nature of such data requires advanced modeling techniques capable of capturing intricate temporal dependencies and periodic fluctuations. Traditional statistical methods like ARIMA models often struggle to adequately represent the underlying dynamics, motivating the exploration of more flexible and powerful approaches. In recent years, deep learning architectures, particularly transformer-based models, have demonstrated remarkable success in handling sequential data and capturing long-range dependencies. Their self-attention mechanisms and parallel processing capabilities make them well-suited for time series forecasting tasks involving seasonality. This study provides a comprehensive evaluation of three prominent transformer-based models: Temporal Fusion Transformer (TFT), PatchTST, and DLinear. Each model brings unique architectural innovations and training strategies to tackle the intricacies of seasonal time series forecasting effectively. The experimental results, evaluated on a real-world product sales dataset, reveal the potential of these models to outperform traditional methods and achieve superior forecasting accuracy. However, it is crucial to consider the trade-off between model complexity, computational resources, and the specific requirements of the forecasting task at hand. As the field of time series forecasting continues to evolve, transformer-based models offer a promising direction for handling complex seasonal patterns, paving the way for more accurate and reliable predictions across various industries. Nevertheless, further research is necessary to address the challenges of model interpretability, efficient parameter optimization, and the incorporation of domain-specific knowledge into these architectures.

Keywords: time series, transformers, seasonality.

Постановка проблеми

Проблема точного прогнозування є критично важливою у таких областях, як фінанси, медицина [1] та кліматологія, де важливо робити вірні передбачення, опираючись на історичні дані [2]. Специфічні виклики виникають під час роботи з сезонними даними, що характеризуються непередбачуваними змінами та різноманітними зовнішніми факторами, що ставить під сумнів ефективність наявних інструментів на основі штучного інтелекту. Відтак, необхідно застосувати детальний підхід, який би включав глибинний аналіз даних, акуратний вибір моделі та розробку дієвих стратегій. Саме тому актуальними є дослідження та порівняльний аналіз передових моделей для прогнозування часових рядів, особливо призначених для роботи з сезонними даними, з акцентом на подолання супутніх труднощів та підвищення точності прогнозів. Було обрано три моделі на основі архітектури трансформерів, зокрема Temporal Fusion Transformer [3], PatchTST [4] та DLinear [5], їх було оглянуто так, щоб виявити їх ключові переваги та потенційні слабкі місця. Ці моделі, нарівні з між собою, піддавались детальній оцінці трьома метриками, особливо у контексті аналізу даних продажів. Наш аналіз показав, що моделі на основі нейронних мереж з архітектурою трансформера забезпечують найвищу точність прогнозів для сезонних часових рядів. Втім, варто відмітити, що для досягнення оптимальних результатів такі

моделі потребують великих ресурсів у налаштуванні параметрів, що може включати роботу з тисячами змінних.

Аналіз останніх джерел

Класичні методи прогнозування часових рядів, такі як ARIMA [6] (авторегресійне інтегроване ковзне середнє), VAR [7] (векторна авторегресія) та Prophet [8], доволі часто використовуються для прогнозування часових рядів. Вони забезпечують задовільні результати аналізу та прогнозування трендів та патернів для окремих задач. Однак ці методи зіштовхуються з обмеженнями, особливо коли йдеться про довгострокове прогнозування, через кілька причин. Методи на кшталт ARIMA вимагають, щоб дані часових рядів були стаціонарними, тобто статистичні властивості серії не повинні змінюватися з часом. Ця вимога часто потребує попередньої обробки, такої як диференціювання, що може бути складним і може не бути ефективним для довгострокових трендів або нелінійних патернів. Як ARIMA, так і VAR моделі базуються на лінійних припущеннях, де майбутні значення передбачаються як лінійні комбінації минулих значень. Цей лінійний підхід може не вловлювати складні, нелінійні взаємозв'язки, властиві багатьом довгостроковим часовим рядам, таким як ті, що впливаються нерегулярними економічними циклами, технологічними досягненнями або змінами в навколишньому середовищі [9]. Моделі на кшталт ARIMA та Prophet можуть включати сезонні ефекти, але їхня здатність моделювати складні сезонні патерни або кілька сезонностей в одній серії є обмеженою. Довгострокові прогнози, які можуть охоплювати кілька сезонних циклів, вимагають більш тонкого розуміння сезонних впливів, яке ці моделі можуть не забезпечити належним чином. Довгострокове прогнозування часто вимагає врахування зовнішніх факторів або екзогенних змінних, які можуть істотно впливати на майбутні значення часового ряду. Класичні методи, як-от ARIMA та VAR, мають обмежені можливості інтегрувати ці фактори у модель прогнозування. Prophet дозволяє включати свята та особливі події, але його можливості щодо обробки безперервних зовнішніх змінних та раптових змін трендів можуть бути обмежені. Оскільки горизонт прогнозування розширюється, складність обчислень для моделей на кшталт VAR значно зростає, роблячи їх менш практичними для довгострокових прогнозів. Крім того, потреба у переоцінці моделей з новими даними може бути обчислювально інтенсивною та менш ефективною для великих наборів даних або коли потрібні часті оновлення. Довгострокові прогнози по суті супроводжуються вищою невизначеністю, і класичні методи можуть не завжди надавати міцний фреймворк для кількісної оцінки та управління цією невизначеністю. Хоча Prophet генерує інтервали прогнозування, точне вловлення невизначеності для довгострокових прогнозів, особливо в умовах структурних змін або чорних лебедів, залишається складним завданням. Враховуючи ці обмеження, дослідники та практики часто звертаються до більш гнучких, нелінійних моделей, таких як методи машинного навчання та глибокого навчання, для довгострокового прогнозування. Ці моделі можуть краще обробляти нелінійні взаємозв'язки, інтегрувати кілька джерел даних та адаптуватися більш динамічно до змін трендів та патернів з часом.

Метою роботи є дослідження ефективності використання моделей на основі архітектури трансформерів для передбачення часових рядів з вираженою сезонністю.

Виклад основного матеріалу

Temporal Fusion Transformer (TFT) [3], є високорозвиненою моделлю, призначеною для задач прогнозування, особливо ефективною у вирішенні складнощів сезонних часових рядів. Її архітектура ретельно розроблена для обробки та навчання на основі як статичної, так і динамічної інформації, що робить її надзвичайно вдалою для сценаріїв, де критично важливе розуміння тимчасових патернів і зв'язків. Однією з вирізняючих особливостей TFT

є її механізми вибору змінних. Ці компоненти відіграють ключову роль у подаванні різних вхідних змінних для визначення тих, що найбільш актуальні для прогнозування в будь-який конкретний час. Ця здатність зосереджуватися на найінформативніших ознаках є особливо цінною в сезонному прогнозуванні, де значущість певних входів може змінюватися протягом року. Крім того, TFT використовує кодування для статичних коваріат для інтеграції інформації, що не змінюється в часі, у процес прогнозування. Включення статичних даних забезпечує стабільний контекст, який збагачує розуміння моделлю кожного часового ряду, покращуючи її здатність вловлювати унікальні характеристики, що впливають на сезонні патерни. Можливість опрацювати часові ряди з різними частотами TFT є іншим важливим аспектом її архітектури. Завдяки ефективному навчанню на основі як короткотермінових, так і довготермінових залежностей у даних, модель може точно передбачати майбутні тренди та патерни. Це розуміння динаміки часу є суттєвою перевагою для прогнозування сезонних коливань, що часто включають складні взаємодії на різних часових шкалах. Більше того, використання TFT механізму уваги з кількома головами дозволяє йому зосереджуватися на найбільш релевантній інформації з минулого під час виконання прогнозів. Цей цілеспрямований підхід покращує здатність моделі навчатися з довготермінових сезонних трендів, забезпечуючи, що прогнози базуються на глибокому розумінні історичних даних. Нарешті, здатність TFT генерувати інтервали прогнозування через квантильні виходи є особливо корисною для сезонного прогнозування. Надаючи діапазон можливих результатів замість одного прогнозу, він пропонує більш нюансований погляд на майбутні невизначеності, що є критично важливим для планування та управління ризиками в сезонних контекстах.

PatchTST, що розшифровується як Patch Transformer for Time Series Forecasting [4], представляє собою новаторську архітектуру, яка використовує можливості моделі Transformer, спеціально розроблену для вирішення викликів прогнозування часових рядів, включаючи ті, що пов'язані з сезонними патернами. Хоча конкретні деталі PatchTST можуть варіюватися в залежності від джерела або реалізації, основна ідея поєднує потужні механізми уваги Transformer з підходом на основі "патчів" для ефективної обробки даних часових рядів. Архітектура PatchTST побудована навколо концепції розбиття часового ряду на менші сегменти або "патчі". Цей метод дозволяє моделі зосередитися на конкретних частинах даних за раз, спрощуючи ідентифікацію та вивчення основних сезонних трендів та патернів. Обробляючи ці сегменти як окремі входи, PatchTST може застосовувати механізми самоуваги Transformer до відносин як всередині патчів, так і між патчами, дозволяючи їй вловлювати складні часові залежності на різних часових шкалах. Використання моделі Transformer у PatchTST надає перевагу у вирішенні задач з довготривалими залежностями. Це особливо корисно для сезонного прогнозування, де розуміння залежностей між віддаленими точками у часі може бути вирішальним для передбачення майбутніх трендів. Механізм самоуваги динамічно визначає важливість різних часових кроків, дозволяючи PatchTST зосереджуватися на найактуальнішій інформації для точного прогнозування. Ще однією перевагою PatchTST є його масштабованість та гнучкість. Модель можна налаштувати для обробки часових рядів різної довжини та різного ступеня сезонності, що робить її придатною для широкого спектру завдань прогнозування. Незалежно від того, чи йдеться про короткострокові дані щоденних продажів з тижневими патернами або довгострокові дані клімату з річними циклами, адаптивна структура PatchTST може бути налаштована для оптимізації продуктивності з урахуванням конкретних характеристик даних.

DLinear [5], – це архітектури, розроблені для покращення лінійних моделей прогнозування часових рядів шляхом явного виділення компонент ряду, таких як тренд, сезонність та зміни розподілу в даних. DLinear прагне підвищити точність прогнозування, явно розкладаючи часовий ряд на компоненти тренду та сезонності (залишкові) та застосовуючи спеціалізовану обробку до кожної. Компоненти тренду отримують застосуванням ядра ковзного середнього до сирих даних, згладжуючи коливання для

виявлення основного тренду. Сезонний компонент залишається після видалення компоненту тренду з сирих даних, захоплюючи циклічні патерни та шум.

Між 1989 і 1994 роками Школа бізнесу Університету Чикаго співпрацювала з нині закритим магазином Dominick’s Finer Foods над серією випадкових експериментів на рівні магазинів, зосереджених на управлінні полицями та ціноутворенні в понад 25 різних категоріях у всій мережі з 100 магазинів. Це партнерство принесло близько дев’яти років детальних даних на рівні магазинів щодо продажів понад 3,500 унікальних кодів продуктів. Отриманий набір даних Dominick’s охоплює дані сканерів на рівні магазинів, зібрані в Dominick’s Finer Foods протягом більш ніж семи років, що включає 115704 тижневих часових ряди, що деталізують прибуток окремих одиниць зберігання товарів від ритейлера. Цей всеохоплюючий набір даних включає файли, специфічні для категорій, та загальні файли, що охоплюють усі категорії проекту, поряд з даними щоденних продажів понад 3500 продуктів, підрахунками клієнтів та демографічними даними та даними про продажі конкретних магазинів. Для моделювання Pytorch використовувався як фреймворк глибокого навчання для всіх методів. Обчислення виконувалися на графічному процесорі NVIDIA T4. Розмір лагу для даних часових рядів становив 10 тижнів. Прогнозування проводилося на 8 тижнів. Для методів глибокого навчання набір даних був переформатований як набір малих часових рядів з 10 вхідними ознаками та 8 вихідними ознаками.

Для оцінювання ефективності моделювання використано ряд показників, зокрема:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2, \tag{1}$$

$$SMAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|F_t - A_t|}{(|F_t| + |A_t|) \times 0.5}, \tag{2}$$

$$COVERAGE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |F_t < A_t|, \tag{3}$$

де F_t - передбачене значення, A_t - істинне значення, t - поточний відлік часу, n - кількість даних.

Результати моделювання на основі показників (1)-(3) зведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати моделювання

Модель трансформерів/показник ефективності	MSE	SMAPE	COVERA GE	Параметри (в тисячах шт)
PatchTST	139,005	1,60	0,16	42,6
DLinear	156,759	1,62	0,18	3,6
Temporal Fusion Transformer	185,839	1,59	0,20	98,5

Аналізуючи наведені результати моделювання (табл. 1), можна зробити кілька ключових висновків щодо ефективності розглянутих моделей трансформерів - PatchTST, DLinear та Temporal Fusion Transformer, в контексті трьох показників: середньоквадратична помилка (MSE), симетрична середня абсолютна відсоткова помилка (SMAPE) та покриття (COVERAGE). PatchTST показує найкращі результати за середньоквадратичною помилкою (MSE) з показником 139,005, що свідчить про вищу точність прогнозів порівняно з іншими моделями. Ця модель також має найнижчу відсоткову помилку (SMAPE) 1,60 і показник покриття 0,16, вказуючи на досить високу надійність прогнозів. Однак, вона вимагає значної кількості параметрів (42,6 тис.), що може збільшити час та витрати на тренування моделі. DLinear має трохи гірші показники за MSE (156,759) та SMAPE (1,62) порівняно з PatchTST, але краще покриття (0,18). Важливою перевагою цієї моделі є значно менша кількість параметрів (3,6 тис.), що робить її більш ефективною з точки зору обчислень та швидшою для налаштування. Temporal Fusion Transformer демонструє найгірші результати за MSE (185,839) та має SMAPE (1,59), що є порівняно конкурентоспроможним з PatchTST, але вище покриття (0,20), що може вказувати на кращу здатність до загальної адаптації прогнозів до різних умов. Однак, ця модель має найбільшу кількість параметрів (98,5 тис.), що робить її найбільш ресурсомісткою з усіх розглянутих. Узагальнюючи, PatchTST видається найкращим варіантом для задач, де пріоритетом є точність прогнозування та ефективність використання ресурсів, незважаючи на вищі вимоги до кількості параметрів. DLinear пропонує хороший баланс між точністю, ефективністю та низькою кількістю параметрів, що робить її оптимальним вибором для обмежених ресурсів або швидкого прототипування. Temporal Fusion Transformer, попри свою високу ресурсомісткість, може бути виправданим вибором для складних задач прогноз.

Висновки

У цій роботі було показано важливість високоточного прогнозування в різних областях і викликів, пов'язаних з сезонними даними. Подано критичний аналіз класичних методів прогнозування, таких як ARIMA, VAR та Prophet, та описано їх обмеження у контексті довгострокового прогнозування та сезонності. Автором проведено огляд існуючих методів прогнозування часових рядів на основі трансформерів. Подано принципи їх роботи та обґрунтовано основні переваги. Проведено експериментальне моделювання ефективності роботи передових моделей на основі трансформерів (Temporal Fusion Transformer (TFT), PatchTST та DLinear) для підвищення точності прогнозів сезонних часових рядів. Порівняльний аналіз показує, що PatchTST демонструє найкращі результати за точністю (MSE та SMAPE) та надійністю (COVERAGE), але вимагає підбору значної кількості параметрів. DLinear пропонує хороший баланс між точністю та ефективністю за рахунок меншої кількості параметрів. Temporal Fusion Transformer, попри найбільшу кількість параметрів, демонструє конкурентні результати і може бути виправданим вибором для розв'язання складних задач. Саме тому, вибір конкретної моделі залежить від специфіки задачі, доступних ресурсів та пріоритетів щодо точності та швидкодії.

Acknowledgment

This work is supported by European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101138678, project ZEBAI (Innovative methodologies for the design of Zero-Emission and cost-effective Buildings enhanced by Artificial Intelligence).

Література

1. Ізонін І.В. Ансамблевий метод уточнення параметрів моделі регресії: прямий підхід // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки, 2023, 35-44. DOI: <https://doi.org/10.32626/2308-5916.2023-24.35-44>
2. Casolaro A, Capone V, Iannuzzo G, Camastra F. Deep Learning for Time Series Forecasting: Advances and Open Problems. Information. 2023 Nov 4;14(11):598.

3. Lim B, Arik SO, Loeff N, Pfister T. Temporal Fusion Transformers for Interpretable Multi-horizon Time Series Forecasting. 2019. Available from: <https://arxiv.org/abs/1912.09363>
4. Nie Y, Nguyen NH, Sinthong P, Kalagnanam J. A Time Series is Worth 64 Words: Long-term Forecasting with Transformers. 2022. Available from: <https://arxiv.org/abs/2211.14730>
5. Wang G, Liao Y, Guo L, Geng J, Ma X. DLinear photovoltaic power generation forecasting based on reversible instance normalization. Proc. of 2023 IEEE 12th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS). Xiangtan, China: IEEE; 2023, p. 990–5.
6. George EP Box and Gwilym M Jenkins. Some recent advances in forecasting and control. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 17(2):91–109, 1968.
7. Athanasopoulos, G., Poskitt, D. S., & Vahid, F. (2012). Two canonical VARMA forms: Scalar component models vis-à-vis the echelon form. *Econometric Reviews*, 31(1), 60–83. DOI: <https://doi.org/10.1080/07474938.2011.607088>
8. Taylor SJ, Letham B. 2017. Forecasting at scale. PeerJ Preprints 5:e3190v2 <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2>
9. Ізонін І.В. Ансамблева технологія без вчителя - з вчителем з неітеративним алгоритмом навчання для аналізу коротких наборів біомедичних даних // Комп'ютерні системи та інформаційні технології, 2023, 67-74. DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2023-4-9>

References

1. Izonin I. An Ensemble Method for the Regression Model Parameter Adjustments: Direct Approach // *Mathematical and computer modelling. Series: Technical sciences*, 2023, 35-44. DOI: <https://doi.org/10.32626/2308-5916.2023-24.35-44>
2. Casolaro A, Capone V, Iannuzzo G, Camastra F. Deep Learning for Time Series Forecasting: Advances and Open Problems. *Information*. 2023 Nov 4;14(11):598.
3. Lim B, Arik SO, Loeff N, Pfister T. Temporal Fusion Transformers for Interpretable Multi-horizon Time Series Forecasting. 2019. Available from: <https://arxiv.org/abs/1912.09363>
4. Nie Y, Nguyen NH, Sinthong P, Kalagnanam J. A Time Series is Worth 64 Words: Long-term Forecasting with Transformers. 2022. Available from: <https://arxiv.org/abs/2211.14730>
5. Wang G, Liao Y, Guo L, Geng J, Ma X. DLinear photovoltaic power generation forecasting based on reversible instance normalization. Proc. of 2023 IEEE 12th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS). Xiangtan, China: IEEE; 2023, p. 990–5.
6. George EP Box and Gwilym M Jenkins. Some recent advances in forecasting and control. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 17(2):91–109, 1968.
7. Athanasopoulos, G., Poskitt, D. S., & Vahid, F. (2012). Two canonical VARMA forms: Scalar component models vis-à-vis the echelon form. *Econometric Reviews*, 31(1), 60–83. DOI: <https://doi.org/10.1080/07474938.2011.607088>
8. Taylor SJ, Letham B. 2017. Forecasting at scale. PeerJ Preprints 5:e3190v2 <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2>
9. Izonin I. An unsupervised-supervised ensemble technology with non-iterative training algorithm for small biomedical data analysis. // *Computer systems and information technologies*, 2023, 67-74. DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2023-4-9>

ЛЮДМИЛА КОЗЛОВСЬКА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0007-5853-6405>e-mail: kozlovskaliu@khmnu.edu.ua

ОЛЕГ ПОМАРАНСЬКИЙ

Хмельницький національний університет

e-mail: pomarancho5@ukr.net

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА

В статті здійснено теоретичний аналіз важливості забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників у промисловості з агресивними умовами. Особливий акцент робиться на використанні спеціалізованого взуття для зменшення ризиків травм та захворювань. Зазначається, що небезпечні чинники на робочому місці можуть варіюватися від фізичних і хімічних до психосоціальних та санітарно-гігієнічних. Підкреслюється важливість забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників, разом із необхідністю розуміння даних чинників та прийняття заходів щодо їх управління та мінімізації ризиків. У цьому контексті використання спеціалізованого взуття стає надзвичайно важливим для забезпечення безпеки працівників, захисту нижніх кінцівок від контакту з агресивними середовищем, зменшення ризику травм від несправної техніки та забезпечення комфорту та відчуття безпеки працівників на робочому місці.

В статті описані перспективи подальших досліджень в галузі забезпечення безпечних умов праці в промисловості з агресивними умовами, включаючи дослідження ефективності використання спеціалізованого взуття та вибір матеріалів та конструкції для його виробництва.

Ключові слова: спеціальне взуття, агресивне середовище, небезпечні чинники, умови праці, легка промисловість.

LIUDMYLA KOZLOVSKA

Khmelnitsky National University

OLEH POMARANSKYI

Khmelnitsky National University

RELEVANCE OF THE PRODUCTION OF SPECIAL SHOES FOR AGGRESSIVE ENVIRONMENTAL CONDITIONS

The article conducts a theoretical analysis of the importance of ensuring safety and health for workers in industries with aggressive environments. Attention is drawn to various factors that may affect workers' health, and a comprehensive approach to risk management is recommended to ensure safety and comfort in the workplace. Special emphasis is placed on the use of specialized footwear to reduce the risks of injuries and illnesses.

The need to conduct an analysis of potential hazards in the workplace for employees working in environments with an increased risk to human health is identified, in order to properly select materials and construction for manufacturing specialized industrial footwear. It is noted that hazardous factors in the workplace can vary from physical and chemical to psychosocial and sanitary-hygienic, posing threats to the health and safety of workers and potentially leading to injuries, illnesses, and psychological problems.

The importance of ensuring the safety and health of workers is underscored, along with the necessity of understanding these factors and taking measures to manage them and minimize risks. In this context, the use of specialized footwear becomes extremely important for ensuring the safety of workers, protecting their feet from contact with aggressive substances, reducing the risk of injuries from faulty equipment, and providing comfort and a sense of security for workers in the workplace. It should be noted that through a comprehensive approach to risk management, safety and health in the workplace can be ensured.

The prospects for further research in the field of ensuring safe working conditions in industries with aggressive environments are outlined, including studies on the effectiveness of using specialized footwear and the selection of materials and construction for manufacturing specialized industrial footwear.

Keywords: special footwear, aggressive environment, dangerous factors, working conditions, industry.

Постановка проблеми

Одним з пріоритетних напрямків розвитку суспільства є створення безпечних умов для працівників, враховуючи, що людина вважається найціннішим ресурсом. Однак, на підприємствах, що характеризуються наявністю агресивного середовища, є шкідливі та небезпечні фактори, що становлять загрозу здоров'ю та безпеці працівників. Наразі, за твердженням Венджамін О., система розробки засобів індивідуального захисту опинилась у критичному стані, оскільки вихідні матеріали, компоненти, нормативні документи і методи дослідження перебувають в неналежному рівні [1].

В свою чергу це зумовлює забезпечення працівників різних галузей засобами індивідуального захисту від систематичного впливу негативних виробничих факторів і виникнення професійних захворювань [3, 4, 10, 12]. Зокрема, існує актуальна проблема, пов'язана із забезпеченням працівників відповідним спеціальним взуттям, яке має виконувати основну функцію – захист нижніх кінцівок [8, 9].

Як відомо, основні причини агресивного середовища на робочому місці виникають через недбале ставлення до техніки безпеки та недостатню захищеність працівників [1, 2]. Недотримання вимог захисту від шкідливих впливів навколишнього середовища та відсутність необхідного захисного, спеціального одягу та взуття можуть створювати серйозні ризики для здоров'я, що призводить до професійних захворювань та

травм. Звідси, одним з ключових завдань виробництва є забезпечення умов праці, що мінімізують вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Отже, необхідно провести аналіз потенційних небезпек на робочому місці для працівників, які працюють у середовищі з підвищеним ризиком для здоров'я, з метою раціонального підбору матеріалів та конструкції для виготовлення спеціального взуття для агресивного середовища.

Аналіз останніх джерел

У літературних джерелах [1, 2, 6, 11] міститься значна кількість інформації щодо спеціального взуття виробничого використання, яке використовує різні методи кріплення та різноманітні матеріали, включаючи як натуральні, так і синтетичні. Проте, не має інформації щодо конструкцій спеціального взуття, котрі б враховували специфіку агресивного середовища.

Автори Р. Черепакіна, Р. Колядюк, В. Коновал розглядали різні методик проектування ергономічного спеціального взуття, але не акцентували увагу на вивченні та дослідженні агресивного середовища [13]. Аналізуючи розробки іноземних дослідників Benjamin O. Alli [1], Phil Hughes, Ed Ferrett [2], які досліджували шкідливі умови праці, але при цьому не приділяли великої уваги засобам захисту нижніх кінцівок, можна зробити висновки про важливість використання спеціального взуття відповідно від агресивного середовища в якому перебувають.

Згідно з останніми досягненнями технології, на вітчизняних підприємствах зі шкідливими умовами праці, де агресивне середовище має безпосередній вплив на здоров'я працівників, асортимент виробничого взуття протягом тривалого періоду залишався обмеженим, переважно складаючись з черевиків, виготовлених з натуральної шкіри та гумових чобіт [12]. Проте, з впровадженням новітніх технологій виробництво спеціалізованого взуття стрімко змінювалося і стало періодом інтенсивного розвитку європейського ринку такого взуття [4].

Метою роботи є проведення аналізу потенційних небезпек на робочому місці для працівників, які працюють у середовищі з підвищеним ризиком для здоров'я людини.

Виклад основного матеріалу

У сучасних умовах виробництва відзначається наростаюча важливість акцентування уваги на питаннях безпеки та здоров'я працівників, зокрема тих, що працюють в умовах агресивного середовища. Як відомо, агресивне середовище характеризується певними факторами, які включають технологію виробництва, матеріали, що використовують, а також мікроклімат виробничих приміщень [11]. Тому, умови праці на виробництві, цеху та на кожному робочому місці вимагають застосування спеціального взуття для захисту нижніх кінцівок від можливих травм та негативного впливу агресивних умов праці [13].

Спеціальне взуття має важливе значення для забезпечення безпеки та здоров'я працівників на робочому місці, виконуючи різноманітні функції, серед них:

- захист від агресивних середовищ (спеціальне взуття призначене для захисту нижніх кінцівок працівників від контакту з агресивними речовинами, шкідливими хімічними речовинами або небезпечними виробничими матеріалами);
- попередження травматичних ушкоджень (захист нижніх кінцівок від травматичних ушкоджень, які виникають внаслідок несправності обладнання, падінь важких предметів або інших ризикових ситуацій);
- комфорт та підтримка (спеціальне взуття повинно забезпечувати комфортні умови, сприяти правильному розподілу тиску на стопі та надавати необхідну підтримку організму в цілому для запобігання втомі та травмам);
- забезпечення безпеки на робочому місці (відповідне взуття може значно знизити ризик травм та нещасних випадків, які можуть статися в робочому середовищі).

В сучасному промисловому середовищі існують різноманітні галузі, де працівники під час своєї діяльності зазнають впливу агресивного середовища, що створює необхідність використання спеціального взуття для захисту нижніх кінцівок. Перш за все, це хімічна промисловість, де виробництво різноманітних хімічних речовин та розчинників може створювати отруйні або корозійні умови для робочого персоналу [2]. Також до цієї категорії можна віднести металургійну промисловість, де обробка металів та робота з високотемпературними процесами створюють небезпечні умови для ніг працівників. Крім того, гірничодобувна промисловість та виробництво харчових продуктів також потребують захисту стоп працівників від травм та контакту з різними шкідливими речовинами. У легкій промисловості, яка охоплює виробництво текстилю та взуття, а також у машинобудуванні та автомобільній промисловості, використання спеціального взуття стає важливою складовою безпеки працівників під час виконання їхніх робочих обов'язків. Різноманітні небезпечні чинники, включаючи хімічні речовини, пил та аерозолі, фізичні травми, підвищену вологість та температуру, ризик ураження електричним струмом, а також психосоціальні чинники, несуть серйозні загрози для здоров'я та безпеки працівників [5, 7].

У зв'язку з цим використання захисного одягу та спеціального взуття набуває надзвичайної важливості. Адже, їх завданням є зменшення ризиків, пов'язаних з робочими умовами, та забезпечити працівникам відчуття захищеності та безпеки. Вивчення та аналіз наукової літератури [1, 2, 11] дає підстави стверджувати, що працівники різних промисловостей піддаються систематичному впливу агресивного середовища, яке включає різні групи небезпечних чинників, а саме:

- хімічні речовини (хімічні розчинники, кольорові пігменти та інші хімічні речовини, що здатні викликати отруєння або інші негативні наслідки для здоров'я при контакті з ними або при їх вдиханні);
- пил та аерозолі (виробничі процеси включають обробку та оброблення матеріалів, що створюють пил та аерозольні частки, які є шкідливими для дихальних шляхів працівників);
- фізичні травми (робочі умови включати ризик отримання фізичних травм, таких як порізи, удари, опіки або травми внаслідок несправностей у виробничому обладнанні);
- висока вологість та температура (підвищена вологість повітря та температура можуть створювати некомфортні умови праці, сприяти розвитку грибків та бактерій, а також призводити до гіпергідрозу та інших проблем зі здоров'ям)
- ризик ураження електричним струмом (використання електричного обладнання та електричних систем без належного захисту здатне створювати ризик ураження електричним струмом)
- психосоціальні чинники (вимоги до підвищеної продуктивності, стресові ситуації на робочому місці та конфлікти з колегами або начальством, впливають на психічне здоров'я працівників, що надалі здатне призвести до почуття невпевненості та легковажності, що збільшує ризик отримання фізичних травм та ушкоджень.

На основі проведеного аналізу, визначені небезпечні впливи агресивного оточення на здоров'я працівників та запропоновано класифікацію небезпечних чинників на робочому місці – таблиця 1.

Таблиця 1

Аналіз небезпечних чинників на робочому місці

Тип небезпечних чинників	Опис	Потенційні наслідки для здоров'я працівників	Професії, які піддаються впливу небезпечних чинників.
Фізичні	Рухомі машини та обладнання, висока температура, шум, вібрація, електромагнітні випромінювання	Травми, пошкодження слуху, гострі та хронічні захворювання	Будівельники, механіки, оператори виробничого устаткування, гірники, пожежники, рятувальники, залізничники, військовослужбовці, мулярі, теслярі, столяри, покрівельники, електрики, лісозаготівельники, оператори ліній виробництва електронних компонентів, техніки з ремонту електроніки.
Хімічні	Токсичні речовини, корозивні речовини, канцерогенні речовини	Отруєння, ділянки попадання речовин на шкіру, респіраторні захворювання	Хіміки, робітники хімічних заводів, фармацевти, пожежники, рятувальники, залізничники, військовослужбовці, мулярі, теслярі, столяри, покрівельники, електрики, лісозаготівельники, фермери, садівники, виноградарі, виробники сільгосптехніки, сортувальники відходів, працівники зі знешкодження та вторинної переробки відходів, техніки з очищення стічних вод.
Психосоціальні	Стрес, надмірна робоча навантаженість, низький рівень контролю	Погіршення психічного стану, вигорання, конфлікти	Працівники великих корпорацій, менеджери, психотерапевти, пожежники, рятувальники, військовослужбовці
Санітарно-гігієнічні	Недостатня вентиляція, недостатня очистка повітря, недостатність санітарних умов	Захворювання дихальних шляхів, інфекції, алергічні реакції	Медичні працівники, прибиральники, працівники харчової промисловості, гірники, залізничники мулярі, теслярі, столяри, покрівельники, електрики, лісозаготівельники.

Тобто небезпечні чинники, що присутні на робочому місці, охоплюють широкий спектр від фізичних та хімічних до психосоціальних та санітарно-гігієнічних аспектів. Спеціальне взуття є ключовим елементом забезпечення безпеки працівників у різних сферах професійної діяльності. Враховуючи різноманітність небезпечних чинників на робочому місці, воно забезпечує захист від травм та ушкоджень, що можуть виникнути через контакт з обладнанням або рухомими машинами, а також запобігає проникненню токсичних речовин через шкіру, знижуючи ризик отруєння чи респіраторних захворювань.

Крім того, спеціальне взуття може сприяти зниженню впливу психосоціальних чинників, забезпечуючи комфорт та підтримку під час тривалої роботи, що сприяє зменшенню стресу та втоми. Отже,

спеціальне взуття виступає не лише як засіб захисту від конкретних небезпечних чинників, але й як важливий елемент загальної стратегії забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Використання спеціального взуття сприяє підвищенню ефективності роботи та створює безпечні умови праці, що є ключовим для досягнення якісного та продуктивного виробництва.

Таким чином, як слідує з таблиці 1 виділено чотири основних типи небезпечних чинників: фізичні, хімічні, психосоціальні та санітарно-гігієнічні. Кожен з них має різноманітні наслідки для здоров'я працівників, включаючи травми, отруєння, погіршення психічного стану та захворювання дихальних шляхів. Також, зазначені різні професії, що зіштовхуються з небезпечними чинниками. Вони охоплюють широкий спектр працівників, від будівельників та електриків до фермерів та медичного персоналу, що підкреслює різноманітність ризиків, яким піддаються працівники у різних галузях та професіях. Нарешті, необхідність застосування спеціального взуття для захисту нижніх кінцівок від дії небезпечних чинників стає очевидною. Працівники різних професій повинні мати доступ до відповідного захисту, який може зменшити ризик отримання травм та захворювань, пов'язаних з їхньою діяльністю. Адже, використання спеціального взуття є ключовим елементом забезпечення безпеки та здоров'я на робочому місці і відіграє важливу роль у захисті працівників. Тому, окреслено кілька перспективних напрямків для подальших досліджень та заходів з покращення умов праці та забезпечення безпеки працівників: проведення аналізу ефективності застосування спеціального взуття для захисту від різних типів небезпечних чинників, що включає експериментальні дослідження конструкції та матеріалів; детальне дослідження ризиків для різних професій, щоб точніше визначити конкретні загрози, з якими зіштовхуються працівники різних сфер; розробка стандартів та рекомендацій з використання та підбору спеціального взуття.

Висновки

Забезпечення безпеки й здоров'я працівників є надзвичайно важливим завданням, а розуміння цих аспектів і вживання відповідних заходів для їх управління та мінімізації ризиків є обов'язковими. Використання спеціального взуття важливо для захисту нижніх кінцівок від контакту з агресивними речовинами, попередження травматичних ушкоджень від несправного обладнання і забезпечення комфорту та безпеки працівників на місці роботи. Комплексний підхід до управління ризиками сприяє створенню безпечних умов праці та зниженню ризиків, пов'язаних з виробничою діяльністю.

Проведено аналіз потенційних небезпек на робочому місці для працівників, які працюють у середовищі з підвищеним ризиком для здоров'я людини, що сприятиме правильному підбору матеріалів та конструкцій для виготовлення спеціального виробничого взуття. Зазначено, що небезпечні чинники на робочому місці, можуть варіювати від фізичних та хімічних до психосоціальних та санітарно-гігієнічних, що становитиме загрозу здоров'ю та безпеці працівників і можуть призвести до травм, захворювань та психічних проблем.

У цілому, забезпечення безпеки працівників є постійним процесом, який потребує уваги до деталей, впровадження технологічних інновацій та проведення наукових досліджень. Спеціальне взуття виступає однією з ключових складових цієї системи, і подальші дослідження у цій області є важливим кроком у забезпеченні безпеки та здоров'я працівників у різних промислових секторах. Тому, окреслено перспективи подальших досліджень у сфері забезпечення безпечних умов праці в промисловості з агресивним середовищем, що включають дослідження ефективності застосування спеціального взуття та вибору матеріалів та конструкцій для виготовлення спеціального виробничого взуття.

Література

1. Benjamin O. Alli. *Fundamental principles of occupational health and safety*. Second edition. Geneva: International Labour Office –ILO, 2008. 221 p.
2. Phil Hughes, Ed Ferrett. *The handbook for students on NEBOSH and other introductory H&S courses*. Typeset by Charon Tec Ltd (A Macmillan Company), Printed and bound in Slovenia. 2007. 472 p.
3. Бабич А.І. *Технологія виготовлення виробів з різних матеріалів: навч. посіб.* Київ : КНУТД, 2021. 248 с.
4. Ващук Н. Ф. Розвиток інноваційних технологій в сучасному виробництві спеціального взуття. *Індустрія моди. Fashion Industry*. 2019. № 3. С. 34-39.
5. Гурин В.А. *Основи промислових технологій і матеріалознавства: навч. посібник*. Рівне: НУВГП, 2019. 310 с.
6. Домбровський А. Б, Михайловська О.А, Козловська Л.В. [Сучасний стан розробки конструкцій спеціального взуття для працівників молочної промисловості](#). *Вісник Хмельницького національного університету*. 2013. № 3. С. 191-197.
7. ДСТУ 3242–95. *Взуття спеціальне. Номенклатура показників якості* [Чинний від 01.07.1996] Вид. офіц. Київ: Державний комітет стандартизації, метрології та сертифікації України. Національний стандарт України. 1995.
8. ДСТУ 3835-98. *Взуття спеціальне з верхом із шкіри для захисту від механічного діяння*. [Чинний від 01.01.2001] Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1998.
9. ДСТУ 3962-2000. *Взуття спеціальне з верхом із шкіри для захисту від нафти, нафтопродуктів, кислот та лугів, нетоксичного та вибухонебезпечного пилю*. Технічні умови. [Чинний від 01.01.2002] Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2000.

10. Михайловська О.А., Надопта Т.А. Показники якості для спеціального взуття військового призначення. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. № 3. С. 191-197.
11. Обрізан В. А. Розробка конструкції та технології виготовлення спеціального взуття литтєвого методу кріплення із застосуванням нових матеріалів: дис. канд. техн. наук: 05.19.06 Київ, 2007. 163 с.
12. Олійникова В. В., Бабич А. І., Луканюк Я. С., Марущенко О. В. Вимоги до матеріалів верху, низу, конструкції та технології виготовлення спеціального взуття. *Легка промисловість*. 2010. № 3. С. 14-15.
13. Черепакіна Р.З., Колядюк Р.І., Коновал В.П. Універсальна методика проектування ергономічного спецвзуття. Київ: Легка промисловість. 2002. С. 42– 43.

References

1. Benjamin O. Alli. *Fundamental principles of occupational health and safety*. Second edition. Geneva: International Labour Office –ILO, 2008. 221 p.
2. Phil Hughes, Ed Ferrett. *The handbook for students on NEBOSH and other introductory H&S courses*. Typeset by Charon Tec Ltd (A Macmillan Company), Printed and bound in Slovenia. 2007. 472 r.
3. Babych A.I. *Tekhnolohiia vyhotovlennia vyrobiv z riznykh materialiv: navch. posib*. Kyiv: KNUTD, 2021. 248 s.
4. Vashchuk N. F. *Rozvytok innovatsiinykh tekhnolohii v suchasnomu vyrobnytstvi spetsialnoho vzuttia. Industriia mody. Fashion Industry*. 2019. № 3. S. 34-39.
5. Huryn V.A. *Osnovy promyslovykh tekhnolohii i materialoznavstva: navch. posibnyk*. Rivne: NUVHP, 2019. 310 s.
6. Dombrovskiy A. B., Mykhailovska O.A., Kozlovska L.V. *Suchasnyi stan rozrobky konstruktsii spetsialnoho vzuttia dlia pratsivnykiv molochnoi promyslovosti. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2013. № 3. S. 191-197.
7. DSTU 3242–95. *Vzuttia spetsialne. Nomenklatura pokaznykiv yakosti [Chynnyi vid 01.07.1996] Vyd. ofits*. Kyiv: Derzhavnyi komitet standartyzatsii, metrolohii ta sertyfikatsii Ukrainy. Natsionalnyi standart Ukrainy. 1995.
8. DSTU 3835-98. *Vzuttia spetsialne z verkhom iz shkiry dlia zakhystu vid mekhanichnoho diiannia. [Chynnyi vid 01.01.2001] Vyd. ofits*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 1998.
9. DSTU 3962-2000. *Vzuttia spetsialne z verkhom iz shkiry dlia zakhystu vid nafty, naftoproduktiv, kyslot ta luhiv, netoksychnoho ta vybukhonebezpechnoho pylu. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 01.01.2002] Vyd. ofits*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2000.
10. Mykhailovska O.A., Nadopta T.A. *Pokaznyky yakosti dlia spetsialnoho vzuttia viiskovoho pryznachennia. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2023. № 3. S. 191-197.
11. Obrizan V. A. *Rozrobka konstruktzii ta tekhnolohii vyhotovlennia spetsialnoho vzuttia lyttievoho metodu kriplennia iz zastosuvanniam novykh materialiv: dys. kand. tekhn. nauk: 05.19.06 Київ, 2007. 163 s.*
12. Oliinykova V. V., Babych A. I., Lukaniuk Ya. S., Marushchenko O. V. *Vymohy do materialiv verkhу, nyzu, konstruktzii ta tekhnolohii vyhotovlennia spetsialnoho vzuttia. Lehka promyslovist*. 2010. № 3. S. 14-15.
13. Cherepakina R.Z., Koliadiuk R.I., Konoval V.P. *Universalna metodyka proektuvannia erhonomichnoho spetsvzuttia. Kyiv: Lehka promyslovist*. 2002. S. 42– 43.

Рецензія/Peer review : 09.03.2024 р.

Надрукована/Printed :20.05.2024 р.

ВОЛОДИМИР КОРЧИНСЬКИЙ

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

<https://orcid.org/0000-0003-3972-0585>

e-mail: vkadkorchin@ukr.net

ІРИНА ТАРАСЕНКО

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

<https://orcid.org/0009-0009-5736-5979>

tarasenkoirina1967@gmail.com

СЕРГІЙ РАЦИБОРИНСЬКИЙ

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

<https://orcid.org/0009-0000-2513-8442>

e-mail: raciborinskij@ukr.net

ОЛЕКСАНДР АКАЄВ

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

<https://orcid.org/0009-0008-4336-2331>

e-mail: dobrodeetel@gmail.com

АРТЕМ ХАДЖИОГЛО

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

<https://orcid.org/0009-0008-1525-0535>

e-mail: artemtemtemtem16@gmail.com

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ

У роботі надано огляд та аналіз проблем із застосування автоматизованих систем керування доступом на основі NFC. Досліджено можливості платформи Arduino та на її основі розроблена система керування доступом із модулем RFID-NFC. Використання автоматизованих систем керування доступом у сучасному світі стає все більш актуальним. Це пов'язано з рядом переваг, які такі системи можуть принести підприємствам та іншим об'єктам. Дані системи спрощують і пришвидшують процес ідентифікації особи, заощаджують час та підвищують ефективність роботи служб безпеки, але все одно вимагають контролю з боку людини. Технологія RFID-NFC є актуальною, тому розробка та використання цієї технології для системи керування доступом може вирішити проблеми несанкціонованого доступу до приміщень та/або контрольованих зон. Також компанія/підприємство має змогу заощадити кошти на пристроях ідентифікації, оскільки в якості ідентифікатора можна використовувати різні документи, у яких вбудовано NFC мітку. Наприклад, це може бути паспорт громадянина України, паспорт громадянина України для виїзду за кордон, свідоцтво про реєстрацію транспортного засобу, банківські карти та смартфон із функцією NFC тощо. Автоматизована система керування доступом – це сукупність новітніх технологій та програмного забезпечення, яка призначена для контролю та обмеження доступу до певної приватної території/контрольованої зони. Головною метою автоматизованої системи керування доступом є забезпечення безпеки, управління та моніторингу доступу по приватній території/контрольованої зони. Такі системи використовуються для ідентифікації персоналу, транспортних засобів тощо, які мають доступ до обмеженої території/контрольованої зони. Системи керування доступом можуть бути інтегровані з іншими системами безпеки, як-от: системи відеоспостережень, системи виявлення/запобігання вторгненням тощо.

Ключові слова: Arduino, NFC-мітка, автоматизована система керування доступом, ідентифікація, контрольована зона, системи безпеки, скетч.

KORCHYNSKYI VOLODYMYR V., TARASENKO IRYNA V., RATSYBORYNSKYI SERHII S., AKAEV OLEKSANDR, KHADZHYOHLO ARTEM V.

State University of Intellectual Technologies and Communications

AUTOMATED ACCESS CONTROL SYSTEMS

The paper provides an overview and analysis of the problems in the application of automated access control systems based on NFC. The capabilities of the Arduino platform are investigated and an access control system with an RFID-NFC module is developed on its basis. The use of automated access control systems in the modern world is becoming increasingly relevant. It involves a number of benefits that such systems can bring to businesses and other entities. These systems simplify and speed up the process of identifying a person, save time and increase the efficiency of security services, but still require human control. RFID-NFC technology is up-to-date, so the development and use of this technology for an access control system can solve the problem of unauthorized access to premises and/or controlled areas. Also, a company/enterprise can save money on identification devices, since various documents with an embedded NFC tag can be used as an identifier. For example, it can be a passport of a citizen of Ukraine, a passport of a citizen of Ukraine for travelling abroad, a certificate of registration, bank cards and a smartphone with NFC function, etc. An automated access control system is a set of advanced technologies and software designed to control and restrict access to a specific private territory/controlled area. The main purpose of an automated access control system is to ensure security, control and monitoring of access to a private territory/controlled area. Such systems are used to identify personnel, vehicles, etc. that have access to a restricted area/controlled zone. Access control systems can be integrated with other security systems, such as video surveillance systems, intrusion detection/prevention systems, etc.

Keywords: Arduino, NFC tag, automated access control system, identification, controlled area, security systems, sketch.

Постановка проблеми

Основною задачею автоматизованих систем керування доступом є обмеження доступу людей або працівників підприємства на певний об'єкт до моменту підтвердження прав доступу до нього за допомогою відповідних механізмів та/або електронних пристроїв ідентифікації та аутентифікації. Система контролю доступом дає можливість здійснювати цілодобовий контроль ситуації та території/об'єкти, яка охороняється, забезпечити безпеку співробітників, обмежити несанкціонований доступ до матеріальних цінностей та документів на об'єкті/підприємстві, які мають певний гриф секретності відповідно до законодавства [1]. Загалом усі автоматизовані системи контролю доступу функціонують за схожими принципами, різниця полягає у надійності, якості та зручності повсякденного використання. Також варто відзначити, що система керування доступом складається з [2]:

– ідентифікатора користувача, яким може бути електронний пристрій, карта та навіть людський орган. Якщо це електронний пристрій, то, як правило, всередині нього розміщено чіп із антеною або магнітна смуга. Якщо це людський орган, то в основному використовують відбиток пальця/пальців, відбиток усієї руки, рисунок райдужної оболонки ока або інші біометричні ознаки особистості: риси обличчя, геометрія кісті руки, розміщення вен на руці, динамічні характеристики почерку, особливості мови, динаміка удару по клавішам при друкуванні тощо. Усім ідентифікаторам присвоюється унікальний цифровий код, який містить необхідну інформацію про права доступу його власника;

– зчитувача – це пристрій, який виконує зчитування інформації з ідентифікатора користувача та надсилає отримані дані у контролер системи доступу;

– загороджувального пристрою (точка проходу) – це турнікети, двері з автоматичними замками, ворота, шлагбауми, шлюзи тощо. Як правило, для повного контролю доступу в точках проходу встановлюють два зчитувачі: один на вході, інший на виході. У випадку, коли потрібен лише вхідний контроль, зчитувач на виході не ставиться, а вхід робиться або вільним, або через спеціальну кнопку виходу;

– кнопки виходу, яка призначена для короткочасного дозволу проходу, при цьому контролер системи доступу запам'ятовує факт виходу через точку проходу;

– контролеру системи контролю доступу – це ключовий електронний модуль, який реалізує ідентифікацію об'єктів доступу за отриманою інформацією від зчитувачів. Також контролер здійснює керування із розмежування доступу на територію, керує загороджувальними пристроями та пристроями оповіщення;

– програмного забезпечення системи керування доступом – це елемент системи, за допомогою якого є можливість централізовано керувати контролерами системи керування доступом, використовуючи персональний комп'ютер, вести моніторинг подій, формувати відповідні звіти тощо;

– конверторів середовища для підключення модулів системи керування доступом одне до одного та до персонального комп'ютера, які надають можливість організувати контроль доступу та облік робочого часу на підприємстві з декількома прохідними, великою кількістю контрольованих зон тощо;

– допоміжного обладнання – це технічні засоби, які застосовуються для забезпечення коректної взаємодії між описаними вище елементами системи керування доступом. До них відносяться конвертори сигналів, блоки живлення, датчики, кнопки, блоки безперебійного живлення тощо.

Подальше вдосконалення систем керування доступом можливе при застосуванні більш ефективних засобів ідентифікації та алгоритмів. Авторами роботи [1] встановлено, що предметом захисту в будь-якій інформаційній системі є конфіденційна інформація. Для запобігання витоку інформації з ЕОМ, окрім програмних засобів захисту інформації, використовуються також і фізичні. Найпоширенішим засобом фізичного захисту інформації є використання системи керування доступом (СКД), яка обмежує доступ до ЕОМ, на якій обробляється ІзОД, особам, які не мають допуску до неї.

Аналіз останніх джерел

У роботі [2] наведено дані про переваги та недоліки СКД на основі радіочастотного доступу. Результати аналізу довели доцільність застосування фізичного захисту ЕОМ, які обробляють інформацію з обмеженим доступом. Більш надійний та зручний захист надає система керування доступом на основі RFID/NFC. Як правило, до захисту конфіденційної інформації ставлять високі вимоги, оскільки крадіжка ІзОД стає загальносвітовою проблемою. Для функціонування інформаційної системи найважливішим завданням є забезпечення надійного та стійкого захисту її від злому. Система керування доступом стає дедалі затребуваною, оскільки все більше компаній захищають свої об'єкти, дані та персонал.

Перші ідентифікатори [2] для систем керування доступом з'явилися у 1980-х роках, які розроблялися на основі карток з магнітними смугами. Використання таких карток дало змогу покращити управління доступом до контрольованих зон, а також вирішити проблему деактивації ключів з бази даних у разі звільнення працівників. У цій технології сканування картки відбувалося шляхом проведення її через спеціальний паз зчитувача для отримання незашифрованих ідентифікаційних даних [2]. Проте через деякий час виявилися недоліки контактної технології [3]. Необхідність фізичного контакту призводило до швидкого пошкодження та зносу магнітного покриття картки, що підвищували витрати на таку СКД. При всіх вказаних недоліках поява та подальший розвиток безконтактних технологій став великим досягненням у історії СКД. На той час найбільш розповсюджена технологія мала назву Prox. Ця технологія використовувала радіочастотний доступ та мала певні переваги перед системою ідентифікації на основі контактної сканування. Зчитування даних карток відбувалось на відстані декількох сантиметрів за допомогою радіочастотного каналу.

У 2000-х роках відбувся технологічний прогрес створення безконтактних карт. Такі смарт-карти працювали на частоті 13,56 МГц і вже мали певні криптографічні заходи безпеки. По-перше, було реалізовано взаємну аутентифікацію, по-друге, ці карти мали можливість зберігати набагато більше інформації, окрім ідентифікаційного номеру. Усе це дозволило підвищити рівень безпеки та розширити сферу використання даних карт у різних СКД.

Метою роботи є аналіз та розробка алгоритму системи керування на основі радіочастотного доступу із використанням компонентів платформи Arduino.

Виклад основного матеріалу

В залежності від вимог до забезпечення рівня захисту приміщень/контрольованих зон підприємства, реалізована система керування доступом може мати різні рівні складності, що стосуються її архітектури. Для сучасних систем керування доступом може бути виконана класифікація на підставах декількох різних критеріїв. Так, у залежності від метода керування системою, системи керування доступом класифікують як наступні види [4–6]:

– автономні системи керування доступом, які представляють собою самостійні пристрої, що розміщуються в одній точці проходу. Це об'єднання зчитувача та електромагнітного замка в одному корпусі. Такі системи мають обмежену пам'ять на кількість збережених ідентифікаторів і часто не мають функціоналу з ведення журналу виникаючих подій. Такі системи керування доступом застосовуються для захисту окремих приміщень чи входу в будівлю;

– мережеві системи керування доступом є класичними системами керування доступом. Вони призначені для організації комплексного захисту, оскільки мають у собі цілий набір різноманітних зчитувачів та електромагнітних замків, які об'єднані мережевим підключенням із серверною платформою, на яку встановлено спеціальне програмне забезпечення, що дає можливість керувати системою;

– біометричні системи керування доступом є найбільш сучасними, технологічними та безпечними, але вони не сильно розповсюджені через їх високу вартість та складність налаштувань.

У залежності від ключового ідентифікатора, який використовується, системи керування доступом класифікуються наступним чином [6, 7]:

– безконтактні, де використовуються Proximity-карти або карти з нанесеним на них штрих-кодом. Подібний варіант реалізації зчитувачів у системах керування доступом можна назвати найбільш зручним для користувачів через те, що карти при зчитуванні не прикладаються до зчитувача;

– контактні – це системи керування доступом, де в якості ключа доступу використовуються магнітні карти або «пігулки» у форматі touch-метогу брелка із вбудованим чіпом запам'ятовуючого пристрою.

Також існує окрема класифікація систем керування доступом, згідно якої вони поділяються на 4 класи [6]:

– Клас I – це найпростіші системи, до яких входять звичайний електромагнітний замок із замикаючим пристроєм. Системи такого класу мають мінімальний функціонал, а процес ідентифікації співробітників супроводжується звуковими та/або світловими сигналами.

– Клас II – це однорівневі або багаторівневі системи керування доступом, де права відвідувачів можуть налаштовуватись як на підставі виданих їм ідентифікаторів, так і на підставах різних часових рамок. Такі системи можуть функціонувати як автономно, так і безпосередньо через локальні обчислювальні мережі. Як правило, весь час система функціонує через мережу, а в автономний режим переходить автоматично у випадках втрати зв'язку або перебоїв/відключенні електроживлення.

– Класи III та IV – це висококласні системи керування доступом, які, окрім контролю, реалізують функціональні можливості з обліку робочого часу, можуть інтегруватися з системами відеоспостереження і охоронно-пожежною сигналізацією, використовують складні ідентифікатори, а також мають багаторівневу взаємодію.

Для усіх сучасних систем керування доступом існують наступні вимоги [7]:

- забезпечувати контроль доступу на усіх типах КПП;
- виключати можливість пронесення/провезення заборонених предметів і препаратів;
- затримувати потенційних порушників як внутрішнього трудового розпорядку, так і зовнішніх відвідувачів, які намагаються проникнути на об'єкти, які знаходяться під охороною.
- мати можливість використовувати різні способи ідентифікації особистості;
- мати відкриту програмно-апаратну платформу, яку в подальшому можна буде інтегрувати з будь-якими іншими системами безпеки;
- забезпечувати автоматизацію процесів управління та координацію діяльності об'єкту;
- системно функціонувати в разі виходу з ладу окремих компонентів та в інших надзвичайних випадках.

Ідентифікація [7, 8] – це надання об'єктам доступу певного ідентифікатора або порівняння наданого ідентифікатора з існуючими, які записано в базах даних систем керування доступом. Існує три види ідентифікації: парольна, апаратна та біометрична. Охарактеризуємо кожну з них [8]:

– парольна ідентифікація ґрунтується на введенні користувачем унікального логіна та пароля для доступу до системи. Користувач отримує персональний логін та пароль, які надають йому доступ до об'єкту чи системи. Перевагами такої ідентифікації є простота використання та розповсюдженість, а недоліками – залежність від якості обраних паролів та вразливість до атак, які пов'язані з перехопленням паролів;

– апаратна ідентифікація базується на визначенні особистості за предметами власності, такими як: електронні ключі, банківські карти тощо. Її перевагами є висока надійність, оскільки ключі мають певні механізми захисту, а недоліками – висока вартість такого обладнання;

– біометрична ідентифікація виконується за унікальними ознаками, такими як: відбитки пальців, райдужна оболонка ока, рисунок вен на руці тощо. Перевагою такої системи ідентифікації є надійність, а недоліком – висока вартість, оскільки потрібні сканери біометричних параметрів для кожного комп'ютера. У технології RFID-NFC принцип обміну даними засновано на індуктивному зв'язку між пристроями на відстані до 10 см зі швидкістю передавання до 424 кбіт/с та частотному діапазоні з центральною частотою 13,56 МГц [9]. Технологія NFC заснована на стандартах ISO/IEC 14443A та ISO/IEC 14443B. Для обміну даними між двома NFC-пристроями використовується протокол передавання даними, який відповідає стандартам ECMA-340 та ISO/IEC 18092. Схема передавання даних між опитувальним та приймальним пристроями представлена на рис. 1.

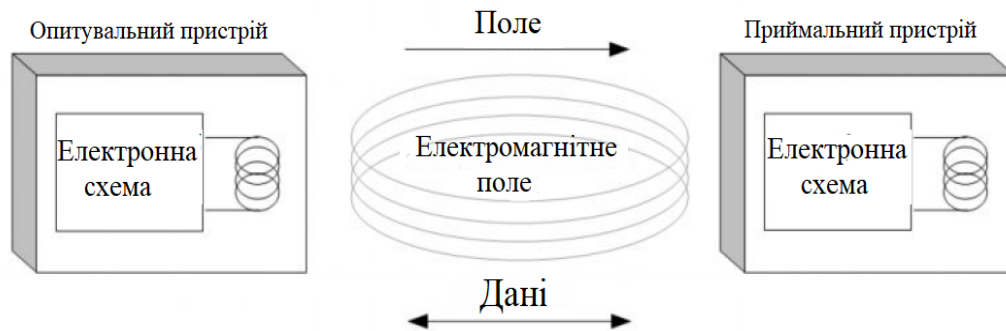


Рис. 1. Схема взаємодії опитувального та приймального пристроїв

Технологія NFC використовує способи цифрового кодування, які представлено на рис. 2:

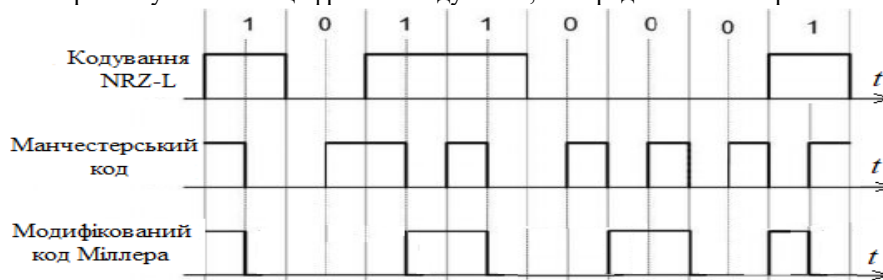


Рис. 2. Способи цифрового кодування у технології RFID-NFC

– метод кодування NRZ-L – високий рівень напруги сигналу на інтервалі часу біта передає логічну «1», а низький рівень напруги сигналу на інтервалі часу біта передає логічний «0».

– манчестерський код – перша половина бітового часового інтервалу логічної «1» передається високим рівнем напруги, а друга половина – низьким рівнем. Логічний «0» передається послідовністю високого на низького рівнів напруги.

– модифікований код Міллера (MFM) – у цьому випадку зміна рівня напруги відбувається в середині такту, якщо біт, що передається, дорівнює логічній «1», і на межі інтервалу, якщо обидва сусідніх біта дорівнюють «0».

Розглянемо переваги системи керування доступом на основі RFID-NFC [9,10]. Доступ на основі RFID-NFC дає змогу використовувати як мінімум власний смартфон, паспорт громадянина України, свідоцтво про реєстрацію транспортного засобу у якості ключа доступу. Використання смартфона, паспорту, свідоцтва про реєстрацію транспортного засобу тощо запобігає доступу крадіїв до захищених об'єктів/контрольованих зон, оскільки їм потрібно використовувати телефон, для отримання сигналу, за допомогою якого можна відкрити двері. Також головною перевагою є те, що NFC не може розмагнітитись та його неможливо скопіювати.

При використанні технології NFC використовується дуплексний обмін інформацією, що забезпечує високу швидкість та якість передавання. Пристрій зчитування даних RFID-NFC міток спрацьовує лише на невеликих відстанях, що обмежує можливості зчитування інформації злоумисниками та зменшує витрати енергії під час роботи.

Незважаючи на велику кількість переваг, системи RFID-NFC також мають і недоліки, як от [2, 3]:

– обладнання для такої СКД має велику ступінь енергозалежності: за умови, що мікрочіп не знаходиться в активному стані, він все одно витрачає певний відсоток енергії;

– пристрою для підготовки до роботи потрібен час: на етапі монтажу СКД на основі NFC потрібно правильно розмістити чіп та налаштувати його для правильного та безперебійного функціонування;

– відсутня можливість для швидкого блокування функції. Якщо в якості ключа доступу використовується смартфон з функцією NFC, то у разі його втрати, заблокувати доступ з нього буде важче, оскільки блокування повинно проводитись, коли є фізичний доступ до пристрою.

Методика експериментальних досліджень, означених у роботі, ґрунтується на використанні доступної технології платформи Arduino. Для виконання мети роботи представимо СКД на основі модуля RFID-NFC платформи Arduino. Розглянемо можливість платформи Arduino.

Arduino [10,11] – це платформа типу «open-source», яку засновано на елементарному використанні апаратного та програмного забезпечення. Переважна більшість пристроїв, які виконано на основі платформи Arduino, складаються з базової плати, на якій розміщується мікроконтролер, та модуля розширення, який має назву «shield».

У класичній лінійці пристроїв Arduino в основному використовуються мікроконтролери сімейства Atmel AVR, які розміщуються на різних платах [11]:

- ATmega2560 – плата: Mega;
- ATmega32U4 – плати: Leonardo; Micro; Yun;
- ATmega328 – плати: UnoR3; Mini; NanoR2; Pro; Pro mini;
- ATtiny85 – плати: Digispark;
- ATmega168 – плати: Uno R1; Uno R2; Pro mini; NanoR1.

Для програмування плат Arduino використовується додаток Arduino IDE, який є програмним середовищем розробки і використовує мову програмування C/C++. Абревіатура IDE розшифровується як Integrated Development Environment – інтегроване середовище розробки. Arduino IDE дозволяє писати програму у зручному програмному редакторі, копіювати її та завантажувати машинний код в пам'ятовуючий пристрій плати Arduino.

Середовище Arduino IDE, складається з [10]:

- редактора програмного коду;
- області повідомлень;
- вікна для виводу тексту;
- панелі інструментів.

Програма, яку написано за допомогою середовища Arduino IDE, має назву скетч. Після написання скетчу, перед збереженням, у вікні виведення повідомлень з'являється інформація про наявність існуючих помилок. Також Arduino IDE має вбудовану утиліту Serial Monitor, призначення якої – обмін даними з платформою Arduino. За допомогою утиліти Serial Monitor відбувається налагодження вбудованого програмного забезпечення мікроконтролера, отримання інформації про роботу програми та відправка команд до мікроконтролера через порт USB.

Перед початком розробки системи керування доступом, потрібно розробити алгоритм, за яким буде працювати така система. Алгоритм роботи полягає в наступному:

1. Систему вже встановлено та під'єднано до джерела живлення. Вона знаходиться в активному стані, про що свідчить робота білого світлодіоду. Система очікує на ідентифікатор.
2. У разі сканування ідентифікатора, який не зареєстровано в системі, на дисплей виводиться напис «Wrong card», замок знаходиться в зачиненому стані, доступ до приміщення/приміщень, перед яким встановлено дану СКД, заборонено. Паралельно з цим вмикається червоний світлодіод та звуковий сигнал заборони. У випадку 3-разового прикладання незареєстрованого ідентифікатора, вмикається режим «Тривога». У разі переходу СКД у режим «Тривога» сигнал із системи передається на комп'ютер відділу безпеки та надходить повідомлення у Telegram-Bot.
3. Якщо прикладено зареєстрований ідентифікатор, то на дисплей виводиться напис «Correct card», вмикається зелений світлодіод та звуковий сигнал підтвердження. У цьому випадку замок змінює своє положення на «Відчинено».
4. Після успішної ідентифікації, особа, яка отримала доступ до приміщення/приміщень, відчиняє двері, на які встановлено датчик на основі геркону. Геркон у цій системі керування доступом використовується для контролю зачинення дверей. Після того, як дотягувач зачинив двері, контакти всередині геркону замикаються, а електромеханічний замок переходить у стан «Зачинено». У випадку якщо дотягувач не зачинить двері, через 10 секунд система переходить у стан «Тривога».
5. Для виходу з приміщення, яке захищається даною СКД, потрібно знову просканувати ідентифікатор та виконати дії, які описано у 4 пункті.
6. У разі переходу системи у стан «Тривога», цей стан буде зберігатися, поки співробітник служби безпеки не вимкне його або за допомогою спеціального сервісного ключа, або дистанційно через робочий комп'ютер, попередньо ввівши логін та пароль, який змінюється щоденно. Система у стані «Тривога» показує причину переходу в цей стан та виводить дані про особу/осіб, які заходили/виходили з приміщення.

Висновки

Експериментальним шляхом досліджено можливості платформи Arduino по створенню СКД на основі RFID технології. Встановлено, що дана платформа має повний арсенал можливостей із розробки будь-якої гнучкої та надійної СКД. Розроблено алгоритм роботи системи керування доступом підприємства на основі технології RFID/NFC для ідентифікації працівників на певних об'єктах контрольованої зони

підприємстві. Доведена доцільність використання технології RFID/NFC, яка найбільш точно відповідає стандартам СКД, де потрібна реєстрація осіб та надання/заборона доступу їм до певних територій/об'єктів. Результати досліджень дали змогу встановити наступне:

- платформа Arduino має всі програмні та апаратні засоби для розробки СКД підприємства на основі технології RFID/NFC завдяки наявності спеціального модуля, який зчитує дані з карт, паспортів тощо;
- середовище розробки Arduino IDE має можливість перевіряти роботу розробленого пристрою;
- доступ у приміщення контрольованої зони надається шляхом прописування у програмний код відповідний ідентифікатор паспорту громадянина України, закордонного паспорту, свідоцтва про реєстрацію транспортного засобу тощо у мікроконтролер Arduino.

Література

1. Царенко В. В. Системи контролю і управління доступом до об'єктів, що охороняються [Електронний ресурс] / Владислав Валерійович Царенко. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/50798/1/%D0%A4%D0%9A%D0%9A%D0%9F%D0%86_2020_123_%D0%A6%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%92.%D0%92..pdf.
2. Системи контролю і управління доступом від А до Я [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/7824.html>.
3. Гавриленко І. О. Організація системи керування доступом на приватному підприємстві [Електронний ресурс] / Іван Олександрович Гавриленко. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52461/1/HavrylenkoI_mahistr.pdf.
4. Погост О. О. Системи контролю та управління доступом [Електронний ресурс] / Олександр Олександрович Погост. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://ukrbukva.net/66525-Sistemy-kontrolya-i-upravleniya-dostupom.html>.
5. Об'єкти та процедури, що їх системою контролю і управління доступом [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua-referat.com/Об'єкти та процедури їх системою контролю і управління доступом>.
6. Критерії оцінки СКУД. Класифікація засобів і систем контролю. Класифікація СКУД [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua-referat.com/Критерії оцінки СКУД Класифікація СКУД>.
7. Системи контролю доступу СКД/СКУД [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://ukrinfosystems.com.ua/design-and-construction/access-control-systems>.
8. Ідентифікація та аутентифікація користувачів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/identifikaciataautentifikacia/>.
9. Що таке NFC і як цю технологію використовувати? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.itbox.ua.ua/blog/Scho-take-NFC-i-yak-cyu-tehnologiyu-vikoristovuvati/>.
10. What is Arduino? [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>.
11. Мікроконтролер Arduino [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://bitkit.com.ua/shho-take-arduino>.

References

1. Tsarenko V. V. Systemy kontroliu i upravlinnia dostupom do obektiv, shcho shcho okhoroniaiutsia [Elektronnyi resurs] / Vladyslav Valeriiovych Tsarenko. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/50798/1/ФККПІ_2020_123_ЦаренкоВ.В..pdf
2. Systemy kontroliu i upravlinnia dostupom vid A do Ya [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/7824.html>.
3. Havrylenko I. O. Orhanizatsiia systemy keruvannia dostupom na pryvatnomu pidpriemstvi [Elektronnyi resurs] / Ivan Oleksandrovych Havrylenko. – 2022. – Rezhym dostupu do resursu: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52461/1/HavrylenkoI_mahistr.pdf.
4. Pohost O. O. Systemy kontroliu ta upravlinnia dostupom [Elektronnyi resurs] / Oleksandr Oleksandrovych Pohost. – 2012. – Rezhym dostupu do resursu: <https://ukrbukva.net/66525-Sistemy-kontrolya-i-upravleniya-dostupom.html>.
5. Obiekty ta protsedury, shcho yikh systemoiu kontroliu i upravlinnia dostupom [Elektronnyi resurs]. – 2008. – Rezhym dostupu do resursu: <https://ua-referat.com/Об'єкти та процедури їх системою контролю і управління доступом>.
6. Kryterii otsinky SKUD. Klasyfikatsiia zasobiv i system kontroliu. Klasyfikatsiia SKUD [Elektronnyi resurs]. – 2014. – Rezhym dostupu do resursu: <https://ua-referat.com/Критерії оцінки СКУД Класифікація СКУД>.
7. Systemy kontroliu dostupy SKD/SKUD [Elektronnyi resurs]. – 2016. – Rezhym dostupu do resursu: <https://ukrinfosystems.com.ua/design-and-construction/access-control-systems>.

8. Identyfikatsiia ta autentyfikatsiia korystuvachiv [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://sites.google.com/site/identifikaciataautentifikacia/>.
9. Shcho take NFC i yak tsiu tekhnolohiiu vykorystovuvaty? [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.itbox.ua/ua/blog/Scho-take-NFC-i-yak-cyu-tehnologiyu-vikoristovuvati/>.
10. What is Arduino? [Elektronnyi resurs]. – 2023. – Rezhym dostupu do resursu: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>.
11. Mikrokontroller Arduino [Elektronnyi resurs]. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: <https://bitkit.com.ua/shho-take-arduino>.

Рецензія/Peer review : 20.04.2024 р.

Надрукована/Printed :08.05.2024 р.

КРИВЕНЧУК Ю.П.

Національний університет "Львівська політехніка"

ORCID ID: 0000-0002-2504-5833

e-mail: Yurii.P.Kryvenchuk@lpnu.ua

КРУПА С.М.

Національний університет "Львівська політехніка"

ORCID ID: 0009-0000-2074-9762

e-mail: stepan.m.krupa@lpnu.ua

ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ПОКРАЩЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПІДБОРУ HS КОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МИТНОГО КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

Покращення сучасних підходів до оптимізації митного класифікаційного процесу через впровадження методів машинного навчання для автоматизованого підбору HS кодів. На тлі зростання обсягів та складності міжнародної торгівлі, важливість швидкого та точного визначення класифікацій стає надзвичайно актуальною. Розглянемо вплив використання методів машинного навчання на покращення процесів класифікації товарів за системою Гармонізованої системи (HS). Зокрема, проаналізуємо переваги автоматизації підбору кодів, такі як підвищена точність, швидкість та ефективність у порівнянні з традиційних методів. Продемонструємо практичні приклади впровадження машинного навчання в митній сфері та висвітлені потенційні перспективи розвитку цього напрямку. Дослідження покажуть на важливість вдосконалення та сучасного підходу до митної класифікації товарів для оптимізації і поліпшення процесів міжнародної торгівлі. Автоматизований підбір HS кодів за допомогою машинного навчання прискорює визначення класифікації та забезпечує високу ступінь надійності у порівнянні з традиційними методами.

Ключові слова: митна класифікація, HS коди, машинне навчання, автоматизація, оптимізація процесів.

KRYVENCHUK YURI, KRUPA STEPAN.

Lviv Polytechnic National University

IMPROVEMENT OF AUTOMATED HS CODE SELECTION USING MACHINE LEARNING METHODS FOR OPTIMIZATION OF THE CUSTOMS CLASSIFICATION PROCESS

Improvement of modern approaches to the optimization of the customs classification process through the introduction of machine learning methods for the automated selection of HS codes. Against the background of growing volumes and complexity of international trade, the importance of quick and accurate determination of classifications becomes extremely urgent. Let's consider the impact of using machine learning methods on improving the processes of product classification according to the Harmonized System (HS). In particular, we will analyze the advantages of automating the selection of codes, such as increased accuracy, speed and efficiency compared to traditional methods. We will demonstrate practical examples of the implementation of machine learning in the customs sphere and highlight potential prospects for the development of this direction. Research will show the importance of improvement and a modern approach to the customs classification of goods for optimization and improvement of international trade processes. In the conditions of the rapid development of international trade and the expansion of the assortment of goods, customs services are increasingly directing their efforts to the improvement and optimization of processes. One of the key directions of this improvement is the introduction of automated HS code selection, which determines the classification of goods according to the Harmonized System (HS). The importance of improvement and a modern approach to the customs classification of goods for optimization and improvement of international trade processes becomes even greater in the context of the rapid development of this sector and the expansion of the range of goods. As part of this improvement, the use of machine learning methods for automated selection of HS codes comes to the fore. These advanced techniques can improve not only the accuracy but also the efficiency of the product classification process. Automated selection of HS codes using machine learning accelerates classification determination and provides a high degree of reliability compared to traditional methods.

Keywords: customs classification, HS codes, machine learning, automation, process optimization.

Постановка проблеми

У сучасному світі, де обсяги міжнародної торгівлі швидко зростають, та товари стають більш різноманітними та складними, проблема точної та ефективної класифікації за системою Гармонізованої системи (HS) стає актуальнішою. Особливо гостро це відчувається в митницях, де митний персонал повинен швидко та точно визначати HS коди для тисяч товарів.

Головна проблема полягає в тому, що традиційні методи класифікації товарів стають недостатньо ефективними та часовитратними у зіставленні зі зростаючою складністю товарів та змінами в міжнародному законодавстві. Людські помилки та відсутність швидких адаптацій до змін у класифікаційних стандартах можуть призводити до затримок у митних процедурах та втрат ефективності.

Однією з ключових проблем є також необхідність вдосконалення процесу митної класифікації за допомогою сучасних технологій машинного навчання. Відсутність автоматизованих систем та використання лише традиційних методів обмежує швидкість та точність класифікації.

Таким чином, виникає необхідність у вдосконаленні та оптимізації митного класифікаційного процесу через впровадження методів машинного навчання для автоматизованого підбору HS кодів. Це

дозволить підвищити ефективність, зменшити часові затрати та уникнути помилок, що може мати значущий вплив на покращення митних операцій та сприяти зручності для міжнародних торговців.

Аналіз останніх джерел

У статті [1] Гармонізованої системи (HS). За словами F. Altaheri and K. Shaalan, код HS Code, також відомий як Гармонізована система опису та кодування товарів, був розроблений Всесвітньою митною організацією (WCO), що базується в Брюсселі, щоб впоратися зі швидким зростанням міжнародної торгівлі в усьому світі. Відповідно до цього Weerth (2008) пояснив, що товари в митному тарифі повинні бути повністю описані в митній декларації, щоб їх можна було відповідно класифікувати. Наприклад, дерев'яний стілець можна класифікувати відповідно до матеріального стану або його функції як меблі (Weerth 2008).

Автор статті [2] вирішив показати методи машинного навчання зараз інтегруються в різні програми та системи, щоб допомогти організаціям приймати кращі рішення, зокрема щодо прогнозного аналізу та розпізнавання образів. Наприклад, методи машинного навчання значною мірою інтегруються в сферу безпеки, наприклад, для покращення розпізнавання обличчя за рахунок використання великої кількості даних із різних джерел, що людям важко виконувати вручну (Mohammed et al. 2018). Крім того, машинне навчання також інтегрується в різні системи для сприяння автоматизації та підвищення ефективності та точності. Наприклад, методи машинного навчання інтегруються в коди HS для підвищення точності, інтелекту та автоматизації (Zang et al. 2008).

У даній статті [3] один з авторів Paul Pu Liang розглянув дані, використані в цій роботі, наданих Дубайською митницею в рамках конкурсу зі штучного інтелекту (AI), який проводився в жовтні 2019 року. Ці дані складаються з 22 346 194 записів, у яких кожен запис має два атрибути; гармонізований код системи (Код HS) і опис введених користувачем даних. У даному розділі описано методи обробки, які ми застосували для перегляду, аналізу та підготовки вхідних даних.

Публікація [4] дослідників Alqaryouti, O., Siyam, N., Monem, A.A., Shaalan, K описує, стратегії машинного навчання також інтегруються в HS, щоб покращити процес автоматизації. Відповідно до KPMG International (2019), машинне навчання можна використовувати для створення бази знань для навчання та розробки набору алгоритмів на основі великої кількості даних, щоб робити обґрунтовані прогнози. KPMG International (2019, стор. 37) пояснила, що «комбінація обробки природної мови та машинного навчання дає змогу автоматизувати збір, масив і аналіз неструктурованих даних і перетворити їх у структуровані дані, які можна використовувати в додатку атах». Це свідчить про те, що інтеграція машинного навчання в HS може сприяти підвищенню ефективності процесу за рахунок покращення якості, узгодженості та точності класифікації коду завдяки зменшенню ймовірності людських помилок. Розроблено кілька інструментів і методів машинного навчання. Тим не менш, машинне навчання можна розглядати як те, що забезпечує технічну основу для інтелектуального аналізу даних (Witten et al. 2011).

У статті [5] описано, що НЛП токенізація є важливим кроком для визначення ваги (важливості) кожного слова в тексті. Загалом, для виконання токенізації широко використовуються дві основні техніки. Ці методи: (1) сумка слів і (2) частота термінів - частота інвертування документа (TF-IDF). Сумка слів — це просто метод підрахунку, за якого кожному слову надається значення, яке представляє частоту, з якою слово з'являється в тексті. Відповідно, використання цієї методики залежить від того, чи кількість появ кожного слова в тексті розглядається як окремі ознаки в кожній моделі (Alqaryouti та ін. 2019). Однак TF-IDF вважається більш просунутою технікою, оскільки вона використовує частоту слова, щоб визначити унікальність кожного слова в тексті. TF-IDF починається з обчислення частоти кожного слова в тексті ($Fr(w)$). Це обчислюється шляхом ділення кількості разів, коли слово (w) з'являється в тексті, на загальну кількість слів. Це позначає термін частоти в розрахунку (TF).

Мета роботи полягає в забезпеченні цінної інформації для фахівців у сфері митного класифікаційного процесу, а також внесенні вагомому вкладу в розвиток автоматизованих систем митного контролю з використанням сучасних технологій машинного навчання.

Етапи процесу покращення автоматизованого підбору митного коду

Процес вдосконалення автоматизованого підбору HS коду за допомогою методів машинного навчання для оптимізації митного класифікаційного процесу включає кілька ключових етапів:

1. Збір та Підготовка даних:

- Збирання реальних даних, таких як декларації товарів, рахунки, та інші відомості з митниць та торгових організацій.

- Очищення та підготовка даних, включаючи обробку відсутніх значень, нормалізацію та інші техніки для забезпечення якості та відповідності стандартам.

2. Визначення задачі та параметрів:

- Визначення конкретної задачі машинного навчання, такої як класифікація товарів за HS кодами.

- Визначення вхідних параметрів (ознак) та виходу (класифікаційний код).

3. Вибір моделі:

- Вибір алгоритму машинного навчання, який найбільше відповідає вибраній задачі (наприклад, нейронні мережі, дерева рішень, або метод опорних векторів).

- Оцінка та порівняння різних моделей з метою визначення найефективнішого в контексті задачі.