

БІОЛОГІЧНІ ТА МЕДИЧНІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 004.42

О. О. Григоришен, І. С. Колесник, Л. А. Савицька

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПСИХІЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Розроблення аналітично-інформаційної системи для діагностики психічного стану людини є актуальною задачею. Система забезпечує отримання інформативно-діагностичних симптом як індикаторів психічного стану людини. Крім іншого систему можна використовувати для профілактики психічних захворювань та виявлення хвороби на ранній стадії, що значно підвищує ефективність успішного лікування. Практичне значення системи зумовлено потребами психологічного дослідження, здійснення якого за допомогою програмного продукту дає можливість досить легко та швидко застосовувати різні психодіагностичні стратегії.

Ключові слова: аналітично-інформаційна система, психодіагностування, психічний стан, лікування, психічні захворювання, симптоми, психічний стан.

Анотация. Разработка аналитически информационной системы для диагностики психического состояния человека является актуальной задачей. Система обеспечивает получение информативно-диагностических симптомов как индикаторов психического состояния человека. Кроме прочего систему можно использовать для профилактики психических заболеваний и выявления болезни на ранней стадии, что значительно повышает эффективность успешного лечения. Практическое значение системы обусловлено потребностями психологического исследования, осуществление которого с помощью программного продукта позволяет достаточно легко и быстро применять различные психодиагностические стратегии.

Ключевые слова: аналитически информационная система, психодиагностирование, психическое состояние, лечение, психические заболевания, симптомы, психическое состояние.

Abstract. The development of an analytical information system for the diagnosis of a person's mental state is an urgent task. The system provides informative and diagnostic symptoms as indicators of a person's mental state. Among other things, the system can be used to prevent mental illness and detect the disease at an early stage, which significantly increases the effectiveness of successful treatment. The practical significance of the system is due to the needs of psychological research, the implementation of which with the help of a software product allows you to easily and quickly apply various psychodiagnostic strategies.

Keywords: analytical information system, psychodiagnostic, mental state, treatment, mental illness, symptoms, mental state.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-4-9>.

Вступ

Наука – це перш за все дослідження, яка використовує методи, способи, засоби, за допомогою яких використовуються певні факти, які є істотними для важливих сфер людської діяльності, зокрема для психології. Практичні результати психологічних досліджень допомагають людині пізнати себе, навчитися керувати собою [1]. Дослідження базується на методичних засадах, здійснюється на основі використання відповідних методів і прийомів. Явища, які вивчає психологія, настільки складні і різноманітні, що вимагають від дослідника серйозної підготовки, їх успіх безпосередньо залежить від рівня досконалості методів, які вони використовують для дослідження. Пріоритетним напрямом психологічної практики і науки є впровадження елементів автоматизації у експериментальні процеси досліджень шляхом застосування комп'ютерних систем.

Використання ПК, як засобу для визначення психічного стану людини дозволило не лише розширити базу відповідними методами, а й систематизувати та пришвидшити процес виявлення хвороби на ранніх стадіях, та об'єднати лікування в єдиний технологічний цикл. Створення систем діагностування значною мірою звільнює спеціалістів від виконання рутинних дій. Завдяки комп'ютерній діагностиці ми можемо швидко отримати доступ до потрібної нам інформації, попередньо відсіявши її з-поміж величезної кількості усіх інших, на даний час неактуальних даних.

Психологічне дослідження застосовує відповідні психодіагностичні методи. Вони поділяють на загальні методи, притаманні більшості наукам, і конкретні, які використовуються в окремих галузях науки [1].

Актуальність

У випадку коли психічні розлади є важкими, і їх наслідки призводять до погіршення захворювання, які зумовлюють виникнення обмежень життєдіяльності особи. Для того щоб подолати соціально-психологічні проблеми потрібно використовувати інформаційні системи для створення кожному з них реабілітаційних програм, які включають різні психокорекційні методики.

Мета

Мета статті це створення алгоритму для розробки інформаційно-аналітичної системи діагностування визначення психічного стану людини, яка б допомогла встановити діагноз використовуючи набір наявних симптомів, характерних для певного стану особи.

Задачі

1. Використання засобів тестування для дослідження психічного стану.
2. Застосування алгоритмів для проектування інформаційно-аналітичної системи діагностування, що могла б застосовуватися в сучасному суспільстві.

Психологічне тестування

Психологічне дослідження застосовує відповідні психодіагностичні методи. Вони поділяють на загальні методи, притаманні більшості наукам, і конкретні, які використовуються в окремих галузях науки.

Метод – процес, за допомогою якого можна отримати наукові факти, позначити їх, проаналізувати. Це завжди дійсний метод, який призводить до кінцевого результату та знаходження закономірностей [2].

Операційні методи бувають кількісними і якісними. До кількісних методів належать, вимірювання масштабної та градусної кореляції, коефіцієнти кореляції, факторний аналіз, побудова графіків, гістограм, графіків, таблиць, матриць тощо. Якісний метод включає аналіз і синтез збір даних, їх систематизацію та порівняння з досліджуваними результатами.

Одним з засобів є психологічний тест, а саме це стандартизована система випробувань для психологічної діагностики. Психологічне тестування використовується в різних сферах: консультування щодо кар'єри, вибір професії, психологічне консультування, психотерапія, планування корекційної роботи, дослідження, тощо.

Тест – швидке завдання, виконання якого, зокрема слугує індикатором рівня розвитку деяких психічних функцій і яке дозволяє з певною ймовірністю визначити рівень розвитку потрібних навичок, знань, якостей, тощо. Під час того коли всі методи дослідження використовуються для отримання якихось певних даних, що збагачують базу знань про психічні характеристики суб'єкта характерним для таких захворювань. Тестовий метод дозволяє встановити поточний рівень розвитку, навичок, знань та характеристик індивіда.

Тестування – спосіб, при якому суб'єкти виконують певні дії, основою яких є завдання дослідника. З його допомогою можна проводити дослідження різних сторін виробничої діяльності людини: її рухової сфери, особливостей сприйняття та мислення [2].

Технологію тестування можна розділити на три етапи:

- 1) відбір тесту (з урахуванням мети тесту та ступеня надійності та надійності тесту);
- 2) його виконання (обумовлено тестовою інструкцією);
- 3) інтерпретація результатів (визначається системою теоретичних припущень про предмет тестування).

Тести – це спеціалізовані методи психодіагностичного обстеження, за допомогою яких можна отримати точний кількісний або якісний опис явища. Тести відрізняються від інших методів дослідження тим, що забезпечують чітку процедуру збору та обробки первинних даних, а також унікальність їх подальшої інтерпретації. Використовуючи тести можна вивчати та порівнювати психологію різних людей, проводити диференційовані та порівняльні оцінки.

Варіанти тесту можливі такі: тест-опитування та тест у вигляді завдань. В основі тест-опитування лежить система заздалегідь продуманих, ретельно відібраних і перевірених з точки зору їх обґрунтованості та достовірності питань, відповіді на які оцінюються на основі психологічних особливостей досліджуваних [3].

Тест-завдання надає оцінку психічного стану і поведінки індивіда на базі того, що вона робить. Людині надається ряд спеціальних завдань, за підсумками яких судять про наявність психічних захворювань чи ступінь розвитку певної якості [3].

Тести для визначення психічного стану людини мають ряд характеристик, таких як надійність, валидність тесту тощо.

Надійність тесту – послідовність, стабільність отриманих результатів. Надійність тесту здійснюється шляхом визначення кореляції між результатами першого та повторного застосування тесту (коефіцієнт надійності тесту) або шляхом порівняння даних, отриманих під час випробування, з результатами еквівалентного тесту.

На результат психологічного дослідження, як правило, впливає велика кількість ігнорованих факторів: ступінь втоми досліджуваного, стан емоційної сфери, мотиваційна спрямованість на навчання, а також випадкові фактори, такі як освітлення в приміщенні, температура та вологість, шум, погода, магнітні бурі тощо.

Різноманітність характеристик тесту та показників відповідності, ймовірно, пов'язана з різними припущеннями, які можуть вплинути на результат тесту. Найбільш часто використовувані практичні методи визначення надійності: перевірка надійності частин тесту; ретестова надійність; проходження паралельних форм тестів.

Валідність є найважливішим критерієм якості тесту, який характеризує коректність вимірювання досліджуваної якості; оцінка адекватності тесту досліджуваної проблеми. Вона визначається шляхом порівняння його результатів з іншими критеріями. Перевірка тесту називається валідацією [4].

Комп'ютерне тестування

Комп'ютерне тестування – молода область психодіагностики, пов'язана з використанням комп'ютерних технологій. Виникнення комп'ютерної психодіагностики пов'язане з розвитком сучасних технологій. Зусилля щодо автоматизації подання стимулюючого матеріалу випробуваного та подальшої обробки результатів тривали протягом останніх років минулого століття, але наприкінці XX ст. почався справжній розвиток комп'ютерної психодіагностики в результаті появи ПК. Завдяки ситуації, яка виникла почали інтенсивно розвиватися напрямки, які стосувалися створення комп'ютерних тестів: спочатку – як комп'ютерні версії відомих шаблонних методик, а в 1990-х — як спеціальні методики, які враховують можливості сучасних технологій і не використовуються на бланках, аркушах.

На початку XXI ст. проведення тестів перейшло на новий рівень, який стосується управління тестуванням. В подальшому все частіше використовувалося програмне комп'ютерне забезпечення. Якщо в останні роки деякі етапи дослідження були автоматизовані, такі як подання матеріалу, обробка даних, інтерпретація результатів, то на сучасному етапі все частіше застосовувалися програми, які проводять обстеження, діагностику, крім того роблять постановку діагнозу, що відкидала необхідність присутності психолога, як спеціаліста [5].

Основними перевагами комп'ютерних тестів є:

- висока швидкість;
- бездоганна обробка;
- можливість негайного отримання результатів;
- забезпечення стандартних умов тестування для всіх суб'єктів;
- чіткий контроль над процедурами тестування;
- ретельне архівування результатів;
- можливість комбінувати тести;
- систематизація результатів в одному місці.

Недоліки комп'ютерних тестів:

- вартість розробки програм;
- складність використання в польових умовах;
- втрата частини психодіагностичної інформації, одержуваної в бесіді і спостереженні.

Але перераховані недоліки комп'ютерної психодіагностики будуть усунені завдяки подальшому розвитку комп'ютерної техніки і вдосконалення психодіагностичних технологій [5].

Модель життєвого циклу

Для аналітично-інформаційної системи було обрано інкрементну модель життєвого циклу (рис.1), так як вона є найбільш зручною в реалізації. Модель поділяє систему на порції (інкременти). Кожен інкремент являє собою певну функціональність. Стандартизований процес поділяє ітерації на наступні фази: початок, план розвитку, побудова та перехід.

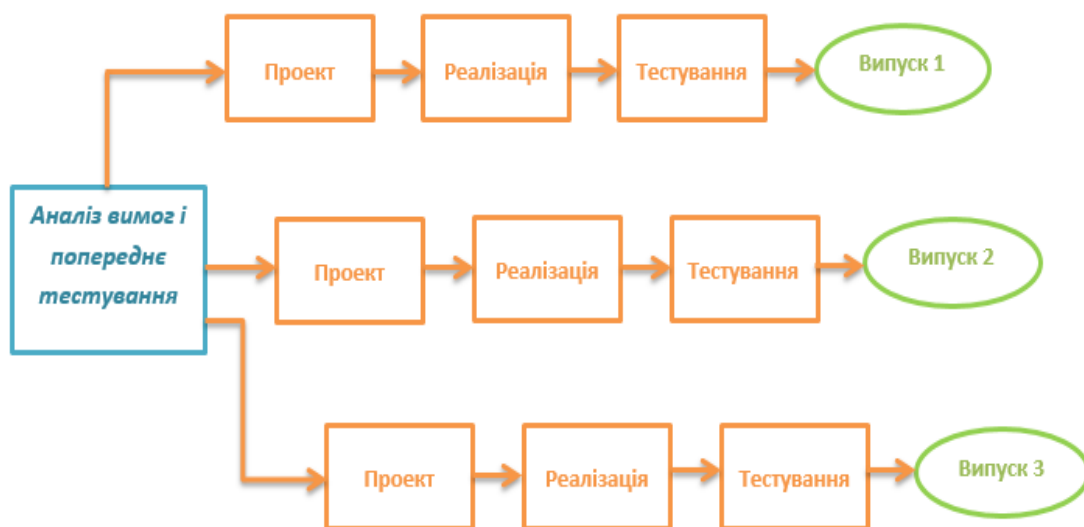


Рисунок 1 – Інкрементна модель життєвого циклу

Інкrementна модель має такі переваги:

- не потрібно заздалегідь витрачати засоби, необхідні для розроблення всього проекту, оскільки спочатку розробляють та реалізують основну функцію або функції із групи високого ризику;
- в результаті кожного виконання інкрементна виходить функціональний продукт, який дозволяє відповідати стрімко зростаючим вимогам ринку;
- мінімізація витрат на попереднє постання продукту;
- відсутність можливості невдачі та різкого зміни типу продукта;
- розподілення ризику на менші сегменти, які не зосереджені в одному проекті;
- покращене розуміння вимог, що забезпечується можливістю одержання користувачем подання про раніше отримані інкременти на практичному рівні;
- замовники можуть розпізнавати найважливіші та корисні функціональні можливості продукту на більш ранніх етапах розроблення [6].

Початок визначає обсяг проекту, ризику та вимоги (функціональні та нефункціональні) на високому рівні, проте не достатньому для опису складності. Кінцевим результатом створення плану є виробнича архітектура, яка пом'якшує найбільш суттєві ризику та задовольняє нефункціональні потреби.

З приводу того, що дизайн повинен наповнювати архітектуру готовим кодом, який створюється шляхом аналізу, планування, реалізації та тестування функціональних потреб, для цього потрібен перехід, який перетворює систему на виробниче середовище. При виборі моделі життєвого циклу планувалося, щоб перший створений програмний демо-продукт реалізував певну частину вимог, до наступної версії були додані додаткові вимоги, таким чином, до остаточної реалізації всіх потреб і рішень завдань розробки програмного забезпечення, тобто, ця дає можливість розширити та покращити функціональність [6].

Головним завданням аналітичної системи є швидке та чітке діагностування психічного стану людини на основі аналізу даних, що забезпечує швидку обробку даних процесом дослідження та отримання відповідних результатів. Цикл діагностування стану індивіда поділяється на 3 основних фази і може зображуватися у вигляді деревоподібної структури (Рис 2.).

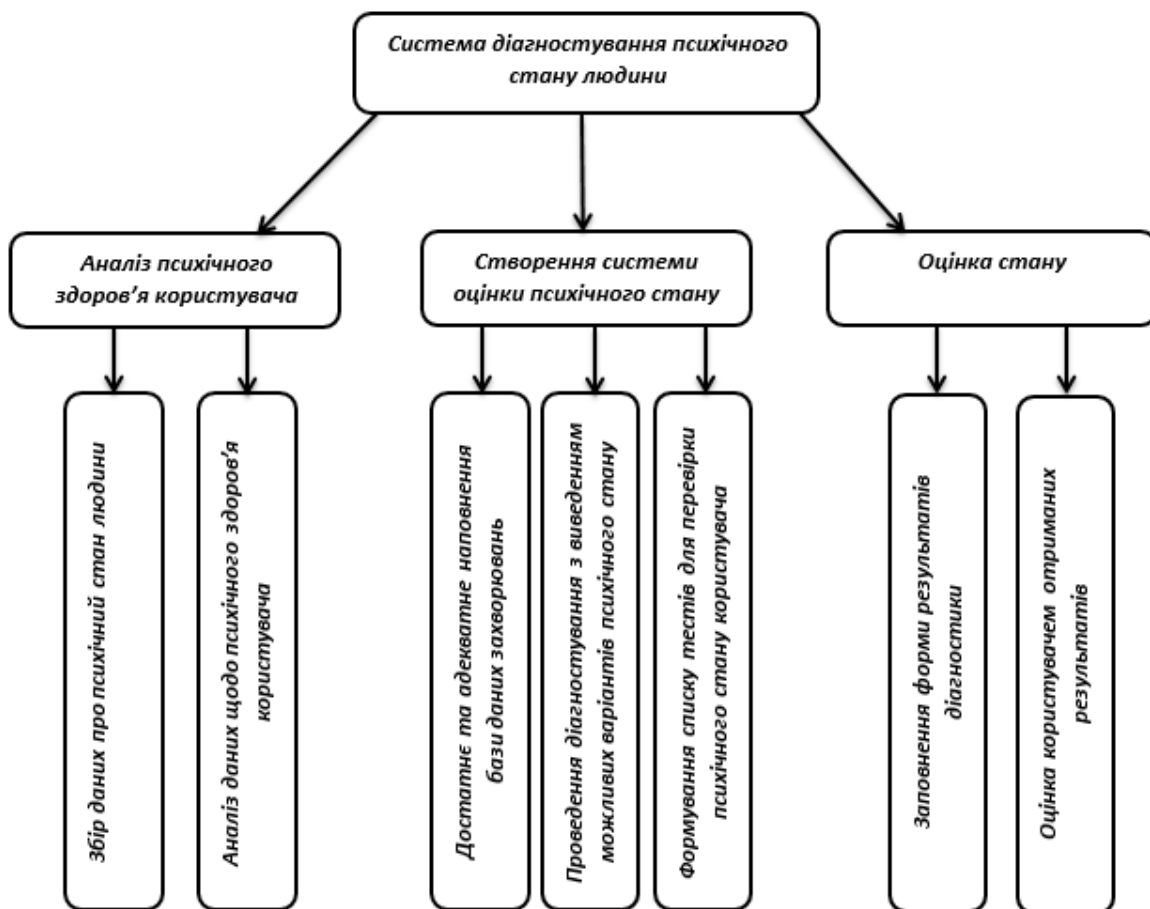


Рисунок 2 – Фази діагностування стану індивіда

Перший етап даної системи – аналіз психічного здоров'я користувача, що включає в себе збір даних про психічні та емоційні стани людини, також на цьому етапі проводиться аналіз та систематизація всіх даних.

Другий етап – це створення інформаційної системи оцінки психічного стану користувача, яка включає в себе заповнення бази даних про психічні захворювання, перелік чи відповідне поєднання симптомів захворювання, формування загальної структури системи, розробку процесу діагностики та формування списку тестів.

Третім етапом є безпосередньо оцінка психічного стану користувача, заповнення форми результатів діагностики, підсумки, рекомендації та відображення системою результату на екран [7].

Проектування системи

Для створення аналітично-інформаційної системи діагностування психічного стану людини, як аналог було обрано контекстні діаграми, які використовують алгоритми DFD (Data Flow Diagrams). Вони є основним інструментом моделювання вимог майбутнього ПЗ. Вимоги поділяються на функціональні компоненти (процеси) і представлені у вигляді мережі, пов'язаної між собою потоками даних. Мета цих інструментів полягає в тому, щоб показати, як кожен процес перетворює свої вхідні дані у вихідні, а також визначити взаємозв'язок між цими процесами [8].

У цій моделі система представлена у вигляді ієрархії діаграм потоків даних, що описують асинхронний процес передачі інформації від моменту надходження в систему до її випуску. На кожному наступному рівні ієрархії процеси покращуються, поки наступний процес не буде визнаний основним.

Побудова ієрархії діаграм потоків даних починається з контекстної діаграми, яка визначає найбільш поширений тип системи. Вона показує, як розроблена система буде контактувати з приймачами та джерелами інформації без зазначення інтерпретатора, тобто описує інтерфейс між системою та зовнішнім світом. Контекстна діаграма також містить багато процесів, які потім можна розкласти на діаграми DFD нижнього рівня. Це створює ієрархію DFD з контекстною діаграмою в корені дерева. Процес декомпозиції триває до тих пір, поки процеси не будуть ефективно описані короткими (до однієї сторінки) міні-специфікаціями (специфікаціями процесу) [8].

Вона допомагає визначити основне призначення системи. Це дозволяє перевірити весь процес і не зосереджуватися на надмірних або відсутніх завданнях. Процес побудови – це візуалізація набору дій або завдань, які уможливають функціонування інформаційної системи.

Для аналітично-інформаційної системи розроблена контекстна діаграма (Рис 3.).

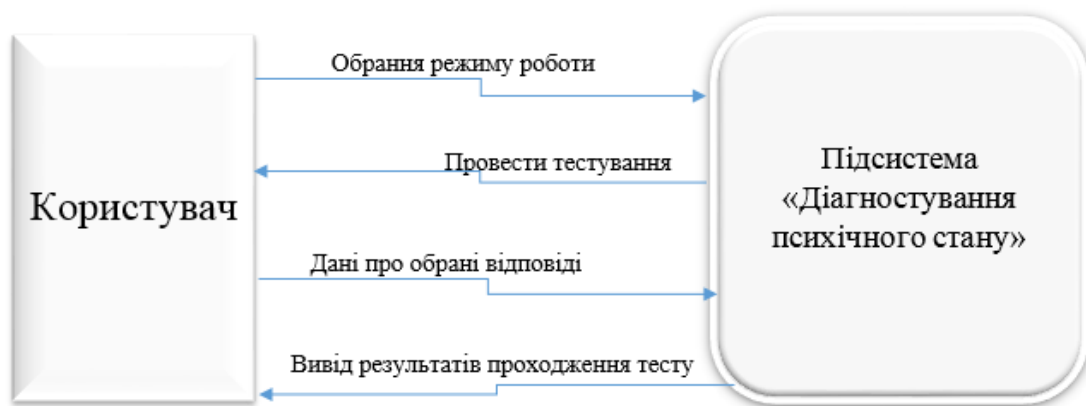


Рисунок 3 – Контекстна діаграма аналітично-інформаційної системи діагностування психічного стану людини

Висновки

1. Розроблена аналітично-інформаційна системи діагностики допомагає визначити діагноз за сукупністю наявних симптомів. Така система також може бути використана в профілактиці психічних захворювань для їх виявлення на ранніх стадіях, що значно підвищує ймовірність успішного лікування.

2. Система була досліджена методами системного аналізу. Для розробки ПО обрано інкрементну модель життєвого циклу, також сформована структурна частина інформаційної системи та досліджена конкретизація функціонування системи. Ієрархія процесів побудована у вигляді деревоподібної структури. Також створена контекстна діаграма для деталізації процесів діагностування.

3. Система повністю готова до застосування та містить в собі весь необхідний набір для дослідження, реабілітації та аналізу отриманих результатів.

Список літератури

- [1] В. І. Стець, Г. Р. Бандура, С. М. Волошин, *Загальна психологія: модуль I-II*. Дрогобич, Україна: Видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2013, 210 с.
- [2] С. К. Нартова-Бочавер, *Дифференціальна психологія*. М.: Флінта, НОУ ВПО Московський психолого-соціальний університет, 2015, 341 с.
- [3] О. В. Скрипченко, Л.Р. Волинська, *Загальна психологія*. Київ, Україна: «А.П.Н.», 2010, 107 с.
- [4] Ю. В. Щербатых, *Психологія труда и кадрового менеджмента в схемах и таблицах: справочное пособие*. М.: КНОРУС, 2014, 248 с.
- [5] В. В. Нікандров, В. В. Новочадов, *Метод тестування в психології: навч. посібник*. Україна: інститут біології і психології людини, СПб.: Мова, 2013, 41 с.
- [6] Л. Крокер, А. Джеймс, *Введення в класичну і сучасну теорію тестів: підручник*. М.: «Логос» 2010, 667 с.
- [7] Э.Р. Ипатов, Ю.В. Ипатов, *Методология и технологии системного проектирования информационных систем: учебник*. Россия: МПСИ, 2008, 256 с.
- [8] И. Г. Галямина, *Управление процессами: учебник для вузов. Стандарт третьего поколения*. СПб. Россия: БХВ- Петербург, 2013, 304 с.

Стаття надійшла: 20.11.2021.

References

- [1] V. I. Stets, H. R. Bandura, S.M. Voloshyn, *Zahalna psykhologhiia: modul I-II*. Drohobych, Ukraina: Vydavnychiy viddil Drohobytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Ivana Franka, 2013, 210 s. [in Ukrainian].
- [2] S. K. Nartova-Bochaver, *Differentsialnaya psihologiya*. M.: Flinta, NOU VPO Moskovskiy psihologo-sotsialnyiy universitet, 2015, 341 s. [in Russian].
- [3] O. V. Skrypchenko, L.R. Volynska, *Zahalna psykhologhiia*. Kyiv, Ukraina: «A.P.N.», 2010, 107 s. [in Ukrainian].
- [4] Yu. V. Scherbatyih, *Psihologiya truda i kadrovogo menedzhmenta v shemah i tablitsah: spravochnoe posobie*. M.: KNORUS, 2014, 248 s. [in Russian].
- [5] V. V. Nikandrov, V. V. Novochadov, *Metod testuvannia v psykhologhii: navch. posibnyk*. Ukraina: instytut biolohii i psykhologhii liudyny, SPb.: Mova, 2013, 41 s. [in Ukrainian].
- [6] L. Kroker, A. Dzheims, *Vvedennia v klasychnu i suchasnu teoriuu testiv: pidruchnyk*. M.: «Lohos» 2010, 667 s. [in Ukrainian].
- [7] Je. R. Ipatov, Ju. V. Ipatov, *Metodologija i tehnologii sistemnogo proektirovanija informacionnyh sistem: uchebnyk*. Rossija: MPSI, 2008, 256 s. [in Russian].
- [8] G. Galjamina, *Upravlenie processami: uchebnyk dlja vuzov. Standart tret'ego pokolenija*. SPb. Rossija: BHV- Peterburg, 2013, 304 s. [in Russian].

Відомості про авторів

Григоришен Олександр Олександрович – студент групи 2КІ-20м, кафедра обчислювальної техніки.

Колесник Ірина Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки.

Савицька Людмила Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки.

О. О. Григоришен, И. С. Колесник, Л. А. Савицкая

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Винницкий национальный технический университет, Винница

O. O. Grigorishen, I. S. Kolesnik, L. A. Savitskaya

INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR DETERMINING THE MENTAL STATE OF A PERSON

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕОРІЯ КОДУВАННЯ

УДК 004.42

М. С. Даниленко, І. С. Колесник

МЕТОДИ РОЗРОБКИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Розглянуто основні принципи побудови рекомендаційної системи та методи вирішення проблеми холодного старту, яка виникає внаслідок недостатньої взаємодії користувача з програмним засобом на початкових етапах роботи з ним. Збільшено ефективність роботи рекомендаційної системи за умов недостатньої вибірки даних і при появі в системі нових елементів, для яких відсутня статистика.

Ключові слова: рекомендаційна система, проблема холодного старту, веб-сервіс, машинне навчання, алгоритми.

Аннотация. Рассмотрены основные принципы построения рекомендательной системы и методы решения проблемы холодного старта, возникающей вследствие недостаточного взаимодействия пользователя с программным средством на начальных этапах работы с ним. Увеличена эффективность работы рекомендательной системы при недостаточной выборке данных и при появлении в системе новых элементов, для которых отсутствует статистика.

Ключевые слова: рекомендательная система, проблема холодного старта, веб-сервис, машинное обучение, алгоритмы.

Abstract. The basic principles of building a recommendation system and methods for solving the problem of cold start arising from insufficient interaction of the user with the software at the initial stages of working with it are considered. The efficiency of the recommender system has been increased when there is insufficient data sampling and when new elements appear in the system for which there are no statistics.

Key words: recommendation system, cold start problem, web service, machine learning, algorithms.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-10-15>.

Вступ

Рекомендаційні системи стали невід'ємною частиною сучасних веб-сервісів, орієнтованих на роботу з користувачами та споживачами. Рекомендаційна система - комплекс алгоритмів, програм та сервісів, завдання якого передбачити, що може зацікавити того чи іншого користувача. В основі роботи лежить персоналізація. Вони направлені як на збільшення ефективності роботи сервісів, так і на покращення користувацького досвіду та збільшення проінформованості клієнта про надавані послуги. В залежності від моделі роботи сервісу рекомендації можуть бути як додатковою частиною до основного функціоналу, так і слугувати основою для моделі.

Актуальність

Підвищення ефективності роботи рекомендаційних систем дозволить краще персоналізувати інформацію для користувача. Вирішення проблеми «холодного старту» покращить користувацький досвід для нових користувачів і при додаванні в систему нових сутностей.

Мета

Розглянути способи розробки та алгоритми для систем рекомендації, які є ефективними в умовах недостатньої статистичної інформації.

Задачі

1. Розглянути способи розробки та виділити основні критерії, якими визначається рекомендаційна система.
2. Розглянути архітектурні та програмні засоби для розробки.
3. Розглянути алгоритми, які є ефективними для розробки рекомендаційних систем.

Розв'язання задач

Існує чотири основних підходи до побудови прогнозів в рекомендаційних системах: колаборативна фільтрація, заснована на контенті, заснована на знаннях та гібридні.

Колаборативна фільтрація (рис. 1) – метод, який лежить в основі деяких рекомендаційних сервісів. Колаборативна фільтрація має два значення: конкретне і більш загальне. В загальному, колаборативна фільтрація – процес фільтрації інформації за допомогою засобів за участю співпраці між певною кількістю агентів, точок зору, джерел даних і т. д. Застосування колаборативної фільтрації найчастіше пов'язане з дуже об'ємними вибірками даних. Колаборативні методи фільтрації були застосовані до різних видів даних, зокрема до таких як зондування та моніторинг даних, які виникають при розвідці корисних копалин на великих площах; до фінансових даних, таких як установи фінансових послуг, які об'єднують багато фінансових джерел; або в електронній торгівлі та веб-додатках, що зосереджуються на даних користувача, і т. д. Решта цієї проблеми зосереджена на колаборативній фільтрації даних, призначених для користувача, хоча деякі з методів та підходів можуть застосовуватися так само і у багатьох інших випадках [1].

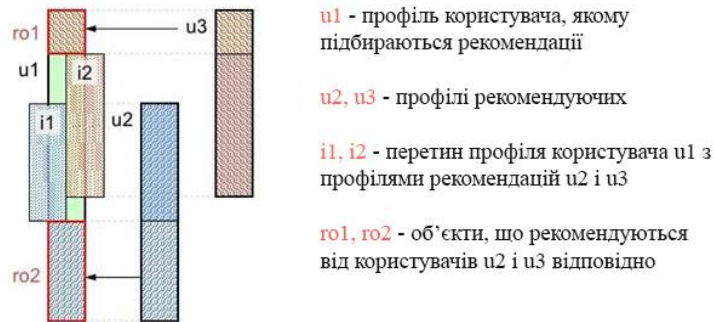


Рисунок 1 – Принцип роботи кореляційної фільтрації

У більш сучасному, вужчому значенні, колаборативна фільтрація – це один з методів побудови прогнозу в рекомендаційних системах, який використовує відомі уподобання (оцінки) групи користувачів для прогнозування невідомих уподобань іншого користувача. Основне припущення колаборативної фільтрації полягає в наступному: ті, хто однаково оцінювали будь-які предмети в минулому, схильні давати схожі оцінки інших предметів і в майбутньому. Наприклад, за допомогою колаборативної фільтрації музичний додаток здатний прогнозувати, яка музика сподобається користувачеві, маючи неповний список його уподобань (симпатій та антипатій). Прогнози складаються індивідуально для кожного користувача, хоча інформація, що використовується, зібрана від багатьох учасників. Це відрізняє колаборативну фільтрацію від більш простого підходу, дає усереднену оцінку для кожного об'єкта інтересу, наприклад того, що базується на кількості поданих за нього голосів. Дослідження в даній області активно ведуться і в наш час, що зокрема обумовлюється наявністю невирішених проблем у методі колаборативної фільтрації [1, 2].

Заснована на контенті фільтрація є основою багатьох рекомендаційних систем. На відміну від колаборативної фільтрації етап знайомства з користувачем опускається. Товари та послуги рекомендуються з урахуванням знання них: жанр, виробник, конкретні функції тощо. Загалом застосовують будь-які дані, які можна зібрати.

За таким принципом працюють системи інтернет-магазинів, онлайн кінотеатрів та інших сервісів. Наприклад, IVI вибудовує рекомендації щодо жанрів, країн-виробників фільмів, акторів тощо.

Автори платформ використовують цей тип систем, щоб не втратити нових користувачів, даних про яких ще немає. Звідси випливають два недоліки: спочатку системи діють неточно і потрібно більше часу на реалізацію [2].

Заснована на знаннях фільтрація працює на основі знань про якусь предметну область: про користувачів, товари та інші, які можуть допомогти в ранжируванні. Як і у випадку з фільтрацією за контентом, оцінки інших користувачів системи не враховують. Є кілька різновидів: case-based, demographic-based, utility-based, critique-based, whatever-you-want-based і т.д.

При реалізації нового проекту в залежності від сфери діяльності у рекомендаційну систему можна закласти будь-яку предметну область та ранжувати за нею.

Мінус фільтрації за знаннями – для розробки цієї системи потрібно багато часу та ресурсів, але результат їх виправдовує [2].

Комбінування кількох алгоритмів в рамках гібридної системи у межах однієї платформи дозволяє мінімізувати недоліки кожного. Великі сервіси та інтернет-магазини найчастіше використовують гібридні варіанти.

Існує кілька найбільш розповсюджених типів комбінування:

- реалізація окремо колаборативних та контентних алгоритмів та поєднання їх припущень;
- включення деяких контентних правил до колаборативної методики;
- включення деяких колаборативних правил до контентної методики;
- побудова загальної моделі, що включає правила обох методик.

Холодний старт – потенційна проблема в комп'ютерній інформаційній системі, яка включає ступінь автоматизованого моделювання даних. Зокрема, це стосується проблеми, що полягає в тому, що система не може зробити жодних висновків для користувачів або елементів, про які вона ще не збирала достатню інформацію [3].

При проектуванні рекомендаційної системи необхідно визначити найбільш ефективний підхід для задоволення потреб сервісу, опираючись на вже наявну базу інформації, з якою може працювати система, джерела цієї інформації, орієнтованість рекомендаційної системи та можливість виникнення проблеми холодного старту або повторюваного холодного старту за умови додавання в сервіс нової інформації.

Завдання рекомендаційної системи – проінформувати користувача про товар, який може бути найцікавішим у час. Клієнт отримує інформацію, а сервіс заробляє на наданні якісних послуг. Послуги – це не обов'язково прямий продаж запропонованого товару. Сервіс також може заробляти на комісійних або просто збільшувати лояльність користувачів, яка потім виливається у рекламні та інші прибутки [3].

Залежно від моделі бізнесу рекомендації можуть бути його основою, як, наприклад, у TripAdvisor, а можуть бути просто зручним додатковим сервісом (як, наприклад, у якомусь інтернет-магазині одягу), покликаним покращити Customer Experience та зробити навігацію за каталогом зручною.

Персоналізація онлайн-маркетингу – очевидний тренд останнього десятиліття. За оцінками McKinsey, 35% виручки Amazon або 75% Netflix припадає саме на рекомендовані товари і відсоток цей, ймовірно, зростатиме. Рекомендаційні системи – це про те, що запропонувати клієнту зробити його щасливим.

Стандартну модель рекомендаційної системи можна описати наступними параметрами:

- предмет рекомендації – що рекомендується;
- ціль рекомендації – навіщо рекомендується (наприклад: купівля, інформування, навчання, контакти);
- контекст рекомендації – що користувач робить у цей момент (наприклад: дивиться товари, слухає музику, спілкується з людьми);
- джерело рекомендації – хто рекомендує: аудиторія (середній рейтинг ресторану в TripAdvisor), схожі за інтересами користувачі, експертна спільнота (буває, коли йдеться про складний товар, такий, як, наприклад, вино);
- ступінь персоналізації. Неперсональні рекомендації – коли вам рекомендують те саме, що й іншим. Вони допускають націлення регіону або часу, але не враховують ваші особисті переваги. Більше сучасний варіант – коли рекомендації використовують дані з вашої поточної сесії. Ви переглянули кілька товарів, і внизу сторінки вам пропонуються схожі. Персональні рекомендації використовують усю доступну інформацію про клієнта, зокрема історію його покупок;
- прозорість. Люди більше довіряють рекомендації, якщо розуміють, як саме її було отримано. Так менший ризик нарватися на «несумлінні» системи, які просувають проплачений товар або дорожчі товари, що ставлять вище в рейтингу. Крім того, хороша рекомендаційна система сама повинна вміти боротися з купленими відгуками та накрутками продавців. Маніпуляції до речі бувають і ненавмисними;
- формат рекомендації. Це може бути спливаюче віконце, що з'являється в певному розділі сайту відсортований список, стрічка внизу екрана або ще щось;
- алгоритми. До найкласичніших відносяться алгоритми Summary-based (неперсональні), Content-based (моделі засновані на описі товару), Collaborative Filtering (колаборативна фільтрація), Matrix Factorization (методи засновані на матричному розкладанні) та деякі інші [3].

Для побудови рекомендаційних систем використовуються ті ж архітектурні рішення, що і для інших сервісів: монолітна архітектура, мікросервісна архітектура та сервіс-орієнтована архітектура. Монолітна архітектура забезпечує уніфікованість додатку та спрощує його розробку та розгортання для відносно невеликих проектів. При побудові системи для продажу з вбудованою рекомендаційною системою монолітна архітектура може спричинити порушення модульності та масштабованості додатку, що ускладнить його подальшу розробку і підтримку. Монолітна архітектура не дозволить швидко та якісно виконати заміну рекомендаційної системи на аналогічну або провести масштабну модернізацію сервісу.

Для програмних рішень з використанням рекомендаційних систем використання сервіс-орієнтованого архітектурного підходу (рис. 2) надасть наступні переваги:

Модульність – програмні компоненти, зокрема власне рекомендаційна система, можуть бути замінені на аналогічні або бути масштабно модернізованими;

Масштабованість – будь яка частина сервісу може бути розширена новим функціоналом, при цьому не впливаючи на коректну роботу інших сервісів;

Незалежність стеку технологій компонентів;

Надійний канал зв'язку у вигляді HTTP-протоколу [4].

Для більш комплексних рішень доцільним є використання мікросервісної архітектури.

Оскільки в рекомендаційних системах написання складних алгоритмів є більш пріоритетним, ніж швидкодія, написання додатку виконується високорівневою мовою програмування. Для написання сервісів найчастіше використовуються C# (ASP.NET), Java (Spring Framework), Python (Django) та JavaScript (Node.js).

ASP.NET – технологія створення веб-застосунків і веб-сервісів від компанії Майкрософт. Вона є складовою частиною платформи Microsoft.NET і розвитком старішої технології Microsoft ASP. На цей час останньою версією цієї технології є ASP.NET Core 6.0. ASP.NET зовні багато в чому зберігає схожість із старішою технологією ASP, що дає змогу розробникам відносно легко перейти на ASP.NET. У той же час внутрішній устрій ASP.NET істотно відрізняється від ASP, оскільки вона заснована на платформі .NET і, отже, використовує всі нові можливості, що надаються цією платформою [5].

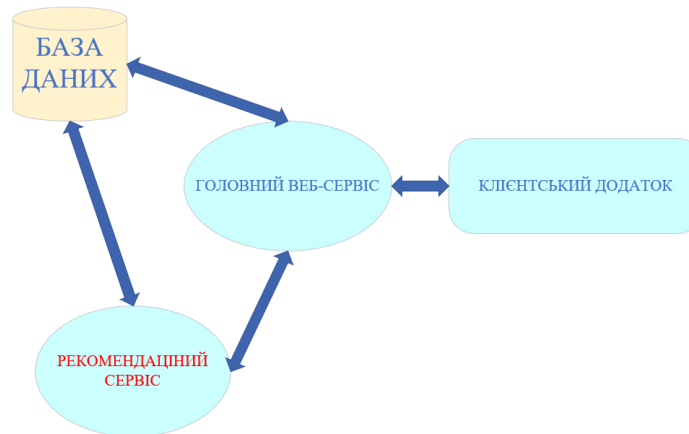


Рисунок 2 – Візуалізація використання сервіс-орієнтованої архітектури для побудови додатку з рекомендаційною системою

Spring Framework – це програмний каркас (фреймворк) з відкритим кодом та контейнери з підтримкою інверсії управління для платформи Java. Основні особливості Spring Framework можуть бути використані будь-яким додатком Java, але є розширення для створення веб-додатків на платформі Java EE. Незважаючи на це, Spring Framework не нав'язує якоїсь конкретної моделі програмування, Spring Framework став популярним в спільноті Java як альтернатива, або навіть доповнення моделі Enterprise JavaBean (EJB) [5].

Django (Джанго) – високорівневий відкритий Python-фреймворк (програмний каркас) для розробки веб-систем. Сайт на Django будується з однієї або декількох частин, які рекомендується робити модульними. Це одна з істотних архітектурних відмінностей цього фреймворку від деяких інших (наприклад Ruby on Rails). Архітектура Django подібна на «Модель-Вигляд-Контролер» (MVC). Однак, те що називається «контролером» в класичній моделі MVC, в Django називається «вигляд» (англ. view), а те, що мало б бути «виглядом», називається «шаблон» (англ. template). Таким чином, MVC розробники Django називають MTV («Модель-Шаблон-Вигляд») [5].

Node.js – платформа з відкритим кодом для виконання високопродуктивних мережевих застосунків, написаних мовою JavaScript. Node.js має наступні властивості: асинхронна одно-нитева модель виконання запитів, неблокуючий ввід/вивід, система модулів CommonJS, рушій JavaScript Google V8. Для керування модулями використовується пакетний менеджер npm (node package manager) [5].

Проблема холодного старту є одним із основних завдань, що виникають при побудові рекомендаційних систем: що рекомендувати новим користувачам та кому показувати нові об'єкти. У безконтекстних алгоритмах це завдання вирішується за допомогою накопиченої статистичної інформації. Для використання в рекомендаційних системах розглянемо так звані «алгоритми багаторуких бандитів» та їх ефективність в умовах холодного старту [6].

Уявимо, що маємо N різних ігрових автоматів. При натисканні на ручку ми отримуємо якийсь виграш. Необхідно максимізувати сумарний прибуток всіх натискань на ручки. Завдання полягає у знаходженні оптимального способу вибору ручки на черговому кроці. Математично це можна записати так:

A – безліч доступних дій («ручок»);

$X_t \in R_d$ – контекст (інформація про об'єкти та/або користувачів) на певному кроці. Він визначається середовищем, у якому розглядаються багаторуки бандити;

P_t, a, x – очікувані виплати для ручки a , які можна отримати в момент часу t при заданому контексті X_t ;

R_t – реальний виграш.

$$a_t = \operatorname{argmax} p_{t,a,x}, \text{ де } a \in A$$

$$R_t = \sum_t r_t \rightarrow \max, \text{ при } t = 1, 2, \dots$$

Розглянемо деякі види алгоритмів багаторуких бандитів, а саме UCB1 та ϵ -greedy, disjoint-linUCB та hybrid-linUCB. Перевірку їх ефективності проведемо на прикладі завдання Yahoo! за рекомендацією новин користувачам. При цьому використаємо метрика CTR (відношення числа кліків до показів). Результати наведено на рисунках 3, 4. При цьому під час роботи алгоритмів вважалося, що спочатку всі об'єкти та користувачі є новими для системи, оскільки до старту алгоритмів не використовувалась інформація

про історію показів. Вся робота методів заснована на статистичних даних та ознакових уявленнях об'єктів та користувачів (тільки для контекстних алгоритмів).

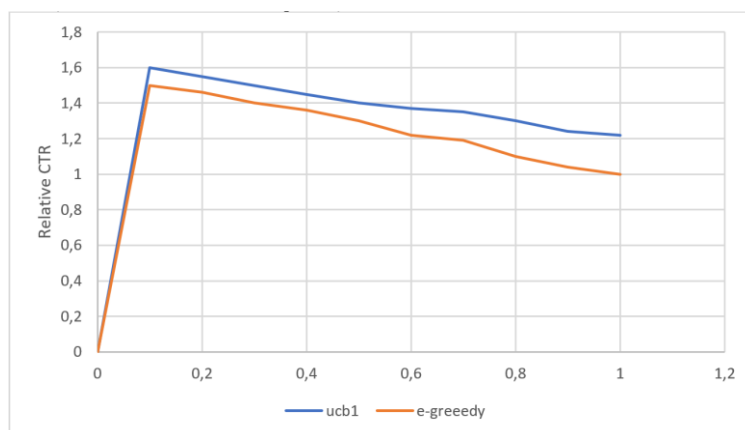


Рисунок 3 – Графік ефективності безконтекстних алгоритмів

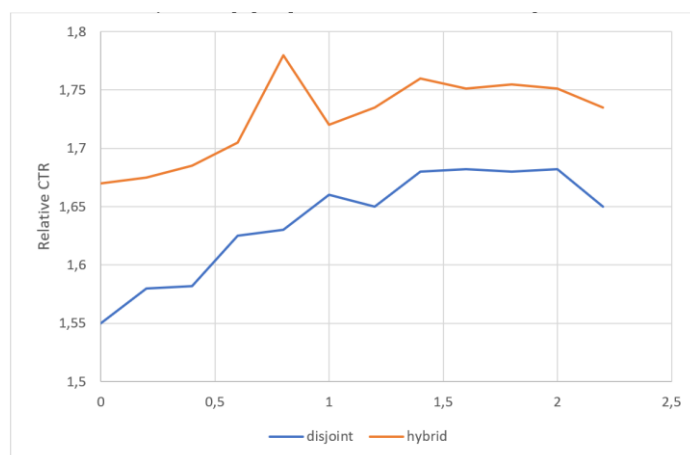


Рисунок 4 – Графік ефективності контекстних алгоритмів

Виявлено, що «бандитські алгоритми» досить добре справляються із проблемою холодного старту, що демонструють наведені графіки. Також варто зауважити, що ці методи працюють добре і для старих об'єктів.

Висновки

1. Розглянуто підхід до створення рекомендаційних систем, які є ефективними та працюють максимально ефективно в умовах малої вибірки. Були вивчені основні критерії та параметри, від яких залежить робота сервісу.

2. За рахунок використання сервіс-орієнтованої архітектури такі додатки є модульними та легко масштабованими, що надає можливість використовувати їх максимально продуктивно. В ході роботи було досліджено «бандитські алгоритми», їх ефективність та доцільність використання.

3. На основі дослідження можна зрозуміти, що вони дозволяють системі працювати в умовах холодного старту.

Список літератури

- [1] К. Фальк, *Рекомендательные системы на практике*, 2020, 448 с.
- [2] Li L., Chu W., Langford J., Schapire R. E., «A contextual-bandit approach to personalized news article recommendation», *Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web*. p. 661–670. 2010.
- [3] D. Bugaychenko, A. Dzuba, «Musical recommendations and personalization in a social network», *RecSys '13: Proceedings of the 7th ACM conference on Recommender systems*, October 2013, p. 367–370.
- [4] Auer P., Cesa-Bianchi N., Fischer P., «Finite-time analysis of the multiarmed bandit problem», *Machine Learning*, vol. 47, no 2–3, p. 235–256. 2002.

- [5] Yahoo! Front page today module user click log dataset, version 1.0 (1.1 GB) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://webscope.sandbox.yahoo.com/catalog.php?datatype=r&did=49>. Дата звернення: 15.11.2021.
- [6] Р. З. Омаров, А. В. Востротіна, А. Д. Лі, «Проблема "холодного старту"», *Молодий учений*, № 26 (264), с. 85-88. 2019.

Стаття надійшла: 20.11.2021.

References

- [1] K. Falk, *Practical recommender systems*, 2020, 448 s. [in Russian].
- [2] Li L., Chu W., Langford J., Schapire R. E., «A contextual-bandit approach to personalized news article recommendation», *Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web*. p. 661–670. 2010.
- [3] D. Bugaychenko, A. Dzuba, «Musical recommendations and personalization in a social network», *RecSys '13: Proceedings of the 7th ACM conference on Recommender systems*, October 2013, p. 367–370.
- [4] Auer P., Cesa-Bianchi N., Fischer P., «Finite-time analysis of the multiarmed bandit problem», *Machine Learning*, vol. 47, no 2–3, p. 235–256. 2002.
- [5] Yahoo! Front page today module user click log dataset, version 1.0 (1.1 GB). [Online]. Available: <https://webscope.sandbox.yahoo.com/catalog.php?datatype=r&did=49>. Accessed Nov. 15, 2021.
- [6] R. Z. Omarov, A. V. Vostrotina, A. D. Li, «Problema "kholodnoho startu"», *Molodyi uchenyi*, № 26 (264), s. 85-88. 2019 [in Russian].

Відомості про авторів

Даниленко Максим Сергійович – студент групи 2КІ-20м, кафедра обчислювальної техніки.

Колесник Ірина Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки.

М. С. Даниленко, І. С. Колесник

МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Винницкий национальный технический университет, Винница

M. S. Danylenko, I. S. Kolesnyk

METHODS FOR DEVELOPING RECOMMENDATION SYSTEMS

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 004.5

A. H. Jaber, Y. A. Palamarchuk

A COMPREHENSIVE METHOD OF BUILDING INTELLIGENT CAREER GUIDANCE SYSTEMS

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Abstract. The basic principles of functioning and possibilities of application of systems of professional orientation with use of technologies of artificial intelligence are considered. A complex method of building intelligent systems of professional orientation of students is offered. A general testing module has been developed to determine the professional direction. A sequence of steps for the method of determining the correspondence of professional and personal profiles, which can be implemented as a comprehensive system of vocational guidance and individual testing modules.

Keywords: professional orientation, personal profiles, testing modules, vocational guidance.

Анотація. Розглянуто основні принципи функціонування та можливості застосування систем професійної орієнтації з використанням технологій штучного інтелекту. Запропоновано комплексний метод побудови інтелектуальних систем професійної орієнтації студентів. Розроблено модуль загального тестування для визначення професійного напрямку. Запропоновано послідовність кроків для методу визначення відповідності професійного та особистого профілів, який може бути реалізований як комплексна система професійної орієнтації та за окремими модулями тестування.

Ключові слова: професійна орієнтація, персональний профіль, модулі тестування.

Аннотация. Рассмотрены основные принципы функционирования и возможности применения систем профессиональной ориентации с использованием технологий искусственного интеллекта. Предложен комплексный метод построения интеллектуальных систем профессиональной ориентации студентов. Разработан модуль общего тестирования для определения профессионального направления. Предложена последовательность шагов для метода определения соответствия профессионального и личного профилей, который может быть реализован как комплексная система профессиональной ориентации и по отдельным модулям тестирования.

Ключевые слова: профессиональная ориентация, персональный профиль, модули тестирования.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-16-21>.

Introduction

Society actualizes the task of preparing students and high school students for life and professional determination, which will be the basis of their future self-realization in the professional sphere [1]. This process is the most important component of personality development and is a prerequisite for its further professionalization. Modern conditions of functioning of the labor market and educational services require active development and introduction of the newest information and intellectual technologies in processes of professional orientation of youth, a choice of a direction of preparation and educational institution. Today, simply informing the entrant via the Internet about the availability and capabilities of educational institutions is not effective enough due to the large number of such resources, their uniformity and similarity of proposals. The process of professional counseling involves systematic and painstaking work on choosing a future profession. One of the main directions of modernization and improvement of this process is the use of the possibilities of modern information technologies. The best option for such activities in the regions is to create resource centers for intelligent systems of vocational guidance of students.

Currently, there is a problem of effective vocational guidance of young people in a dynamic labor market and educational services. One way to solve this problem is to develop and implement intelligent Internet systems to support decision-making in choosing a profession. It is important to develop methods and models of software that allow to identify and develop human interest and abilities in certain professions or groups of professions, as well as to determine the degree of its suitability to master the chosen specialization before the stage of inclusion in social production.

Among the existing systems of vocational guidance, the most popular are test systems, systems of acquaintance with professional educational programs, special portals for identifying personal abilities and capabilities of the applicant. The most promising way to solve problems related to the reasonable choice of profession and future professional direction is the use of intelligent computer information systems based on the Internet, which comprehensively combines the functions of informing, consulting, evaluating and making recommendations on the optimal choice of professional direction.

The purpose of research is to develop a comprehensive method of determining the profession in accordance with personal abilities and capabilities of labor markets and educational services.

Artificial intelligence and the possibility of its use in career guidance systems

Artificial intelligence has recently attracted more and more attention. Of all modern innovations, this one has the greatest potential to change our lives, make it more productive and optimized [2]. Consider a few examples of these technologies.

The experience of using artificial intelligence in the medical field will allow to form a special diagnostic module in accordance with the professions. This approach is especially important for professions in which the level of health of the specialist affects his professional ability.

Face recognition technology is used when test results are used to make recommendations to the prospective applicant about his learning opportunities and future profession.

Chatbots can be used to quickly and actively work with a large number of users, determining the main indicators by answering common questions.

Simulators of professional activity with use of technologies of virtual reality; situational cases, etc. [4].

Systems of interaction with the user allow to adapt design and content under group of users, to form convenient electronic information space for the further work [5].

Analytical modules of the career guidance system should contain intellectual knowledge bases that allow to form recommendations for choosing a profession based on systems analysis.

According to the architecture and specifics, the intelligent Internet system for professional orientation belongs to the class of open information systems. The information aspect of an open system can be characterized as its ability to exchange and interact with the entities of the environment and other systems based on unified methods, tools and protocols [8].

The general properties of open information systems are formulated as:

- scalability / scalability
- mobility
- interoperability (ability to interact with other systems)
- friendly interaction with the user, in particular - ease of management

As part of the information resource of the intelligent Internet system of professional orientation, we can identify the main functional components:

- data on types of professional activity, their content and features;
- data on educational institutions and their characteristics;
- statistical and analytical data on the labor market and employment opportunities;
- results of opinion polls, reviews, comments, recommendations, etc.;
- test questions for the assessment of professional suitability and assessment of personal qualities;
- knowledge base and rules for processing the results of testing, formation and justification of decisions on the choice of profession;
- statistical, final and reporting data on the results of the system;
- the results of the user's work in an online environment that offers professional tasks.

In fig. 1 presents a general scheme of the intellectual system of vocational guidance.

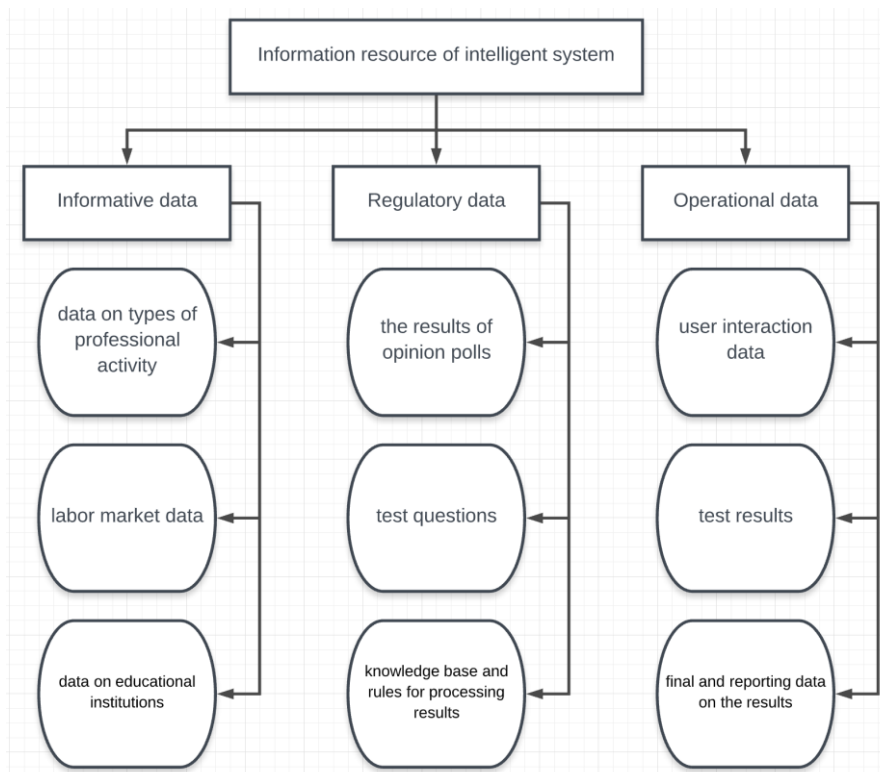


Figure 1 – General structure of the resource

The information resource of the intelligent Internet system of professional orientation can be described as multifunctional, heterogeneous and dynamic. This largely determines the peculiarities of its formation and further application in the functioning of the system.

The main tasks and features of the functioning of the intellectual system of professional orientation

In fig. 2. the general scheme of decision-making on a choice of a profession is presented.

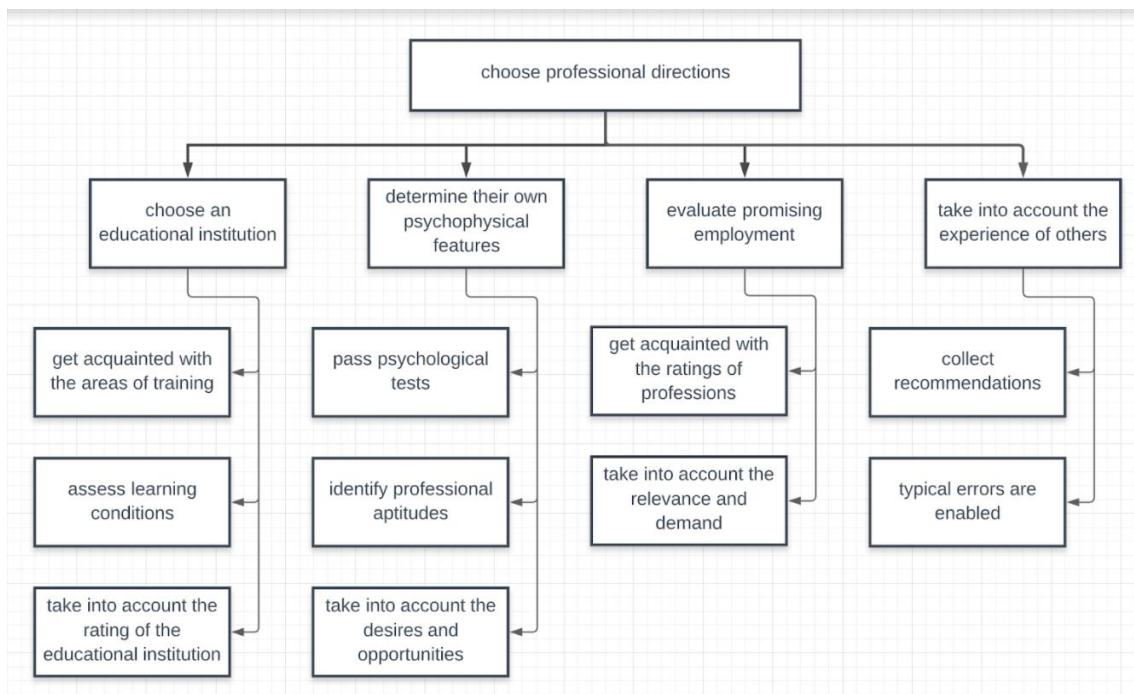


Figure 2 – General scheme of the decision-making process for the choice of professional direction

The main tasks that are solved in the process of functioning of the intellectual system of professional orientation are the following:

- analysis of the labor market and educational services of professions;
- determination of priorities regarding the type, industry, direction and features of future professional activity;
- updating of knowledge on the basis of evaluation and comparison of information about the possibilities of professional choice;
- testing for compliance with the level of training, skills, experience and individual characteristics of the chosen specialty;
- evaluation of test results, determination of the degree of compliance with the requirements of the chosen specialty and development of recommendations on a possible decision on the choice of specialty;
- determination of prospects and further actions of the applicant in case of decision-making on the choice of future professional direction.

Such a comprehensive system involves the user's work with information, tests and in a special environment, which is formed in accordance with simple professional tasks that the applicant can already perform without special knowledge. It is also necessary to determine the level of complexity of the user, the amount of tasks, the time to complete them. If the time to complete the tasks exceeds 30 minutes, it is advisable to divide the user's work into parts.

The basis for decision-making on the choice of professional direction is the operational comprehensive testing of the user. As a result of testing, he receives a generalized assessment of his qualities and abilities, as well as the percentage of suitability for a particular type of professional activity. According to the specified base of rules and test results, you can determine the necessary recommendations for each search engine.

One of the options for applying a quantitative scale for evaluating professional results suitability may be a system of measures of the following kind:

- from 0 to 10% - not suitable;
- from 11 to 25% - no more suitable than suitable;
- from 26 to 50% - more suitable than not suitable;
- from 51 to 100% - suitable.

The proposed numerical measures of the scale, in general, are evaluative in nature and do not describe the absolute value associated with suitability for a particular activity, but the general advantage of some factors of professional choice over others [3]. An example of a graphical representation of test results by areas is presented in Fig. 3.

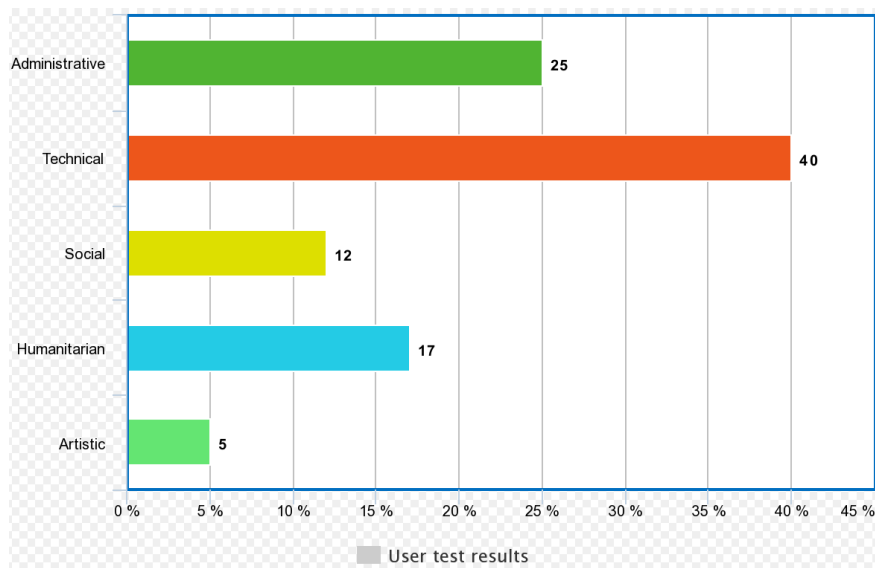


Figure 3 – Example of presenting user test results

Thanks to such a system a person can make the right choice of profession, reduce the time of its development, increase the productivity of professional results. The purpose of the system is to assist a person in choosing or changing a profession, taking into account his wishes, inclinations and opportunities, existing vacancies and employment prospects. The implementation of such a system can be carried out in the form of a mobile application.

Students install the application, register and fill out a minimum questionnaire: indicate the name, age, brief information about their studies, hobbies and hobbies.

Then proceed to view the cards, which will indicate information about different industries and professions. They are asked to choose a number of cards that they like [7].

Cards are dropped after the analysis of the specified data at registration. Artificial intelligence based on the user's favorite cards will ask them more and more similar questions in order to minimize their choice. So the user comes to the most appropriate areas that meet their criteria. The scheme of card submission is presented in fig. 4.

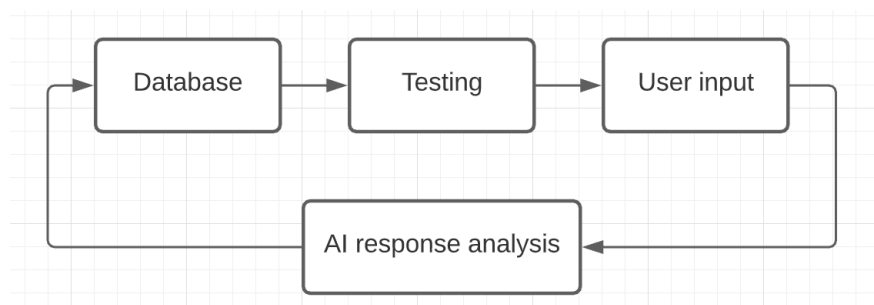


Figure 4 – Scheme of information supply

Artificial intelligence directly interacts with the user through card testing. Analyzing the user's answers, he gradually paints a portrait of the profession, which is ideal for this user, taking into account all the details. The first general testing allows to determine the direction in which the applicant can choose professions, educational institutions, try to perform simple professional tasks.

The obtained result allows one to form a profile of the applicant and to perform his analysis of its compliance with the profile of professions.

The development of tests should involve the use of methods to optimize their creation and testing [9].

The method of forming a complex information environment for a professional environment is based on the use of a multi-circuit general model. It consists of functional, emotional, motivating contours and provides

support for the user's decision-making on their own professional orientation. Such a system can be represented as an ontology of levels and contours. Similar to the known approaches to the formalization of a modular multilevel system of vocational guidance *ESP* [10] contains such modules as the initial information (catalog of professions and a brief description) *I1*; test initial block *T1*; block of presentation of separate educational programs (on establishments and / or faculties of one establishment) *Ed*; developed information block *I2* (with references to the cases of the enterprise; recruitment companies); developed test unit *T2*; unit for supporting the individual decision-making process *Sid*; support unit *Scd* collective decision (in case of decision making together with parents, friends, friends, experts, etc.).

$$ESP = \langle I1; T1; Ed; I2; T2; Sid; Scd \rangle \quad (1)$$

Each of the components must have emotional (*E*), motivating (*M*), functional contours (*F*)

$$KESP = \langle E; M; F \rangle \quad (2)$$

The proposed method involves the use of special content and mechanisms of user interaction with the system of career guidance and shaping the behavior of site visitors in accordance with the level of development of the contours. Scenario models allow you to assess the level of development of each circuit by modules. To do this, a matrix of correspondence $m * n$ is formed, where m is the number of modules that can vary from 1 to l , and n is the number of circuits that can vary from 1 to k . After receiving the data of behavioral models, user surveys, you can assess the level of development of contours and the level of decision support according to *Amn* estimates.

<i>K/M</i>	<i>I1</i>	<i>T1</i>	<i>I2</i>	<i>T2</i>	<i>I3</i>	<i>Ed</i>	<i>Sid</i>	<i>Scs</i>	<i>ESP</i>
<i>E</i>	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19
<i>M</i>	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29
<i>F</i>	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39

The obtained estimates are the basis for the analysis of the efficiency of the system by individual modules and for decision-making on the choice of profession (*ESP*).

Thus, a comprehensive method of determining the compliance of personal abilities of the profession profile involves the use of the applicant of the following steps:

1. Definition of professions and formation of their professional profiles.
2. Testing for compliance with the professional direction.
3. Testing for compliance with the profession.
4. Testing for simple professional tasks.
5. Choice of educational institution.
6. Formation of a specialty profile in accordance with the educational institution and labor market data.
7. Obtaining recommendations for choosing a profession.

Depending on the scale of use of the information intelligence system of vocational guidance there is a need to form databases on the availability of specialties in educational institutions, identify features of professional programs, use databases of regional and state labor markets, the formation of individual modules of the system and the general complex [10].

Conclusions

Research on the possibility of application and design of intelligent information systems of vocational guidance, as well as a general method of determining the professional direction for the applicant and the specialty in which he will study.

It is advisable to use the proposed systems in institutions such as schools, universities, courses, vocational training, employment and retraining centers; on the sites of educational institutions, psychological support for applicants. The proposed general architecture and method of determining the correspondence between the personal profile of the user and the profile of the profession is the basis for further research on the formation of knowledge bases of analysis of the profession, proposals of educational institutions and the labor market, the formation of brief recommendations for entrants.

References

- [1] Stalyi rozvytok – XXI stolittia. Dyskusii 2020: Kolektyvna monohrafiia. p. 404 – 414. 2020 [in Ukrainian].
- [2] Computer Aided Chemical Engineering. Page 2040 – 2044, Simoneta Cañode las Heras 2021.
- [3] Virtualna realnist – tse nastupnyi trenuvalnyi maidanchyk dlia shtuchoho intelektu. [Online]. Available: <https://www.mindxmaster.com/how-virtual-reality-is-the-next-training-ground-for-artificial-intelligence/> [in Ukrainian].
- [4] Shtuchnyi intelekt. [Online]. Available: <https://www.dailymail.co.uk/health/article-5272313/New-artificial-intelligence-age-CELLS.html> [in Ukrainian].
- [5] Alhorytmy dodatku dlia znaiomstv. [Online]. Available: https://ambivert.club/tinder_love/ [in Ukrainian].
- [6] Metody roboty alhorytmu. [Online]. Available: <https://vc.ru/services/239625-psihologiya-tinder-mehaniki-i-povedencheskie-shablony> [in Ukrainian].
- [7] Y Palamarchuk., O. Kovalenko, «Optimization of electronic test parameters in learning management systems», *CEUR Workshop Proceedings*, v. 2762, p. 98 – 109. 2020 2nd International Workshop on Information-Communication Technologies and Embedded Systems, ICTES 2020, Virtual, Mykolaiv, 12 November 2020, null, 165503
- [8] O. Kovalenko, «General model of the electronic information environment, based on the mirrors concept», *Works of VNTU*, no. 4, Nov. 2019.
- [9] O. Ye. Kovalenko, «Modeli ahentno-orientovanykh system sytuatsiinoho upravlinnia», *Matematychni mashyny i systemy*, № 2, s. 96–102, 2018 [in Ukrainian].
- [10] Stewart Hunter. EQ Mastery, 2021, p. 120–125.

Стаття надійшла: 20.11.2021.

Відомості про авторів

Жабер Амір Хасан – аспірант.

Паламарчук Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та інтелектуальних інформаційних систем.

А. Х. Жабер, Є. А. Паламарчук

КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПРОФОРІЄНТУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

А. Х. Жабер, Є. А. Паламарчук

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРОФИОРИЕНТАЦИИ

Винницкий национальный технический университет, Винница

УДК 004.422

М. В. Каневський, С. М. Захарченко

ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРИНГУ КЛІЄНТСЬКОЇ ЧАСТИНИ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. У даній роботі розглянуто особливості моніторингу клієнтської частини мобільних додатків. Виділено основні параметри процесу передачі інформації від кінцевого користувача до спеціалізованих систем моніторингу. Проаналізовано можливості сучасних систем збору, обробки та візуалізації користувачьких даних. Розроблено структуру типового підходу моніторингу користувачьких даних для мобільних додатків. Для розробки структури було використано принцип лінійності поетапного збору та обробки інформації. Проаналізовано можливості прогнозування на основні довгострокового збору користувачьких даних. Сформовано список сучасних систем клієнтського моніторингу, а також їх можливості взаємодії. Розглянуто переваги та недоліки цих систем.

Ключові слова: моніторинг, мобільні додатки, клієнтський моніторинг.

Аннотация. В данной работе рассмотрены особенности мониторинга клиентской части мобильных приложений. Выделены основные параметры процесса передачи информации от конечного пользователя к специализированным системам мониторинга. Проанализированы возможности современных систем сбора, обработки и визуализации пользовательских данных. Разработана структура типового подхода мониторинга пользовательских данных для мобильных приложений. Для разработки структуры был использован принцип линейности поэтапного сбора и обработки информации. Проанализированы возможности прогнозирования основных долгосрочного сбора пользовательских данных. Сформирован список современных систем клиентского мониторинга, а также их возможности взаимодействия. Рассмотрены преимущества и недостатки этих систем.

Ключевые слова: мониторинг, мобильные приложения, мониторинг клиентов.

Abstract. This paper considers the features of monitoring the client part of mobile applications. The main parameters of the process of information transfer from the end user to specialized monitoring systems are highlighted. The possibilities of modern systems for collecting, processing and visualizing user data are analyzed. The structure of a standard approach to monitoring user data for mobile applications has been developed. The principle of linearity of step-by-step collection and processing of information was used to develop the structure. The possibilities of forecasting the main long-term collection of user data are analyzed. The list of modern systems of client monitoring, and also their possibilities of interaction is formed. The advantages and disadvantages of these systems are considered.

Keywords: monitoring, mobile applications, client monitoring.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-22-26>.

Вступ

Кількість мобільних додатків зростає щохвилини і важливим моментом під час користування будь-яким із них є можливість збору інформації про дії користувача. Сучасні компанії, що розробляють мобільні додатки для будь-яких сфер та галузей для забезпечення високої якості розробки, а також постійної підтримки та покращення у своїх додатках повинні покладатись не лише на внутрішні процеси розробки та тестування додатків, а й на відгуки користувачів, на інформацію яку вони можуть отримати від кінцевого клієнта. Саме тому одним з найважливіших елементів для сучасних мобільних додатків є можливість збору, аналізу, візуалізації інформації що надходить від кінцевих користувачів, а також можливість прогнозування цих даних на основі довгострокового та короткострокового збору інформації.

Дослідження в галузі моніторингу спрямовані на процеси впорядкування та обробки даних і методів їх подання, але коли мова йде про користувачький трафік, зазвичай, його об'єми не завжди є сумісними з фізичними можливостями систем та інфраструктури компанії-розробника. В роботі запропоновано лінійний метод збору та обробки інформації, а також продемонстровано метод таргетування моніторингу на окремі групи користувачів, що дозволяє уникнути над великих об'ємів користувачьких даних. Існує низка систем моніторингу, які дозволяють збирати та обробляти клієнтську інформацію, але дані системи застосовують лише первинні елементи обробки інформації в базовій конфігурації.

Актуальність теми

Актуальність дослідження обумовлена відсутністю узагальненої системи методів, засобів та процесів обробки і подання клієнтської інформації, що об'єднує більшість систем моніторингу та пропонує чіткий підхід та визначені етапи процесу моніторингу клієнтської інформації для мобільних додатків. На даний момент відсутня безкоштовна система, яка б дозволила опрацювати великі потоки клієнтських даних.

Мета

Метою статті є вдосконалення технології опрацювання даних клієнтів за рахунок розробки лінійного методу збору і обробки клієнтських даних для мобільних додатків, а також застосування підходу таргетингово моніторингу для уникання створення над великих масивів даних.

Задачі

1. Розглянути існуючі системи збору клієнтської інформації для мобільних додатків
2. Визначити основні параметри лінійного методу моніторингу
3. Запропонувати лінійний метод збору та обробки даних

4. Сформулювати критерії таргетингово моніторингу
5. Запропонувати вдосконалення лінійного методу збору та обробки даних

Аналіз систем збору клієнтської інформації

Після створення додатку та його запуску розробникам необхідно переконатись, що будуть досягнуті всі поставлені задачі та забезпечено задекларований час безвідмовної роботи. Для цього необхідна платформа моніторингу яка зможе відстежувати різні типи даних в одному місці. Існує декілька різновидів моніторингу продуктивності додатків (APM – application performance metrics):

- відкриття додатків – ця функція дозволяє нанести на карту весь код, мікросервіси та фрагменти вашої програми;
- аналітика часових рядів – надає глибоку інформацію про додаток, системи та інфраструктуру протягом тривалого періоду часу;
- статистика користувачів у програмі – це статистика гравців, інвентаризації, активності, відтворених годин тощо[1].

Розглянемо декілька поширених систем моніторингу:

MetricFire – це інструмент моніторингу метрик часових рядів, побудований на відкритих кодах Graphite, Prometheus та Grafana. MetricFire поєднує найкращі з цих проєктів з відкритим кодом в один простий у використанні SaaS.

Користувачі MetricFire можуть надсилати метрики часових рядів на платформу з будь-якого джерела та створювати спеціально розроблене рішення для моніторингу, яке ідеально відповідає їх технологіям. Існує також агент, який фіксує всі типові показники та полегшує роботу на початкових етапах.

MetricFire найкраще використовувати для моніторингу серверних сервісів та платформ з точки зору програми. Це означає, що MetricFire зазвичай витягує метрики безпосередньо з програми, зокрема метрики, що характеризують інтенсивність запитів, затримку обробки, час безвідмовної роботи, загальне використання програми та ЦП.

Окрім того MetricFire може здійснювати моніторинг баз даних Redis, Kubernetes, Docker, cAdvisor та CloudWatch, а також витягувати користувацькі метрики безпосередньо з додатка. Результати моніторингу MetricFire можуть бути відображені в єдиному дашборді системи Grafana.

Після розміщення даних в Hosted Grafana, з'являється можливість створювати інформаційні панелі, запитувати дані та налаштовувати попередження щодо значень певних виділених метрик.

MetricFire досить легко може бути налаштований для збору інформації про використання того чи іншого додатка, наприклад, про кількість одночасних підключень, кількість користувачів на кожному рівні в мобільній грі, кількість покупок у програмі та будь-які інші показники, унікальні для того чи іншого додатка[6].

GameAnalytics є безкоштовним програмним засобом, який в основному використовується для моніторингу таких активностей користувачів у мобільних іграх:

- залучення користувачів;
- залучення гравців;
- монетизація, включаючи віслідковування перших покупок
- прогрес гравця через вміст гри;
- внутрішньоігрові економіки та віртуальні ресурси (наприклад, золото, життя, загальний прогрес у грі)
- відстеження помилок, що виникають як частина користувацького досвіду, наприклад, неефективні дії кнопок.

GameAnalytics – це інструменту моніторингу досвіду роботи в грі. Однак, оскільки він безкоштовний, масштабування цього інструменту вимагає великої роботи від імені інженера. Бази даних, конвеєри даних та стратегія моніторингу повинні бути повністю побудовані та керуватися інженерною командою. У випадках, коли інструмент працює не так, як очікувалося, несправності в роботі системи повинна виконувати ваша внутрішня інженерна команда [3].

Крім того, GameAnalytics не є інструментом моніторингу низькорівневих процесів у додатку або інструментом моніторингу Application Discovery, тому він не корисний для більшої частини моніторингу, необхідного для підтримання гри. Цей засіб неможливо використовувати для моніторингу інфраструктури та платформ, що фінансують додаток, або для глибокого розуміння коду. Цю діяльність краще робити за допомогою таких інструментів, як MetricFire та ScoutAPM.

Datadog – це універсальний інструмент моніторингу, який починався як інструмент моніторингу інфраструктури і розширювався в APM, інструмент реєстрації та трасування. Datadog чудово підходить, якщо вам потрібно трохи всього. Якщо вам потрібно стежити за обома серверами та виконувати APM - ви можете отримати те, що вам потрібно, від Datadog [7].

Знову ж таки, проблема полягає в масштабуванні. Стандартні облікові записи Datadog надають вам певну кількість показників, тому ви завжди можете контролювати основи. Але якщо вам потрібно зроби-

ти більше, ніж основи, Datadog швидко стає дорогим. Спеціальні метрики з datadog стягуються у розмірі 5 доларів за кожні 100 метрик – для тих, хто контролює 500 000 метрик на 10 серверах, це буде коштувати 25 130 доларів США на місяць [4].

Параметри лінійного моніторингу мобільних додатків

Обробка клієнтської інформації – це складний і довготривалий процес збору, обробки, структуризації, аналізу і візуалізації. Більшість сучасних систем моніторингу може впоратись з цим процесом лише у комплексному застосуванні. Але якщо структурувати і відокремити конкретні вимоги компанії розробника цей процес можна мінімізувати і виконувати не повністю, а лише те що потрібно на певному етапі. Для прикладу, якщо додатком користується 100 тисяч користувачів компанії розробнику не потрібно збирати дані про всіх, достатньо буде зробити зріз даних для 10% на предмет можливих збоїв, охопивши усі типи користувачів. Саме для цього потрібно сформулювати найбільш типові параметри. Якщо схематично представити процес моніторингу клієнтської частини додатку він буде виглядати, як показано на рис. 1. Головною метою лінійного методу є представлення необхідних даних на певних етапах без проходження до наступного етапу, а від так і економії ресурсів. Сучасні системи моніторингу отримують дані в певному вигляді, а далі, за допомогою своїх функцій, перетворюють їх в зручний і зрозумілий системі формат і таким чином, одні й ті самі дані постійно проходять різні фільтри, що є неефективним з точки зору використанні ресурсів [9].

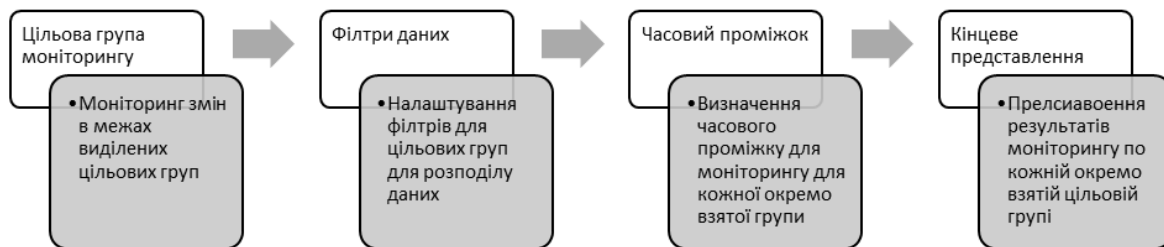


Рисунок 1 – Клієнтський моніторинг

Метод лінійності збору та обробки даних моніторингу

Самих параметрів моніторингу та збору клієнтської інформації може бути безліч і це залежить виключно від продукту. Але етапи обробки зібраних даних залишаються не змінними. Сучасні системи моніторингу можуть працювати паралельно з великою кількістю даних, але головна проблема – це однотипність цих даних, тобто в одному потоці повинні бути однотипні дані. Це означає що для отримання комплексного результату який складається з декількох потоків даних, потрібно пройти всі етапи клієнтського моніторингу і лише у кінцевому циклі представлення даних отримати фінальний результат, що є досить не зручно і не ефективно в рамках використання ресурсів. Лінійний метод дозволяє брати «сирі» зібрані дані з різних потоків і об'єднувати їх для отримання зрозумілого результату без проходження усього циклу моніторингу [5]. В BigData цей процес називається декорування потоків даних. Декорування – це процес злиття двох або більше кінцевих потоків даних, методами запиту їх з місця зберігання (зазвичай це не реляційні або реляційні бази даних) і перетворення за допомогою скриптів в зрозумілу форму (методами Python або Bash, рідше іншими мовами програмування). Варто розуміти, що мова йде про опціональні рішення, які підтримуються більшістю систем моніторингу, але не надаються ними в базових версіях, або надаються в рамках розширеної програми підтримки і коштують великих грошей. Тому більшість компаній використовують базові функції систем моніторингу, які збирають прості потоки даних, зберігаючи їх на свої локальні або хмарні сховищах і виконують перетворення і представлення даних за допомогою таких опціональних рішень. Отже лінійний метод збору та обробки даних моніторингу представлено на рис. 2 [2].

Критерії таргетингового моніторингу

Однією з головних задач процесу моніторингу є уникання хаотичного зберігання даних. Для цього варто розуміти яка інформація нам потрібна і для чого вона буде використовуватись. Звісно більшість параметрів залежить від продукту який розробляє компанія. Але варто розуміти базові принципи розбиття аудиторії і відповідно моніторингу цільових груп. Тому можна виділити такі критерії:

- по зацікавленості (наприклад кількість переходів по певному товару в інтернет магазині);
- по запитам (скільки разів ваш додаток відображався в пошуку Apple Store або Google play);
- по країнам і мовам (з яких країн та якою мовою намагались знайти ваш сайт, товар, додаток, тощо);
- аудиторний (яка аудиторія шукає ваш продукт);
- таргетинг по часу (в який час доби найбільше пошукових запитів по вашому продукту);
- гіперлокальний (застосовується для людей поблизу) [8].

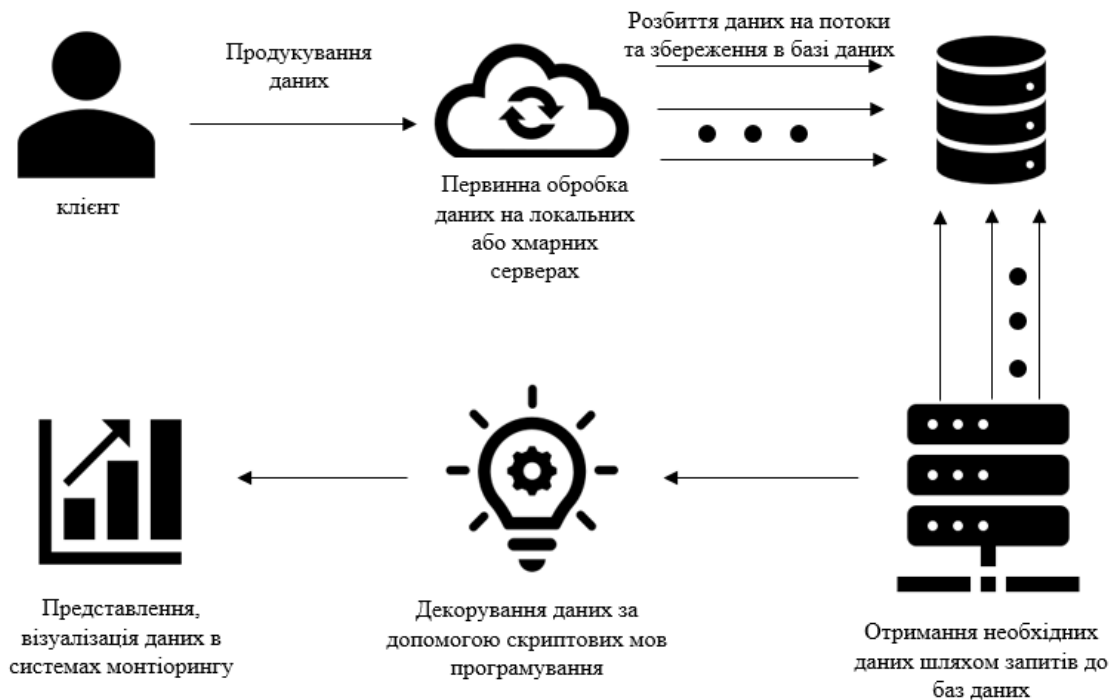


Рисунок 2 – Лінійний метод збору та обробки даних моніторингу

Сама технологія таргетингово моніторингу працює таким чином:

1. Збирається інформація про користувача за допомогою cookie - файлів, яка зберігається в профілі. На підставі цієї інформації можна вивчити смаки, потреби, інтереси і можливості користувача.
2. Проводиться аналіз даних і виділяється цільова аудиторія, яка може зацікавитися вашими послугами.
3. На третьому етапі всі дані про групу автоматично записуються і видаються у вигляді діаграм, графіків для зручності моніторингу інформації.
4. На основі отриманої статистики вносяться корективи до вашого додатку, сайту чи послуги, а також може розроблятися реклама, індивідуальні плани для певних груп користувачів тощо.

Вдосконалення лінійного методу моніторингу клієнтських даних

Опираючись на метод лінійності збору даних, а також на деякі базові критерії таргетингового моніторингу існуючий метод можна вдосконалити виконавши декорування даних на більш ранніх етапах отримання і впорядкування клієнтських даних. Обробка даних скриптованими мовами програмування одразу ж після отримання їх від клієнта дає ряд переваг:

1. Непотрібно зберігати усі клієнтські дані у хмарних або фізичних сховищах, що є дуже дороговартним.
2. Можливість проведення маніпуляцій з типом даних що зберігаються лише за необхідності (наприклад детальний аналіз певних проблем)
3. Безпека бази даних оскільки кількість запитів до неї зменшується так як дані декоруються ще на етапі їх отримання від користувача
4. Можливість використання нереляційних баз даних, що значно пришвидшує усі подальші процеси візуалізації даних у система моніторингу

Звісно існує і ряд недоліків:

1. Складність реалізації, оскільки процес декорування даних на первинних етапах потребує висококваліфікованих розробників зі знанням декількох мов програмування.
2. Певні дані про користувача все ж таки доведеться зберігати у реляційних база даних на довгий строк оскільки цього вимагають законодавства багатьох країн.
3. Використання нереляційних баз даних є енергозалежною тому знадобиться додатковий функціонал для створення резервного копіювання даних [6].

Висновки

1. Розглянуто існуючі системи моніторингу клієнтської частини додатків, що демонструє відсутність безкоштовних універсальних рішень.
2. Сформовано основні параметри для представлення лінійного методу процесу моніторингу клієнтських даних, що дало змогу виявити деякі недоліки.

3. Запропоновано лінійний метод моніторингу та розглянуто його аспекти для можливості його вдосконалення.

4. Представлено основні критерії таргетингово моніторингу даних для удосконалення лінійного методу.

5. Запропоновано вдосконалення лінійного методу моніторингу та продемонстровано його переваги та недоліки.

Список літератури

- [1] В. П. Сурпин, «Информационные процессы», *Мониторинг многокомпонентных систем: предметно-независимые модели и методы*, том 11, № 3, с. 378–393. 2011.
- [2] А. Д. Вакке, *Zabbix. Практичний посібник*. ДМК Пресс. – Київ, 2017, с. 10–26.
- [3] J. Joyce, K. Slind, G. Lomow, Brian W. Unger, «ACM Transactions on Computer Systems», *Monitoring Distributed Systems*. USA, March 1987, p. 121-150.
- [4] L. Kufel, *Foundations of Computing and Decision Sciences: Tools for Distributed Systems December*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://content.sciendo.com/configurable/contentpage/journals\\$002ffcds\\$002f41\\$002f4\\$002farticle-p237.xml](https://content.sciendo.com/configurable/contentpage/journals$002ffcds$002f41$002f4$002farticle-p237.xml).
- [5] Appcenter documentation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/en-us/appcenter>.
- [6] Costa Rica National University, *Library Automation and Monitoring system* Jan./Jun. 2018.
- [7] P. Stahlberg, *Monitoring web applications*, США, Жовтень 2014. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US8863085B1/en>.
- [8] Топ 10 програм для моніторингу. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.softinventive.com/best-network-monitoring-tools/>.
- [9] Monitoring Distributed Systems. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://landing.google.com/sre/sre-book/chapters/monitoring-distributed-systems/>.

Стаття надійшла: 24.11.2021.

References

- [1] V. P. Suprin, «Information processes», *Monitoring of multi-components systems: subject-independent models and methods*. vol 11, № 3, p. 378–393. 2011.
- [2] A. D. Vakke, *Zabbix. Practice book*. DMK Press. – Kyiv, 2017, p. 10–26.
- [3] J. Joyce, K. Slind, G. Lomow, Brian W. Unger, «ACM Transactions on Computer Systems», *Monitoring Distributed Systems*. USA, March 1987, p. 121-150.
- [4] L. Kufel, *Foundations of Computing and Decision Sciences: Tools for Distributed Systems December*. [Online]. Available: [https://content.sciendo.com/configurable/contentpage/journals\\$002ffcds\\$002f41\\$002f4\\$002farticle-p237.xml](https://content.sciendo.com/configurable/contentpage/journals$002ffcds$002f41$002f4$002farticle-p237.xml).
- [5] Appcenter documentation. [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/appcenter>.
- [6] Costa Rica National University, *Library Automation and Monitoring system* Jan./Jun. 2018.
- [7] P. Stahlberg, *Monitoring web applications*, USA, October 2014. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US8863085B1/en>.
- [8] Top 10 programs for monitoring. [Online]. Available: <https://www.softinventive.com/best-network-monitoring-tools/>.
- [9] Monitoring Distributed Systems. [Online]. Available: <https://landing.google.com/sre/sre-book/chapters/monitoring-distributed-systems/>.

Відомості про авторів

Каневський Микола Володимирович – аспірант, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Захарченко Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки.

M. V. Kanevskyi, S. M. Zakharchenko

MONITORING FEATURES OF THE CLIENT PART OF MOBILE APPLICATIONS

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 004.42

Л. В. Крилик, А. А. Яровий, А. А. Козирева

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РОЗТАШУВАННЯ ПУНКТІВ ПЕРЕРОБКИ ВТОРСИРОВИНИ ТА ПРОДАЖУ ЕКОТОВАРІВ

Вінницький Національний Технічний Університет, Вінниця

Анотація. В роботі розглянуто проблемні аспекти, пов'язані із забрудненням екологічного стану довкілля. Відсутність доступної та відкритої інформованості сприяло розробці інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки вторсировини та продажу екотоварів, яка представлена у вигляді веб-сервісу з вбудованими мапами, на яких, відповідно, позначені вказані пункти. Програмний продукт розроблено з метою прискорення та спрощення процесу пошуку необхідних пунктів на мапі, шляхом вибору відповідних критеріїв пошуку через достатньо простий та зрозумілий інтерфейс користувача, який потребує мінімальних зусиль на навчання чи базової інструкції користувача, адже є інтуїтивно зрозумілим. Додатковою функцією цієї інформаційної системи є пошук найкоротшого шляху від обраної користувачем точки до необхідного пункту переробки вторсировини чи продажу екотоварів, які також обрані користувачем серед запропонованих системою. Інформаційна система розроблена з використанням сучасних та гнучких засобів таких як Java, Java Spring, Spring Boot та H2 та реалізована у вигляді Web-ресурсу. Як результат, запропонована інформаційна система візуалізації розташування пунктів переробки вторсировини та продажу екотоварів повністю задовольняє базові потреби користувача та спрощує процес отримання необхідної інформації.

Ключові слова: інформаційна система, web-технології, методології проектування програмного забезпечення, візуалізація, екологія, екотовари.

Аннотация. В работе рассмотрены проблемные аспекты, связанные с загрязнением экологического состояния окружающей среды. Отсутствие доступной и открытой информированности способствовало разработке информационной системы визуализации расположения пунктов переработки вторсырья и продажи экотоваров, представленной в виде веб-сервиса со встроенными картами, на которых, соответственно, обозначены указанные пункты. Программный продукт разработан с целью ускорения и упрощения процесса поиска необходимых пунктов на карте, путем выбора соответствующих критериев поиска через достаточно простой и понятный пользовательский интерфейс, который требует минимальных усилий на обучение или базовой инструкции пользователя, поскольку интуитивно понятен. Дополнительной функцией этой информационной системы является поиск кратчайшего пути от выбранной пользователем точки к требуемому пункту переработки вторсырья или продажи экотоваров, которые также выбраны пользователем среди предлагаемых системой. Информационная система разработана с использованием современных и гибких средств, таких как Java, Java Spring, Spring Boot и H2 и реализована в виде Web-ресурса. Как результат, предложенная информационная система визуализации расположения пунктов переработки вторсырья и продажи экотоваров полностью удовлетворяет базовые потребности пользователя и упрощает процесс получения необходимой информации.

Ключевые слова: информационная система, web-технологии, методологии проектирования программного обеспечения, визуализация, экология, экотовары.

Abstract. The problematic aspects related to environmental pollution are considered in this article. The lack of accessible and open information contributed to the development of an information system of visualization the location of recycling and sale of eco-goods, which is presented in the form of a web service with built-in maps, and accordingly, marked these points. The software is designed to speed up and simplify the process of finding the necessary items on the map, by selecting the appropriate search criteria through a fairly simple and clear user interface that requires minimal training or basic user instructions, because it is intuitive. An additional function of this information system is to find the shortest path from the point selected by the user to the desired point of recycling or sale of eco-products, which are also selected by the user among those offered by the system. The information system was developed using modern and flexible tools such as Java, Java Spring, Spring Boot and H2 and implemented as a Web-resource. As a result, the proposed information system for visualization of the location of recycling and sale of eco-products fully meets the basic needs of the user and simplifies the process of obtaining the necessary information.

Keywords: information system, web-technologies, software design methodologies, visualization, ecology, eco-goods.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-27-35>.

Вступ

В сучасних умовах досить важливим є питання екологічного стану довкілля. Усі інформаційні джерела несуть в маси думку про те, що природу необхідно оберігати аби уникнути екологічної катастрофи. Кожного дня, саме людина стає причиною основної маси забруднення екосистеми, що в подальшому спричиняє вимирання рідкісних видів тварин, розвиток хвороб та дефіцит таких ресурсів як питна вода, деревина, придатна для аграрного використання земля. Натепер основна діяльність людини базується на застосуванні штучно створених засобів. З часом це призводить до різкого посилення активного втручання суспільства в хід природних процесів [1].

Саме тому, екологічна галузь залишається однією з найактуальніших та найважливіших у наш час, адже пов'язана зі станом екосистеми та безпекою нашого існування на планеті Земля. З метою підвищення екологічної свідомості населення та надання актуальної інформації щодо шляхів покращення екологічної ситуації, було реалізовано безліч інтернет-джерел та ресурсів. Проаналізувавши знайдені аналоги, можна зробити висновок, що інформаційних систем, які б розкривали тему правильного сортування та переробки відходів не так багато. Вони не є в достатній мірі досконалими, адже можуть вирішувати лише одну задачу, наприклад, показувати пункт переробки відходів. Знайдені системи аналоги не завжди мають зручний інтерфейс користувача, а тому можуть бути складними або не досить зручними в корис-

стуванні, і як наслідок, здатні зменшувати інтерес населення до актуальної екологічної проблеми. Сучасна, покращена реалізація систем візуалізації допоможе спростити процес пошуку та використання необхідної інформації та привернути увагу до таких проблем як забруднення навколишнього середовища та правильна переробка відходів. Така реалізація потребує сучасних підходів у розробці, з використанням актуальних технологій, правильних підходів проектування архітектури та інтерфейсу користувача, обраних під потреби користувача для задач, які повинна вирішувати система. Обравши правильно підібрані підходи та сучасні інструменти розробки, вдасться розробити повноцінну інформаційну технологію, що задовольнить всі попередньо визначені потреби користувача та забезпечить позитивний результат.

Актуальність дослідження

Натепер, Україна знаходиться на 60 місці серед 180 країн світу, згідно з актуальним індексом екологічної ефективності. Environmental Performance Index або просто EPI – це глобальний аналіз екологічної ефективності країн, який здійснює Єльський університет разом з Колумбійським та Всесвітнім економічним форумом. Результати оприлюднюються раз на два роки. Досліджуються 32 показники в 11 категоріях. Зокрема, якість повітря та питної води, зміна клімату, біорізноманіття. Цей індекс дозволяє зрозуміти стан навколишнього середовища, здоров'я населення та державної політики в сфері екології кожної конкретної країни. Згідно з цим показником, в нашій країні найгірший показник має якість повітря, через надмірне використання великих підприємств, фабрик, а також автомобілів й громадського транспорту. На другому місці за найгіршими показниками – біорізноманіття, флора та фауна [2].

Для збереження вітчизняних природних екосистем здійснюється недостатньо ефективних заходів. До того ж, досить багато площі ґрунтів використовуються як сміттєзвалища для невідсортованої вторсировини, як промислового, так і побутового походження. В останні декілька років людство почало усвідомлювати всі масштаби настання екологічної катастрофи, що спричинена нехтуванням населення планети правил запобігання забрудненню навколишнього середовища. Для того, щоб сприяти розповсюдженню актуальної інформації, необхідно використовувати всі можливі засоби масової інформації які доступні людям.

На теперішній час в Україні накопичено велику кількість інформації на екологічну тематику, що нерівномірно розподілена серед різних інформаційно-аналітичних ресурсів, які не завжди сумісні між собою і мають неповні дані щодо різних видів природних, соціальних та економічних ресурсів. Це потребує систематизації і аналізу. Частина даних зберігається в автономних чи закритих базах даних, що перешкоджає вільному використанню необхідної інформації в освітніх цілях, не кажучи вже про використання такої інформації з метою покращення актуальної екологічної ситуації.

На жаль, дуже малий відсоток населення нашої планети згоден витратити свій час на дослідження такої важливої проблеми як занепад екології. А та частина, яка зацікавлена в цій інформації та прагне докладати зусиль задля покращення екологічної ситуації, не завжди може оперативним чином знайти весь обсяг потрібної інформації для цього.

Відсутність належної, доступної інформованості у відкритому доступі перешкоджає як громадськості так і іншим зацікавленим у покращенні екологічної ситуації сторонам отримати якісну й повну інформацію про стан навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів.

Вищенаведені аргументи актуалізують створення інформаційних технологій, пов'язаних із питаннями екологічного стану довкілля, зокрема, переробки відходів, продажу екотоварів тощо.

Варто зазначити, що в процесі проведених досліджень, прямих аналогів не знайдено, проте є ряд систем, що здатні розв'язувати схожі проблеми та мають графічне представлення у вигляді мапи:

- «Чиста вода» – система, що являє собою графічне представлення рівня забрудненості річок України, розроблена на основі даних Державного агентства водних ресурсів. До властивостей цієї системи можна віднести можливість вибору будь-якої з найбільших річок України та перегляду списку головних забрудників річки в обраній області, що представлені у вигляді переліку підприємств [3].

До переваг вказаної системи варто віднести такі характеристики як: якісна візуалізація, широка база даних зі статистичною інформацією, інструкція користувача, відкрите та безкоштовне джерело.

Проте така система має ряд недоліків: вузька спеціалізованість та фокус лише на джерела забруднення річок, що знижує рівень універсальності системи та ефективності її використання.

- «Інтерактивна мапа» – система, розроблена Міністерством екології та природних ресурсів України, яка надає можливість взаємозв'язку громадян з владою, шляхом реєстрування звернення щодо виявлених місць стихійних сміттєзвалищ з інформацією про їх місцезнаходження, яка буде відмічена на мапі після обробки заявки [4].

В якості переваг цієї системи варто відзначити такі характеристики: можливість користувача додати новий пункт на мапу, зворотній зв'язок, відкрите та безкоштовне джерело.

Проте така система має ряд недоліків: вузька спеціалізованість, реалізований лише формат зворотного зв'язку та подачі заявок і їх візуалізації, не досить зручний інтерфейс користувача.

«Recycle Map» – система, яка є найбільш наближеною до розробленої у нашому дослідженні системи візуалізації розташування пунктів. За допомогою «Recycle Map» користувач може дізнатись про місцезнаходження пунктів переробки певних відходів [5].

Перевагами такої системи є зручний інтерфейс користувача, якісне графічне представлення, а також те, що система є доступною та безкоштовною.

В якості недоліків цієї системи можна виділити: наявність лише мапи пунктів переробки відходів, достатньо мала база даних або застаріла інформація, оскільки далеко не всі знайдені пункти переробки відображені на мапі.

Знайдені системи-аналоги є корисними, але усі вони є досить вузькоспеціалізованими та не дають достатньо інформації, з використанням якої користувачі можуть зрозуміти актуальність проблеми забруднення навколишнього середовища, та які дії можна виконати для спроби її покращення. Проаналізовані та описані вище аспекти і стали передумовою для розробки інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки відходів та продажу екотоварів «EcoS», яка вирішуватиме задачу швидкого пошуку пунктів переробки відходів/продажу екологічних товарів, шукатиме найкоротший шлях до обраного пункту, й разом із тим, підвищуватиме екологічну свідомість суспільства.

Інформаційна система візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів «EcoS» представлена у вигляді веб-сервісу з вбудованими мапами, на яких, відповідно, позначені пункти прийому та продажу необхідної сировини/товарів. Користувач може з легкістю знайти потрібний йому пункт на мапі, за категоріями та підкатегоріями сировини/товарів, і якщо це необхідно, знайти найкоротший шлях від обраної ним точки, до потрібного пункту на мапі.

Таким чином, проведений аналіз вітчизняного стану проблеми показав, що розробка інформаційної системи дійсно є актуальною та допоможе пришвидшити пошук необхідних пунктів прийому відходів, продажу екотоварів та покращить обізнаність й свідоме споживання користувачів.

Мета

Метою дослідження є розробка інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів, огляд структури, інструментів реалізації, їх переваг та недоліків, як наслідок виділення особливостей програмної реалізації.

Задачі

1. Дослідити особливості системних вимог, архітектури системи, вибору платформ і технологій для розробки інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів.

2. Розробити структурну організацію та здійснити програмну реалізацію інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів

Розв'язання задач

Системні вимоги та архітектура інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів

В основу розробки запропонованої структури системи візуалізації покладено такі особливості:

- наявність зручно та якісно візуалізованої інформації про місцезнаходження пунктів переробки сировини;
- наявність зручно та якісно візуалізованої інформації про місцезнаходження пунктів продажу екотоварів;
- наявність блогу з опублікованими статтями на екологічну тематику, що спростить процедуру отримання інформації для користувачів системи;
- наявність модуля обробки помилок системи;
- наявність сторінки з контактними даними, що допоможе користувачам системи отримати зворотній зв'язок від служби підтримки;
- наявність функції пошуку найкоротшого шляху від обраної користувачем точки на мапі до потрібного пункту, серед вже відфільтрованих за допомогою вибору категорії та підкатегорії пунктів;
- наявність детальної інформації про пункти у вигляді вікна з інформацією про назву, адресу, час роботи;
- введення модуля управління контентом, що надасть змогу контент-автору чи адміністратору оновлювати дані системи, видаляти та редагувати контент;
- користувачі з різним рівнем підготовки повинні повноцінно користуватись системою, час на навчання має бути мінімальним, а інтерфейс користувача має бути інтуїтивно зрозумілим.

Ключовим елементом інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів є підсистема, що реалізує модуль візуалізації розташування пунктів на мапах переробки сировини та продажу екотоварів, автоматизації процесу пошуку найкоротшого шляху між двома пунктами на мапі, що заощаджує час на пошук пунктів переробки певної сировини та продажу екологічних товарів. Також, в якості додаткового модуля, з метою якісного управління контентом, роз-

роблено підсистему за допомогою якої можна маніпулювати контентом, який вже опублікований або лише буде опублікований у системі, а саме, категоріями та підкатегоріями пошуку пунктів, статтями, контактними даними та самими пунктами.

З точки зору маркетингу та UX-дизайну, модель представлення даних у вигляді мапи є досить зручною для цієї тематики, адже дає змогу легко сприймати отриману інформацію та економити час на пошук потрібних пунктів, що задовольняє потреби системи.

Потреби, які задовольняє реалізація модуля візуалізації розташування пунктів:

- користувач з легкістю може орієнтуватись в інтерфейсі системи, роботі з категоріями та підкатегоріями пунктів, а в місцях які потребують додаткових дій від користувача, з'являються вікна з поясненнями наступних кроків, які також є інтуїтивно зрозумілими;

- користувач може переглядати детальну інформацію про пункти (відображається у вигляді вікна з назвою, адресою та годинами роботи пункту), навівши на певний з них курсором;

- користувач може переглядати опубліковану, у вигляді статей, інформацію на цікаві для нього теми, що пов'язані з екологією;

- користувач може використати функцію знаходження найкоротшого шляху, в результаті чого, після декількох здійснених ним маніпуляцій, на мапі з'явиться відмічений найкоротший шлях, від точки до певного пункту, який обирає користувач;

- користувач отримує інформацію щодо системних помилок або відсутності необхідної інформації в базі даних, у вигляді вікон з повідомленням.

Модуль візуалізації, що представлений у вигляді сторінки з мапою повинен містити такі речі як: локалізовану мапу, на якій надалі відобразатимуться пункти, випадаюче меню з вибором категорії для фільтрації пунктів, підкатегорія для детальнішої фільтрації пунктів, чітко позначені пункти, що з'являються в результаті вибору категорії та підкатегорії, кнопки переходу з мапи продажу екотоварів до мапи переробки відходів («Екотовари» та «Переробка»), кнопка «Блог» та кнопка «Контакти», після фільтрації пунктів за категорією та підкатегорією, повинна бути доступною кнопка «Прорахувати маршрут», для пошуку найкоротшого маршруту, вікна з підтвердженням операції («Прорахувати маршрут?») з варіантами відповіді «Так» або «Ні».

Основними функціональними можливостями, що повинні бути реалізовані в системі, є:

- можливість віддаленого доступу через мережу інтернет;
- кросплатформність та кросбраузерність;
- наявність головної сторінки;
- наявність візуалізованої функції переходу між двома мапами;
- наявність окремої сторінки з відображеними опублікованими статтями;
- наявність окремої сторінки з контактними даними;
- можливість пошуку пункту за категорією;
- можливість пошуку пункту за підкатегорією;
- використання інтегрованої системи мап «OpenStreetMap»;
- можливість пошуку найкоротшого шляху;
- можливість вибору початкової точки для прорахування маршруту;
- можливість оновлення, редагування та видалення даних для ролі користувач-адміністратор або контент-автор;

Розроблена технологія поєднає в собі інтеграцію двох типів мап, візуальна частина яких підвантажується з відкритої системи OpenStreetMap.

Відомим аналогом цієї системи є система мап Google Maps, яка є найпопулярнішим джерелом мап в мережі. Google Maps постійно оновлюється та має широкий обсяг різних функцій, пов'язаних з навігацією, пошуку коротких шляхів, побудови маршруту з урахуванням заторів на дорогах. Також, система має зручний та зрозумілий інтерфейс та доступна в якості web-додатку та нативних додатків. Головним недоліком системи Google Maps є те, що через деякий час використання її у своїх розробках стає платним.

На відміну від Google Maps, система OpenStreetMap не має такої кількості різних функцій, а являє собою лише мапу з головними позначеннями та дорогами. Звичайно, ця система є менш деталізованою та привабливою для користувача ніж Google Maps, але головною перевагою системи OpenStreetMap є її безкоштовне та безлімітне використання у своїх розробках, що значно спрощує процес інтеграції візуальної частини (мапи) до своєї системи.

Головний модуль системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів реалізує інтеграцію двох типів мап.

Перший тип мапи – мапа розташування пунктів переробки вторсировини. За допомогою використання заданих категорій (скло, пластик, папір і т. д.) користувач може обрати вид вторсировини, які він бажає здати на переробку. Після визначення категорії, можна також обрати підкатегорію виду вторсировини, що може значно зменшити пошуки необхідної геолокації (наприклад: категорія – пластик, підкатегорія – пластикові пляшки).

Другий тип мапи – мапа розташування пунктів продажу екологічних товарів. Обидві мапи розроблені за однаковим принципом. Обираючи мапу з представленими екотоварами, користувач може вказати категорію та підкатегорію товарів, які його цікавлять, і побачити результат у вигляді позначок на мапі (наприклад: категорія – побут, підкатегорія – шопер) [6].

Нижче наведено приклад діаграми активності на верхньому рівні візуалізації роботи системи:



Рисунок 1 – Діаграма активності на верхньому рівні деталізації роботи системи

Структурна організація інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки втор-сировини та продажу екотоварів

У системі потрібно реалізувати основні модулі, які б забезпечували виконання основних вимог до системи, а саме:

- взаємодію між об'єктами системи;
- взаємодію між системою та користувачем;
- виконання функцій кожного об'єкту;
- відображення елементів на екрані.

Основними модулями системи візуалізації є такі:

- модуль візуалізації;
- модуль фільтрації пунктів продажу товарів;
- модуль фільтрації пунктів переробки сировини;
- модуль пошуку шляху;
- модуль блогу з опублікованими статтями на екологічну тематику.

Користувачами цієї системи є всі верстви населення (звичайні громадяни, учні та студенти навчальних закладів, влада, екоактивісти, адміністратор системи). Діаграму прецедентів системи представлено на рис. 2.

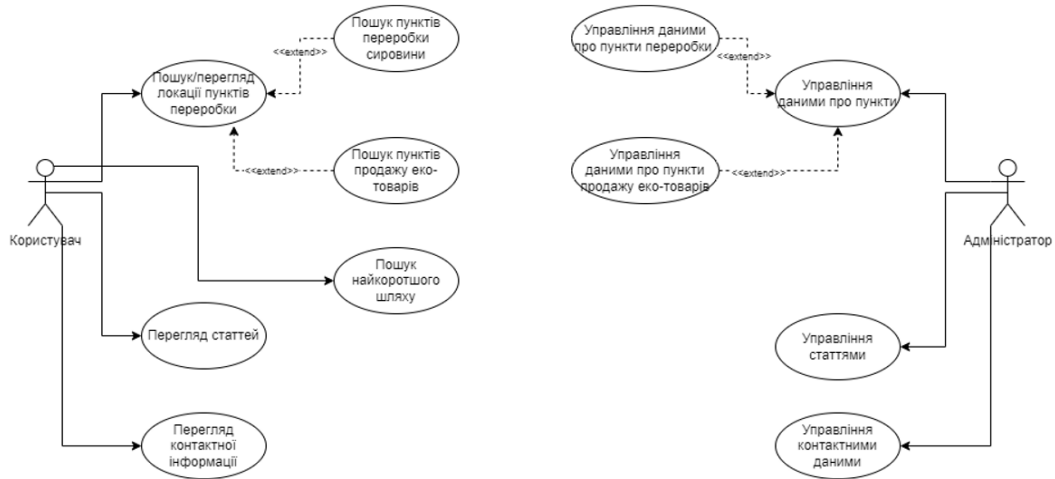


Рисунок 2 – Діаграма прецедентів системи

Деталізовану структурну схему ключового модуля візуалізації розташування пунктів подано на рис.

3.

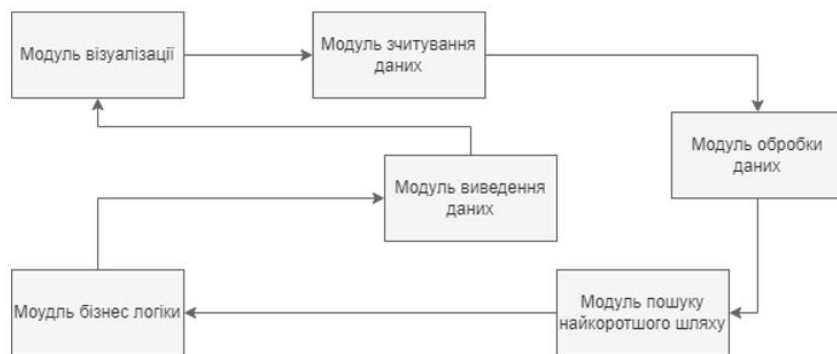


Рисунок 3 – Структурна схема програмного модуля візуалізації розташування пунктів переробки вторсировини та продажу екотоварів

Модуль візуалізації – модуль користувацького інтерфейсу, який є візуальним представленням системи, безпосередньо пов'язаний з модулями зчитування та виведення інформації. Головними функціями якого є: відображення початкових та виведених даних, можливість введення інформації шляхом вибору потрібних категорій та підкатегорій та надання зв'язків, що будуть надалі використовувати інші модулі.

Модуль зчитування даних – модуль, що відповідає за зчитування введених даних, структурує їх, адаптує під певний формат для подальшої обробки.

Модуль обробки даних – модуль, що безпосередньо відповідає за обробку отриманих даних. Відповідає за з'єднання клієнта, сервера та бази даних.

Модуль пошуку найкоротшого шляху – модуль, що відповідає за пошук підходящого шляху серед усіх представлених, аналізуючи дані, що були оброблені в попередньому модулі та обираючи той, що найближчий до критеріїв користувача.

Модуль виведення даних – модуль, що відповідає за збір даних та їх подальше візуальне представлення у модулі візуалізації системи.

Модуль бізнес-логіки – модуль, що вміщає в себе всю бізнес-логіку, а саме функції, що розв'язують основні задачі, наприклад: фільтрація пунктів за категоріями та підкатегоріями, також модуль включає взаємодію між об'єктами системи та їх поведінку, що містить модуль обробки помилок, модуль допоміжної бізнес-логіки.

Програмна реалізація інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки вторсировини та продажу екотоварів:

Критерії вибору програмних засобів:

- можливість створення шаблонів коду;

- наявність об'єктно-орієнтованого проектування;
- сучасний підхід;
- високий рівень оптимізації;
- наявність функціоналу для зберігання локального стану елементів;
- можливість розробки, як фронтенд, так і бекенд частини web-ресурсу;
- використання реляційної бази даних;
- підтримка бібліотек для роботи з базою даних;
- підтримка реалізації зв'язку з мапами;
- підтримка реалізації кросплатформного веб-додатку.

Для розробки описаної інформаційної системи необхідно обрати таку високорівневу мову програмування, яка б змогла реалізувати та підтримати весь необхідний функціонал. Також обрана мова програмування повинна бути актуальною, мати високий рівень оптимізації, використовувати сучасні бібліотеки і співпрацювати з іншими мовами програмування, підтримуватись сучасними реляційними базами даних. Для реалізації логіки системи було обрано об'єктно-орієнтовану мову Java, яка відповідає усім вказаним критеріям та є платформо-незалежною мовою, що дозволяє викликати підпрограми написані іншими мовами програмування [7].

Для реалізації вебдодатку було обрано платформу Spring Boot. Spring Framework – програмний каркас (фреймворк) з відкритим кодом та контейнери з підтримкою інверсії управління для платформи Java. Основною особливістю Spring Framework є те, що вона може бути використана будь-яким додатком Java, але є розширенням для створення вебдодатків на платформі Java EE. Попри це, Spring Framework не нав'язує певної конкретної моделі програмування. Spring Framework став популярним в спільноті Java як альтернатива або навіть доповнення моделі Enterprise JavaBean (EJB) [8].

З метою розробки привабливого для користувача інтерфейсу, коректного представлення даних в різних браузерах та зручній роботі з мапою під час розробки системи, було використано JavaScript. JavaScript використовується для створення сценаріїв вебсторінок, що надає можливість на боці клієнта (пристрої кінцевого користувача) взаємодіяти з користувачем, керувати браузером, асинхронно обмінюватися даними з сервером, змінювати структуру та зовнішній вигляд вебсторінки [9].

Інформація щодо наявних пунктів продажу екологічних товарів та пунктів переробки сміття міститься в базі даних H2, що також підключена до інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів.

Обираючи сховище для збереження усіх описаних даних, основними критеріями є:

- здатність до розширення та масштабованості;
- стійкість до втрат даних;
- безпека даних;
- простота використання.

До переваг обраної системи керування базою даних також відносять такі характеристики як:

- два режими роботи (клієнт-сервер, вбудований);
- два режими зберігання даних (файлова система, пам'ять);
- підтримка планів виконання запитів;
- підтримка кластеризації і реплікації;
- шифрування даних;
- зовнішні (пов'язані) таблиці;
- визначення доменів;
- мультиверсійний конкурентний доступ;
- підтримка ключових слів LIMIT і OFFSET в запитах;
- тимчасові таблиці;
- робота з CSV файлами на читання і запис;
- браузерна консоль управління;
- запуск як сервіс Windows.

Хоч дана система управління базами даних підтримує лише мову програмування Java, саме ця властивість забезпечує такі характеристики сховища даних як [10, 11]:

- проста інтеграція с Java-додатками;
- кросплатформність;
- більша захищеність даних ніж у нативних додатків;
- швидкість роботи.

Висновки

Встановлено, що IT-розробки на екологічну тематику є актуальними в теперішній час. Сформовано системні вимоги та описано особливості реалізації програмного продукту, що значно спрощує та прискорює процес пошуку необхідних пунктів на мапі, шляхом вибору відповідних критеріїв пошуку через достатньо простий та зрозумілий інтерфейс користувача, який потребує мінімальних зусиль на навчання,

адже є інтуїтивно зрозумілим. Такий підхід надає змогу усім користувачам мати швидкий доступ до Web-ресурсу (інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів) за наявності мережі Інтернет з різних пристроїв.

Здійснено аналіз вимог до інструментальних засобів, яких потребує реалізація системи. Обґрунтовано вибір для реалізації системи мов програмування Java, JavaScript та фреймворку SpringBoot, для серверної та клієнтської частин відповідно. Спроектовано реляційну базу даних H2. Як результат, описано особливості процесу проектування та реалізації інформаційної системи візуалізації розташування пунктів переробки вторсировини та продажу екотоварів.

В подальших дослідженнях планується дослідити доцільність застосування методів штучного інтелекту, для розпізнання заторів на дорогах під час проектування найкоротшого шляху на мапі, створення персонального кабінету користувача, а також аспекти підвищення швидкодії та зручності роботи системи. Також планується проаналізувати актуальність розширення бази даних пунктів та їх візуального представлення на мапах.

Список літератури

- [1] А. А. Козирева, Л. В. Крилик, «Аналіз передумов створення інформаційної системи моніторингу довкілля для покращення стану екосистеми», *Матеріали XLIX науково-технічної конференції факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії*, 2020, с. 884 – 885. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2020_netpub.pdf. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [2] EPI, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://epi.yale.edu/>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [3] Чиста вода, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://texty.org.ua/water/>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [4] Міністерство екології та природних ресурсів України. Інтерактивна мапа, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecomapa.gov.ua/>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [5] RecycleMap, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://recyclemap.org/>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [6] А. А. Козирева, Л. В. Крилик, «Функціональне призначення та структурна організація інформаційної технології візуалізації розташування пунктів переробки сировини та продажу екотоварів», *Матеріали I науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2021): збірник доповідей*, Вінниця: ВНТУ, 2021, с. 561–562. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2021_netpub.pdf. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [7] Java, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Java>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [8] Spring Framework, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Spring_Framework. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [9] JavaScript(JS), 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://y66819tz.beget.tech/javascript-js/>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [10] База даних H2 – Краткое руководство, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://coderlessons.com/tutorials/bazy-dannykh/izuchite-bazu-dannykh-h2/baza-dannykh-h2-kratkoe-rukovodstvo>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.
- [11] H2, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/H2>. Дата звернення: Груд. 05, 2021.

Стаття надійшла: 12.11.2021.

References

- [1] A. A. Kozyreva, L. V. Krylik, «The analysis of prerequisites for information creation environmental monitoring systems for ecosystem improvement», *The XLIX Scientific Technical Conference of the Faculty of Information Technology and Computer Engineering Materials*, 2020, p. 884 – 885. [Online]. Available: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2020_netpub.pdf. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [2] EPI, 2021. [Online]. Available: <https://epi.yale.edu/>. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [3] Clear Water, 2021. [Online]. Available: <https://texty.org.ua/water/>. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [4] Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Interactive map, 2021. [Online]. Available: <https://ecomapa.gov.ua/>. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [5] RecycleMap, 2021. [Online]. Available: <https://recyclemap.org/>. Accessed on: December 05, 2021.
- [6] A. A. Kozyreva, L. V. Krylik, «Functional purpose and structural organization of information technologies for visualization of location of raw materials processing and sale of ecoproducts», *Proceed-*

ings of the L scientific and technical conference of Vinnytsia National Technical University (STCU VNTU-2021): collection of reports, Vinnytsia: VNTU, 2021, p. 561–562. [Online]. Available: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2021_netpub.pdf. Accessed on: December. 05, 2021 [in Ukrainian].

- [7] Java, 2021. [Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Java>. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [8] Spring Framework, 2021. [Online]. Available: https://uk.wikipedia.org/wiki/Spring_Framework. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [9] JavaScript(JS), 2021. [Online]. Available: <http://y66819tz.beget.tech/javascript-js/>. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [10] Database H2 – A quick guide, 2021. [Online]. Available: <https://coderlessons.com/tutorials/bazy-dannykh/izuchite-bazu-dannykh-h2/baza-dannykh-h2-kratkoe-rukovodstvo>. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].
- [11] H2, 2021. [Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/H2>. Accessed on: December 05, 2021 [in Ukrainian].

Відомості про авторів

Крилик Людмила Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук.

Яровий Андрій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук.

Козирева Анжеліка Андріївна – студентка групи 2КН-20м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Л. В. Крылик, А. А. Яровой, А. А. Козырева

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАСПОЛОЖЕНИ ПУНКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРСЫРЬЯ И ПРОДАЖИ ЭКОТОВАРОВ

Винницкий Национальный Технический Университет, Винница

L. Krylik, A. Yarovyi, A. Kozyreva

PECULARITIES OF DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM OF VISUALIZATION OF LOCATION OF RECYCLING POINTS AND SALE OF ECO GOODS

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

УДК 004.652.8:621

О. Є. Скворчевський

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ БАЗ ДАНИХ ЗРАЗКІВ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНОБУДІВНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ БАЗОВОЇ МОДЕЛІ ДАНИХ NATO CALS

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Анотація. Необхідність розвитку високотехнологічного машинобудування в Україні вимагає впровадження інформаційних технологій на всіх етапах життєвих циклів машинобудівної продукції. Це вимагає впровадження концепції Continuous Acquisition and Life-cycle Support (CALS), яка давно використовується в технологічно розвинених країнах для вищезазначених цілей. Збір та обробка даних, які генерує зразок високотехнологічної машинобудівної продукції, буде корисним для зменшення витрат при експлуатації, збільшення строку служби, підвищення швидкості організації ремонтних робіт, оптимізації за різними критеріями модернізації зразка високотехнологічної машинобудівної продукції, сприяє розробці нових аналогічних зразків машинобудівних виробів тощо.

Метою статті є визначення наукових основ використання базової моделі даних NATO CALS для побудови баз даних зразків високотехнологічної машинобудівної продукції, зокрема зразків озброєння та військової техніки. Поставлена мета досягається шляхом співставлення рекомендацій з керівних документів NATO та українських можливостей побудови інформаційних систем підприємствами машинобудівної галузі та експлуатантами їх продукції. Показано, що основні теоретичні підходи для побудови моделей даних зразків високотехнологічної машинобудівної продукції, наведені в керівних документах NATO з CALS-технологій та систем, є актуальними. Однак потрібні більш сучасні та доступні інструменти для побудови моделей даних та моделей баз даних, причому принципи семантичної розбивки продукту та виділення сутностей, зв'язків та атрибутів можуть бути взяті із керівних документів NATO практично без доповнень. У якості перспектив подальших досліджень пропонується провести порівняльний аналіз нотацій, мов моделювання та програмних продуктів, які їх реалізують для моделювання даних високотехнологічної машинобудівної продукції.

Ключові слова: CALS-концепція, модель даних NATO CALS, база даних, ER-діаграма, мова моделювання, PostgreSQL, семантична розбивка.

Анотация. Необходимость развития високотехнологичного машиностроения в Украине требует введения информационных технологий на всех этапах жизненных циклов машиностроительной продукции. Это требует внедрения концепции Continuous Acquisition and Life-cycle Support (CALS), давно используемой в технологически развитых странах для вышеуказанных целей. Сбор и обработка данных, генерирующих образец высокотехнологичной машиностроительной продукции, будет полезным для уменьшения затрат при эксплуатации, увеличения срока службы, повышения скорости организации ремонтных работ, оптимизации по разным критериям модернизации образца высокотехнологичной машиностроительной продукции, способствовать разработке новых аналогичных образцов машиностроительных изделий и т.д.

Целью статьи является определение научных основ использования базовой модели данных NATO CALS для построения баз данных образцов высокотехнологичной машиностроительной продукции, в том числе образцов вооружения и военной техники. Поставленная цель достигается путем сопоставления рекомендаций по руководящим документам NATO и украинским возможностям построения информационных систем предприятиями машиностроительной отрасли и эксплуатантами их продукции. Показано, что основные теоретические подходы к построению моделей данных образцов высокотехнологичной машиностроительной продукции, приведенные в руководящих документах NATO по CALS-технологиям и системам, являются актуальными. Однако необходимы более современные и доступные инструменты для построения моделей данных и моделей баз данных, причем принципы семантической разбивки продукта и выделение сущностей, связей и атрибутов могут быть взяты из руководящих документов NATO практически без дополнений. В качестве перспектив дальнейших исследований предлагается провести сравнительный анализ нотаций, языков моделирования и программных продуктов, реализуемых для моделирования данных высокотехнологичной машиностроительной продукции.

Ключевые слова: CALS-концепция, модель данных NATO CALS, база данных, ER-диаграмма, язык моделирования, PostgreSQL, семантическая разбивка.

Abstract. The need for the development of high-tech engineering in Ukraine requires the introduction of information technology at all stages of the life cycle of engineering products. This requires the implementation of the concept of Continuous Acquisition and Life-cycle Support (CALS), which has long been used in technologically advanced countries for the above purposes. Collection and processing of data generated by a sample of high-tech engineering products will be useful to reduce operating costs, increase service life, increase the speed of repair work, optimize according to various criteria of modernization of high-tech engineering products, promote the development of new similar samples of engineering products.

The aim of the article is to determine the scientific basis for using the basic NATO CALS data model to build databases of samples of high-tech engineering products, including samples of weapons and military equipment. This goal is achieved by comparing the recommendations of NATO guidelines and Ukrainian opportunities to build information systems by machine-building enterprises and operators of their products. It is shown that the main theoretical approaches for building models of these samples of high-tech engineering products, given in the NATO guidelines on CALS-technologies and systems, are relevant. However, more modern and accessible tools are needed to build data models and database models, and the principles of semantic product breakdown and identification of entities, links and attributes can be taken from NATO guidelines almost without additions. As prospects for further research, it is proposed to conduct a comparative analysis of notations, modeling languages and software products that implement them for modeling data of high-tech engineering products.

Keywords: CALS-concept, NATO CALS data model, database, ER-diagram, modeling language, PostgreSQL, semantic breakdown.
DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-36-43>.

Вступ

З інтенсивним розвитком технологій великих даних та машинного навчання дані стали не менш цінним активом, ніж матеріальні ресурси. Зразки високотехнологічної машинобудівної продукції, зокре-

ма озброєння та військової техніки, генерують велику кількість даних на усіх етапах своїх життєвих циклів. Збір та обробка цих даних буде корисною для зменшення витрат при експлуатації, збільшення строку служби, підвищення швидкості організації ремонтних робіт, оптимізувати за різними критеріями модернізацію зразка високотехнологічної машинобудівної продукції, сприяти розробці нових аналогічних зразків машинобудівних виробів тощо. Для здійснення збору, зберігання та обробки даних високотехнологічної машинобудівної продукції дуже корисними є ідеї концепції Continuous Acquisition and Life-cycle Support (CALS). CALS-концепція зародилася в США в середині 80-х років XX ст. та зараз активно використовується західними розробниками, виробниками та експлуатантами високотехнологічної машинобудівної продукції. На жаль, в країнах Балтійсько-чорноморського регіону, зокрема в Україні, до цієї концепції тільки починає з'являтися інтерес.

Аналіз останніх досягнень та публікацій в напрямку досліджень

До недавнього часу наукова публікаційна активність в напрямку CALS-концепції в Україні обмежувалася оглядовими статтями [1-3 та ін.]. Лише останні два-три роки в Україні з'являються дослідження наукових основ впровадження CALS-технологій та систем у високотехнологічне машинобудування України.

Так, у статті [4] вивчаються питання організації систем вбудованого контролю зразків озброєння і військової техніки. Ідентифіковані основні причини, що заважають застосуванню CALS систем та технологій до комплексів і систем озброєння виробництва часів СРСР. Описані основні напрямки розвитку систем технічної діагностики. Визначені найбільш доцільні методи діагностичного контролю автоматизованим або автоматичним способом. Підкреслюється, що передача інформації про технічний стан зразків озброєння та військової техніки, що фіксується автоматично засобами діагностичного контролю, є тим зворотнім зв'язком, що пов'язує військові частини з розробниками та виробниками. Показана важливість стандарту [5] для практичного застосування CALS систем та технологій до супроводження життєвих циклів зразків озброєння та військової техніки. Автори статті [4] зробили висновок, що розробка та широке застосування систем автоматизованого контролю та діагностики зразків озброєння та військової техніки дозволить наблизити процеси технічного забезпечення до стандартів, прийнятих у провідних країнах – членах систем колективної безпеки. Показана важливість створення баз даних зразків озброєння та військової техніки.

Незважаючи на високе науково-практичне значення роботи, [4] вона орієнтована на радіолокаційні станції та зенітно-ракетні комплекси. Пропонуються методи діагностики та збору даних для радіоелектронного та радіотехнічного обладнання, в той же час питання діагностики механічних, гідравлічних та пневматичних вузлів та агрегатів залишаються відкритими. Підкреслюється доцільність створення бази даних зразка озброєння та військової техніки, однак конкретні принципи створення такої бази даних не зазначені.

Стаття [6] вивчає підходи до розробки інтегрованої бази даних зразка озброєння (Integrated Weapon System Data Base (IWSDB)). Показано, що найважливішою функцією IWSDB є створення набору електронних технічних документів (electronic technical documentation (ETD)), включаючи інтегративну документацію з роботи і обслуговування (interactive operational and maintenance documentation (IOMD)). Показано, що набір такої документації зазвичай має форму когерентної сукупності електронних публікацій розташований в єдиній базі даних. Структура набору IOMD встановлюється специфікацією ASD S1000D (International Specification For Technical Publications Utilizing A Common Source Database). Наводиться схема для ролі і місця IOMD в життєвому циклі продукту.

Робота [6] безумовно має фундаментальний та інноваційний характер для України та цілому для Балтійсько-чорноморського регіону. Однак, можливо, концепція інтегрованої бази даних зразка озброєння (Integrated Weapon System Data Base (IWSDB)), запропонована в статті [6], не буде повною мірою відповідати викликам Індустрії 4.0 через відсутність модулів для інтерактивної взаємодії із датчиками зразка машинобудівної продукції. Автори [6] не розглянули поняття моделі даних, а вона значною мірою визначає схему бази даних [7-9 та ін.].

В роботах [10-13 та ін.] розглядаються питання пов'язані із впровадженням моделі даних NATO CALS в оборонно-промисловому комплексі і силових структурах України та країн Балтійсько-чорноморського регіону. В статтях [10-13 та ін.] показано, що одним із найважливіших інструментів CALS-концепції менеджменту даних є модель даних NATO CALS (NATO CALS Data Model). Проаналізована модель даних NATO CALS на предмет її впровадження в менеджмент даних високотехнологічного машинобудування України та інших країн Балтійсько-чорноморського регіону. Модель даних NATO CALS аналізувалася за NATO CALS Handbook як основним керуючим документом НАТО із впровадження CALS-концепції, а також іншими допоміжними джерелами. Встановлено, що переваги застосування моделі даних NATO CALS у менеджменті даних високотехнологічного машинобудування дадуть змогу Україні та іншим країнам Балтійсько-чорноморського регіону значно підвищити конкурентоздатність вказаної галузі.

В [10-13 та ін.] показано, що перепони на шляху впровадження CALS-концепції в Україні зокрема моделі даних NATO CALS, зводяться до двох основних причин – розуміння вищим менеджментом машинобудівних підприємств необхідності впровадження інформаційних технологій та практичної відсутності в Україні кадрового забезпечення у сфері CALS технологій та систем. Ці проблеми можуть вирішуватися за рахунок збільшення публікаційної активності в напрямі досліджень для підвищення інтересу наукового співтовариства, менеджменту підприємств та широкої спільноти в Україні та інших країнах Балтійсько-чорноморського регіону до CALS-концепції.

Однак багато питань використання моделі даних NATO CALS (NATO CALS Data Model (NCDM)) при побудові баз даних високотехнологічних машинобудівних виробів залишаються відкритими. Тим більше, що модель даних NATO CALS це не один, а група підходів до відображення семантики даних та побудови діаграм "сутність-зв'язок" (ER-діаграм) для подальшої побудови баз даних високотехнологічних машинобудівних виробів, зокрема зразків озброєння та військової техніки.

Задачею дослідження

Розробка науково-практичних основ впровадження базової моделі NATO CALS для побудови баз даних високотехнологічної машинобудівної продукції, зокрема зразків озброєння та військової техніки.

Аналіз та узагальнення досвіду використання базової моделі NATO CALS для побудови баз даних високотехнологічної машинобудівної продукції

Перш за все відзначимо, що модель даних NATO CALS є не чіткою догмою, а дуже гнучким засобом семантичної розбивки даних, що генерують зразки високотехнологічних машинобудівних виробів протягом своїх життєвих циклів. В першу чергу проаналізуємо інформацію про базову модель даних NATO CALS (CoreModel) наведену в основному керуючому документі NATO із CALS технологій та систем [7]. Її сутність полягає в наступному:

- ідентифікація продукту;
- структура продукту (як продукти використовуються для створення інших продуктів);
- визначення продуктів, включаючи функціональні та інші характеристики.

Найважливішою сутністю при моделюванні даних високотехнологічних машинобудівних виробів є «продукт». Саме за цією сутністю відбувається функціональна розбивка. Як і багато інших принципів, CALS-концепція запозичила поняття «продукт» із стандартів STEP (STandard for Exchange of Product model data) [14 та ін.], де продукт визначається як «річ або речовина, отримана природним шляхом або шляхом виробництва». Таким чином термін «продукт» тут має дуже загальне значення, від дуже складних виробів, до звичайної гайки. NCDM слідує формі STEP і використовує STEP-підхід до визначення структури продукту. Під структурою продукту розуміють спосіб, яким один продукт збирається з інших продуктів. Потім була додана можливість визначати інші характеристики продукту, такі як функціональна або зональна розбивка. Ці додаткові характеристики надалі використовуються для прикріплення пов'язаної інформації. Виходячи з STEP, NCDM слідує ідеї про те, що сутність продукту представляє основна концепція продукту, тобто його ідентичність, а не інформацію, пов'язану із продуктом. Така інформація включає ідентифікацію, будь-які версії, а також будь-яку іншу інформацію, яка визначає характеристики продукту. Це дає відповідну точку для моделювання, як показано на рис. 1.

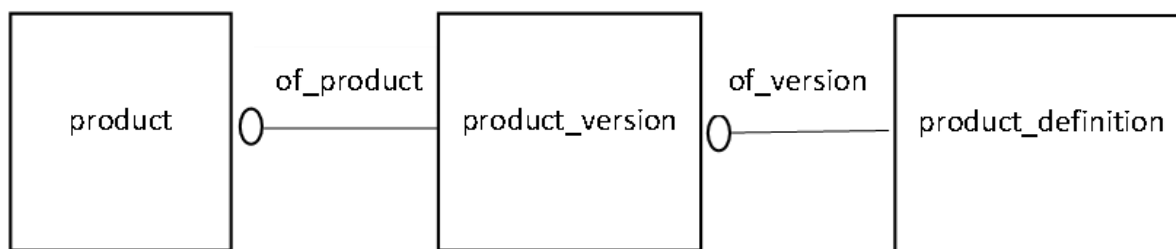


Рисунок 1 – Сутності продукту [7]

Це дозволяє мати декілька версій одного продукту і багато визначень цього продукту. Сутність product_definition розглядається як набір даних, які визначають використання продукту для даної мети. Це дає можливість мати кілька різних визначень продуктів для різних логістичних цілей. NCDM не вимагає наявності одного підходу поверх іншого і не вимагає створення однієї форми раніше іншої. Розглянемо як реалізуються ці принципи розбивки згідно із [7].

Перш за все розглянемо структуру продукту для проектування і виробництва. Джерело [7] взяло цю частину моделі з невеликою кількістю змін з інтегрованих ресурсів STEP (ISO 10303, частини 41 і 44). Основна частина моделі визначає мережу взаємопов'язаних визначень продукту, де визначення збірки пов'язано з визначеннями частин продукту, використовуваних в збірці.

На практиці збірка, як правило, обробляється за допомогою сутності `next_assembly_usage_occurrence`. Це фіксує той факт, що одна частина (або, точніше, `product_definition` для деталі) використовується як компонент у збірці (а точніше `structured_product_definition` (SPD) збірки). Графічно це представлено на рис. 2. Причому `next_assembly_usage_occurrence` (NAUO) є асоціативною сутністю, тобто з'єднує екземпляри сутностей різних типів, а також містить атрибути, характерні для зв'язку між цими сутностями.

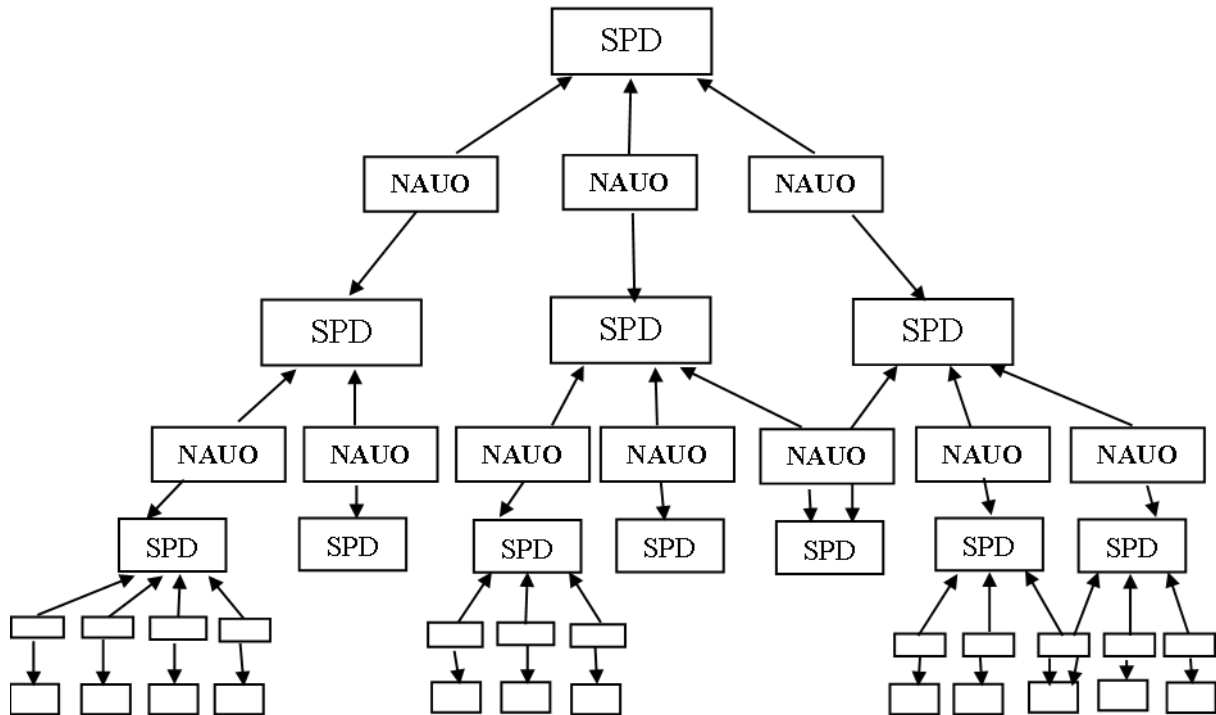


Рисунок 2 – Приклад структури продукту

Атрибут `name` об'єкта `next_assembly_usage_occurrence` повинен використовуватися для зберігання ідентифікатора конкретного місця, де використовується компонент. Це відповідає використанню двох різних `Logistic Support Analysis (LSA) Control Number (LCN)` для роботи, наприклад, з лівим і правим розміщенням насоса, двічі використовуваного в одному і тому ж двигуні. Ця ситуація показана на рис. 2, де два об'єкти `next_assembly_usage_occurrence` вказують на одну і ту ж складову частину.

Також згідно із [7] розглянемо структуру продукту для логістичної розбивки і подальшої побудови моделі даних. Усі вони в визначають ієрархію розбивки та розглядаються в `NCDM` як рівноправні. Відправною точкою розбивки є сутність `breakdown_` (свого роду визначення продукту), яка ідентифікує конкретну розбивку за ім'ям та описом (вони є у всіх визначеннях продукту) і вказує тип розбивки (наприклад, «функціональний»). У `NCDM` допускається ряд стандартних типів і можуть бути вказані додаткові типи. Сутність `breakdown_` також вказує на початкові елементи розбивки. Зазвичай для розбивки з одним коренем буде лише один початковий елемент. Після цього додаткові рівні розбивки задаються за допомогою сутностей `element_relationship`. Принципи такої розбивки виконаної мовою моделювання `EXPRESS-G` показано на рис. 3 [7].

Сутність `breakdown_` має атрибут під назвою «`form`», який використовується для визначення форми логіки, яка застосовується при створенні семантичної розбивки. Для цього передбачено кілька стандартних підходів, а також можливість визначати «нестандартні» форми розбивки. До стандартних форм відносяться наступні: каталожна, функціональна, гібридна, фізична, системна і зональна. Принцип розбивки вказує на критерії, які використовуються інженером з логістики при визначенні елементів в структурі моделі даних. Гібридна форма передбачає комбіновану фізично-функціональну розбивку і не повинна використовуватися для інших комбінацій.

У кожного елемента в розбивці є ідентифікатор. Це позиція в `NCDM`, яку можна використовувати для утримання `LCN`. Існує окрема сутність `element_definition`, на яку посилається сутність `element_`. Це дозволяє використовувати загальне визначення (без дублювання) для двох елементів в різних семантичних розбивках. Таким чином, загальний набір визначень елементів може бути послідовно застосований до кількох розбивок в рамках однієї або декількох систем. Це відповідає використанню стандартизованих логістичних термінів конкретною організацією.

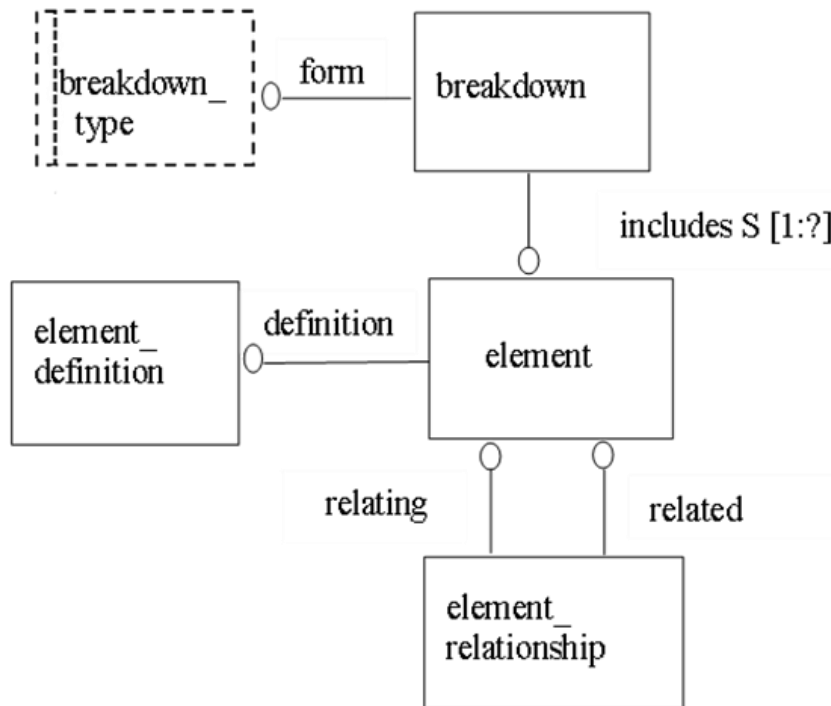


Рисунок 3 – EXPRESS-G of Breakdown [7]

Наявність у кожного визначення елемента необов'язкового атрибуту «form» необхідно при визначенні гібридних розбивок і дозволяє визначити природу даного елемента в розбивці (функціональний або фізичний). Стандартні значення для цих атрибутів наступні:

- фізичний: елемент представляє рівень у фізичній розбивці або фізичну частину в гібридній розбивці;
- функціональний: елемент представляє рівень у функціональній розбивці або функцію в гібридній розбивці;
- зональний: елемент представляє зону в зональній розбивці;
- каталожний: елемент представляє рівень в розбивці каталогу;
- системний: елемент представляє рівень в розбивці системи;
- груповий: елемент визначається як `element_group` [7].

Є два конкретних підтипу сутності `element_`, а саме:

- `element_group` використовується для визначення елемента в розбивці, який є точкою збірки для інших елементів. Це використовується, щоб відобразити логічну структуру рисунків та креслень в каталогах деталей, де креслення використовується для визначення групи деталей.

- `LSA_element` - містить додаткову інформацію про те, чи повинен елемент розглядатися як кандидат для аналізу логістичної підтримки.

Зв'язки між елементами фіксуються за допомогою сутності `element_relationship`. Це також вірно для зв'язків між рівнями відступу в традиційній схемі нумерації LCN. Так в [7] наведено наступний приклад для нумерації LCN :

Таблиця 1– Приклад для нумерації LCN

id	Назва
28	Паливна система
2801	Система зберігання палива
2802	Система нагнітання палива

Між елементом з ідентифікатором 28 і елементом з ідентифікатором 2801 буде явний взаємозв'язок елементів (зверніть увагу, що також є допустимим вказувати ідентифікатор елемента системи зберігання палива 01. Той факт, що система зберігання палива є частиною паливної системи, фіксується явним взаємозв'язком, і тому більше немає необхідності повторювати «28» в ідентифікатор елемента системи зберігання палива.).

У NCDM визначено кілька типів відносин між елементами `element_relationship`. Вони необхідні для визначення різних типів зв'язків, встановлених для розбивок, використовуваних в даний час для логістики, в MIL-STD-1388 LSAR або в розбивках, встановлених для каталогів і посібників.

Дозволені наступні типи відносин між елементами:

- `alternate_element_relationship`: два елементи на одному рівні розбивки чергуються один з одним;
- `element_equivalence_relationship`: два елементи еквівалентні один одному;
- `sub_element_relationship`: один елемент є піделементом іншого. (Цей тип, який використовується для відображення нового рівня відступу в структурі LCN.);
 - `element_conversion_factor`: використовується для визначення того, як узагальнюються значення, пов'язані з елементом (наприклад коли визначається річне використання);
 - `element_group_membership`: використовується, щоб показати, що елемент включений в групу елементів. (аналог того, що деталь включена у збірочне креслення);
 - `element_group_relationship`: використовується, щоб показати, що дві `element_group` (креслення) пов'язані [7].

Вище були розглянуті можливості використання в NCDM двох різних типів семантичної розбивки високотехнологічного машинобудівного продукту. Один з підходів використовує стандарти групи STEP для явного визначення співвідношення збірки та її частин. Тут визначення продукту для будь-якої зібраної деталі стає мережею пов'язаних визначень інших продуктів (її частин). Цей підхід, як правило, використовується на етапі проектування та виробництва високотехнологічного машинобудівного виробу. Інший підхід до визначення продукту поширений в логістиці, тобто на етапі експлуатації високотехнологічного машинобудівного виробу. Тут використовується розбивка, яка застосовується до продукту/системи і всіх її складових частин/функцій в цілому і в основу якої покладені дещо інші принципи: функціональний, каталожний, фізичний тощо. NCDM не вимагає наявності одного типу розбивки поверх іншого і не вимагає створення однієї форми раніше іншої [7].

Висновки та перспективи подальших досліджень

Посібник [7] дає дуже корисні рекомендації по семантичній розбивці високотехнологічного машинобудівного продукту, визначенню сутностей, зв'язків між ними, атрибутів сутностей. Реалізація побудови діаграм "сутність-зв'язок" (ER-діаграм) пропонується здійснювати із використанням стандартної мови моделювання даних про виробництво EXPRESS. Але для використання цієї мови моделювання в Україні та і у інших країнах Балтійсько-чорноморського регіону немає кадрового забезпечення. Це було встановлено в ході аналізу сайтів із пошуку роботи в ІТ секторі. Мотивувати ІТ-спеціалістів вивчати мову моделювання EXPRESS неефективно через ряд причин, а саме неспівставність рівня оплати праці в ІТ-галузі та машинобудуванні України, вузький спектр застосування цієї мови, певний час, необхідний на її опанування. В рамках даної роботи пропонується зберігати принципи моделювання даних запропонованих в [7], як основному керуючому документі NATO, та стандартах групи STEP. Тим більше, що ці принципи можуть бути застосовані для побудови ER-діаграм із використанням інших мов моделювання. У якості перспектив подальших досліджень пропонується провести порівняльний аналіз нотацій, мов моделювання та програмних продуктів, які їх реалізують для моделювання даних високотехнологічної машинобудівної продукції.

У якості системи управління базами даних високотехнологічної машинобудівної продукції пропонується використовувати PostgreSQL, а не ORACLE, як це пропонується в [7]. Таке рішення обумовлено в першу чергу тим, що PostgreSQL системою управління базами даних, що розповсюджується за ліцензією вільного доступу. Вона має широкий функціонал для роботи із даними різної природи, які виникають на усіх етапах життєвого циклу високотехнологічної машинобудівної продукції, зокрема зразків озброєння та військової техніки.

Окрім базової моделі NATO CALS (CoreModel) існує декілька інших принципів моделювання даних в CALS-концепції. Їх вивчення також відноситься до перспектив подальшої наукової роботи із впровадження CALS-концепції в високотехнологічне машинобудування України та інших країн Східної Європи.

Список літератури

- [1] В. В. Воїнов, "Інтегрована логістична підтримка зразків озброєння та військової техніки", *Системи озброєння і військова техніка*, № 1 (37), с. 12–15. 2014.
- [2] О. Є. Скворчевський, "Аналіз зарубіжного досвіду побудови CALS-технологій для управління життєвим циклом озброєння та військової техніки", *Вісник Нац. техн. ун-ту XIII. Економічні науки*, № 48 (1220), с. 75–80. 2016.
- [3] О. Є. Скворчевський, "CALS-концепція логістичної підтримки життєвого циклу озброєння та військової техніки: національні аспекти впровадження", *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони = Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, № 1 (34), с. 45–52. 2019.

- [4] В. В. Воїнов, М. Б. Бровко, та Д. М. Запара "Автоматизований контроль технічного стану зразка ОВТ, як одна з умов інтеграції до середовища CALS", *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 1, с. 178-181. 2015.
- [5] Ministry of Defence. *Integrated logistic support: Defence Standart 00-60*. Issue 5, 24 May, 2002.
- [6] V. Voinov, G. Kachurovski, A. Shevchenko, and O. Gurin "Creating a database of existing weapon system", у *Актуальні питання розвитку Збройних Сил : зб. наук. пр. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба*, № 3 (57), с. 38–42. 2018.
- [7] NATO CALS handbook, 2000. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.194.9777&rep=rep1&type=pdf>. Дата звернення: Січ. 19, 2020.
- [8] К. Дж. Дейт, *Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems*. Москва, Росія : Вильямс, 2006.
- [9] М. Р. Коголовский, *Перспективные технологии информационных систем*. Москва, Росія : ДМК Пресс ; Компания АйТи, 2003.
- [10] О. Є. Скворчевський, "Перспективи використання моделі даних NATO CALS в інноваційному машинобудуванні країн Балтійсько-чорноморського регіону", *Розвиток транспорту = Transport development*, № 2 (7), с. 73-85. 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/52640>. Дата звернення : Січ. 19, 2020.
- [11] О. Є. Скворчевський, "Модель даних NATO CALS в оборонно-промисловому комплексі та силових структурах України", на *2-ї міжнар. наук.-практ. конф. Комп'ютерні технології і мехатроніка : зб. наук. пр.* Харків, Україна : ХНАДУ, с. 425-428. 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/50727>. Дата звернення : Січ. 19, 2020.
- [12] О. Є. Скворчевський, "NATO CALS Data Model в менеджменті даних наукомісткого машинобудівного виробу", на *3-ї міжнар. наук.-метод. конф. 27 трав. 2021 р. Комп'ютерні технології і мехатроніка = Computer Technology and Mechatronics : зб. наук. пр., О. Я. Ніконов, Ред.* Харків, Україна: ХНАДУ, с. 194–196. 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53261>. Дата звернення : Січ. 19, 2020.
- [13] О. Є. Скворчевський, "Організація моделі даних NATO CALS" на *29-й міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD–2021, [18-20 трав. 2021 р.] : у 5 ч. Ч. 1. Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я = Information technologies : science, engineering, technology, education, health : тези*, Є. І Сокол, Ред. Харків, Україна : Планета-Прінт, с. 118. 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53260>. Дата звернення : Січ. 19, 2020.
- [14] Системи промислової автоматизації та інтеграції. Подання даних щодо виробів та обміну даними. Ч.101. Інтегровані прикладні ресурси. Кресленики (ISO 10303-101:2019, IDT) : ДСТУ ISO 10303-101:2019, Чинний від 2020-01-01 / ДП «УкрНДНЦ». Київ, Україна, 2020.

Стаття надійшла: 23.11.2021.

References

- [1] V. V. Voinov, «Intehrovana lohystychna pidtrymka zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky», *Sistemi ozbroënnâ i vijs'kova tehnikâ*, vyp. 1 (37), s. 12–15. 2014 [in Ukrainian].
- [2] О. Ye. Skvorchevskiy, «Analiz zarubizhnoho dosvidu pobudovy CALS-tekhnologii dlia upravlinnia zhyttievym tsyklom ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky». *Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu "HPİ". Ekonomichni nauky*, vyp. 48 (1220), s. 75–80. 2016 [in Ukrainian].
- [3] О. Ye. Skvorchevskiy, «CALS-kontseptsiia lohystychnoi pidtrymky zhyttievoho tsyклу ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky: natsionalni aspekty vprovadzhennia», *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, vyp. 1 (34), s. 45–52. 2019 [in Ukrainian].
- [4] V. V. Voinov, M. B. Brovko, and D. M. Zapara, «Avtomatyzovanyi kontrol tekhnichnoho stanu zrazka OVT, yak odna z umov intehratsii do seredovyshcha CALS», *Nauka i tehnikâ povitrânih sil zbrojnih sil Ukraïni*, vyp. 1, s. 178-181. 2015 [in Ukrainian].
- [5] Ministry of Defence. *Integrated logistic support: Defence Standart 00-60*. Issue 5, 24 May, 2002.
- [6] V. Voinov, G. Kachurovski, A. Shevchenko, and O. Gurin, "Creating a database of existing weapon system", *Zbîrnik naukovih prac' Harkivs'kogo universitetu povitrânih sil. Kharkiv: Kharkivskiy natsionalnyi universytet Povitrianykh Syl im. Ivana Kozhedub*, vyp. 3 (57), s. 38–42. 2018 [in English].
- [7] NATO CALS handbook. (2000). [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.194.9777&rep=rep1&type=pdf>. (accessed January 07, 2020) [in English].
- [8] K. Dzh. Dejt, *Vvedenie v sistemy baz dannyh. Introduction to Database Systems*. Moskva, Rosija: Vil'jams, 2006 [in Russian].
- [9] M. R. Kogalovskij, *Perspektivnye tehnologii informacionnyh sistem*. Moskva, Rosija: DMK Press; Kompanija AjTi, 2003 [in Russian].

- [10] O. Ye. Skvorchevskiy, «Perspektyvy vykorystannia modeli danykh NATO CALS v innovatsiinomu mashynobuduvanni krain Baltiisko-chornomorskoho rehionu», *Transport development*, vyp. 2(7), s. 73-85. 2020. [Online]. Available: URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/52640> (accessed Jan 17, 2020) [in Ukrainian].
- [11] O. Ye. Skvorchevskiy, «Model danykh NATO CALS v oboronno-promyslovomu kompleksi ta sylovykh strukturakh Ukrainy», *Computer Technology and Mechatronics: zb. nauk. pr. 2-yi mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Kharkiv, Ukraina: KhNADU, s. 425-428. 2020. [Online]. Available: URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/50727> (accessed Jan 19, 2020) [in Ukrainian].
- [12] O. Ye. Skvorchevskiy, «NATO CALS Data Model v menedzhmenti danykh naukomistkoho mashynobudivnoho vyrobu», *Computer Technology and Mechatronics. zb. nauk. pr., O. Ya. Nikonov (red.)*. Kharkiv, Ukraina: KhNADU, s. 194-196. 2021. [Online]. Available: URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53261> (accessed Jan 19, 2020) [in Ukrainian].
- [13] O. Ye. Skvorchevskiy, Orhanizatsiia modeli danykh NATO CALS, 29-y mizhnar. nauk.-prakt. konf. MicroCAD–2021. *Information technologies : science, engineering, technology, education, health: tez, Ye. I Sokol (red.)*. Kharkiv, Ukraina: Planeta-Print, s. 118. 2021. [Online]. Available: URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53260> (accessed Jan 19, 2020) [in Ukrainian].
- [14] Ukrainian Research and Training Center of Standardization, Certification and Quality. (2020). *Systemy promyslovoi avtomatyzatsii ta intehratsii. Podannia danykh shchodo vyrobiv ta obminu danymy. Chastyna 101. Intehrovani prykladni resursy. Kreslenyky. (ISO 10303-101:2019, IDT) : DSTU ISO 10303-101:2019, Chynnyi vid 2020-01-01 Kyiv, Ukraina, 2020* [in Ukrainian].

Відомості про автора

Скворчевський Олександр Євгенович – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин імені О. О. Морозова.

А. Е. Скворчевский

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ NATO CALS

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков

A. Y. Skvorchevsky

STUDY OF THE PRINCIPLES OF BUILDING DATABASES OF HIGH-TECH MACHINE-BUILDING PRODUCTS BASED ON THE BASIC NATO CALS DATABASE MODEL

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv

УДК 004.5 (045)

В. О. Яковенко, Ю. В. Ульяновська, Т. Ю. Яковенко, Т. А. Чупілко

АДАПТАЦІЯ ПРИНЦИПІВ AGILE МЕТОДОЛОГІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАСТОНКУ

Університет митної справи та фінансів, Дніпро

Анотація. В роботі описано використання деяких принципів Agile методології та SCRUM фреймворку для управління реальним проєктом, який має свою специфіку та особливості. Розглянуті процеси, що мають зв'язок з проєктним менеджментом: проєктування логіки та архітектури додатку, організація роботи з кодом та ресурсами додатку командою з розробки. Досліджуваний проєкт є навчальним 3D додатком в ігровій формі, що являє симулятор роботи митного поста. Даний проєкт побудований на базі Unreal Engine 4 та використовує Git як систему контролю версій для командної роботи. Визначено, що успішність застосування принципів гнучкої методології істотно залежить від коректності виконання початкового етапу (проєктування архітектури та логіки додатку) та адекватного до принципів методології розподілу задач на підзадачі. Розроблена архітектура повинна бути гнучкою. Вона має передбачати можливість змін або розширення функціональності розроблюваного програмного продукту без внесення змін до вже розробленої частини програмного продукту та без радикальних змін самої архітектури. Результати даного дослідження можуть бути використані для розробки методології проєктування архітектури та логіки програмного забезпечення, що розроблятиметься за використання Agile методології. Застосування гнучкої методології для управління проєктами розробки програмних продуктів порівняно з методологією водоспаду дозволяє скоротити час розробки до 10-12 разів та витрати на виправлення помилок (багів) до 20 разів.

Ключові слова: методологія Agile, управління проєктом, розробка додатку, адаптація SCRUM фреймворку.

Аннотация. В работе описано использование некоторых принципов Agile методологии и SCRUM фреймворка для управления реальным проектом, который имеет свою специфику и особенности. Рассмотрены процессы, имеющие связь с проектным менеджментом: проектирование логики и архитектуры приложения, организация работы с кодом и ресурсами приложения командой по разработке. Исследуемый проект является учебным 3D приложением в игровой форме и представляет собой симулятор работы таможенного поста. Данный проект построен на базе Unreal Engine 4 и использует Git как систему контроля версий для командной работы. Agile методология имеет весомые преимущества в современных условиях постоянных и быстрых изменений технологий и потребностей пользователей относительно управления проектами разработки программных продуктов. Но ее применение требует адаптации к особенностям проекта, что определяет актуальность данного исследования. Определено, что успешность применения принципов гибкой методологии значимо зависит от корректности выполнения начального этапа (проектирование архитектуры и логики приложения) и адекватного принципам методологии распределения задач на подзадачи. Разработанная архитектура должна быть гибкой. Она должна предусматривать возможность изменения или расширения функциональности разрабатываемого программного продукта без внесения изменений в готовую часть программного продукта и без радикальных изменений самой архитектуры. Результаты данного исследования могут быть использованы для разработки методологии проектирования архитектуры и логики программного обеспечения, которое будет разрабатываться с использованием Agile методологии. Применение гибкой методологии для управления проектами разработки программных продуктов по сравнению с методологией водопада позволяет сократить время разработки до 10-12 раз и затраты на исправление ошибок (багов) до 20 раз.

Ключевые слова: методологии Agile, управление проектом, разработка приложения, адаптация SCRUM фреймворка.

Abstract. The article describes the use of some principles of Agile methodology and SCRUM framework for managing a real project, which has its own specifics and features. The processes related to project management are considered: designing the logic and architecture of the application, organizing work with the code and resources of the application by the development team. The investigated project is a 3D educational application in a game form and is a simulator of the work of a customs post. This project is built on the basis of Unreal Engine 4 and uses Git as a version control system for team work.

Agile methodology has significant advantages in today's conditions of constant and rapid changes in technology and user needs regarding project management of software development. But its application requires adaptation to the specifics of the project, which determines the relevance of this study.

It has been determined that the success of the application of the principles of the agile methodology significantly depends on the correctness of the initial stage (design of the architecture and application logic) and the methodology that is adequate to the principles of distributing tasks into subtasks. The designed architecture must be flexible. It should provide for the possibility of changing or expanding the functionality of the developed software product without making changes to the finished part of the software product and without radical changes in the architecture itself.

The results of this study can be used to develop a methodology for the design of architecture and software logic, which will be developed using the Agile methodology. The use of an agile methodology for managing software development projects in comparison with the waterfall methodology can reduce development time by up to 10-12 times and the cost of fixing errors (bugs) by up to 20 times.

Key words: agile methodology, project management, application development, adaptation of SCRUM framework.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-44-52>.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, масове впровадження автоматизацій процесів спричинили значне зростання попиту на розробку програмних продуктів. Конкурентна боротьба серед компаній вимагає чіткого дотримання термінів розробки. На противагу цьому, зростання складності процесів, що підлягають алгоритмізації, необхідність пошуку інноваційних шляхів вирішення поставлених задач, оптимізації розроблюваних програмних продуктів, тощо часто спричиняють затримки термінів виконання. Зазначене протиріччя між необхідністю дотримання дисципліни та створення комфортних умов для інновацій викликало появу нових методів управління проєктами з розробки програмного забезпечення, коли традиційні методи менеджменту стали неефективними.

В. О. Яковенко, Ю. В. Ульяновська, Т. Ю. Яковенко, Т. А. Чупілко, 2021

Необхідність зміни методології була спричинена початком розробки інтернет-додатків. З'явилася необхідність виводити на ринок якнайшвидше веб-сайти, додатки та нові можливості. Швидко змінювалися інструменти та платформи розробки. Через ці зміни з'явилися спроби пошуку більш ефективної методології управління проектами розробки програмного забезпечення. Конкуренція на ринку викликала потребу враховувати відгуки користувачів, що було неможливо за використання старої методології.

Agile-розробка програмного забезпечення заохочує гнучке реагування на зміни та приділяє особливу увагу чотирьом основним цінностям: люди та командна взаємодія має перевагу над процесами та інструментами; працездатне програмне забезпечення має перевагу над вичерпною документацією; співпраця із замовником має перевагу перед обговоренням умов контракту; готовність до змін важливіша за дотримання плану [1].

Такий підхід до управління проектами з розробки програмного забезпечення дозволяє швидко реагувати на зміни та завершувати розробку у найкоротші терміни, що надзвичайно актуально в сучасних умовах постійних та швидких змін технологій та потреб користувачів. Проте застосування гнучкої методології до управління проектами розробки програмного забезпечення потребує її адаптації до особливостей проекту. Актуальним у зв'язку з цим є дослідження принципів адаптації нових методів до управління проектами з розробки програмного забезпечення з урахуванням їх особливостей.

Актуальність

Agile-методологія – це практика, що сприяє неперервній ітерації розробки та тестування протягом всього життєвого циклу проекту з розробки програмного забезпечення. Відповідно до цієї методології, розробка програмного продукту, тестування та доопрацювання виконуються одночасно на відміну від водоспадної методології, де ці етапи відбувалися послідовно.

У роботі [1] проаналізовані фактори, що є визначальними для успішності у сучасному світі інформаційних технологій. Було визначено, що успіх розроблюваного проекту, а, відповідно, і бізнесу, пов'язаного з ним, значною мірою залежить від способу управління проектом, ефективної організації робочих процесів, використання сучасних інструментів розробки. На думку авторів роботи [1], одним з визначальних факторів є методологія управління проектом. Аналогічну думку висловлюють автор роботи [2], де зазначено, що саме вірно обрана методологія управління проектом дозволяє успішно реалізувати проект, уникаючи негативного впливу інших факторів. У роботі [3] висловлена думка, що вірно обрана методологія управління процесом реалізації проекту дозволяє з максимальною ефективністю організувати роботу команди. Завдяки цьому можна врахувати всі особливості проекту як з метою уникнення негативних наслідків, так і з метою отримання всіх можливих переваг. Але залишилося невирішеним питання, чим саме слід керуватися при виборі методології проекту.

В роботі [4] зазначено, що всі проекти різні, кожен має свої особливості і тому не існує єдиної ідеальної системи управління проектами, що підходить для кожного з видів проектів. В роботі [5] проблема вибору методології проаналізована з позиції кадрів. Висловлено думку, що не існує системи управління, яка б підходила кожному керівнику і була зручна для всіх членів команди.

За час існування проектного управління було створено чимало ефективних підходів, методів і стандартів, які можна взяти на озброєння. Існують різні моделі та методології для організації життєвого циклу розробки продукту (Software Development Life Circle – SDLC), управління проектом та процесами, які в ньому проходять. Відповідно до даних роботи [6], найбільш поширеною практикою є застосування принципів Agile методології, її фреймворків, таких як SCRUM або Kanban. Інформація наведена у щорічному звіті «State of Agile» підтверджує факт росту використання Agile методології у різних регіонах світу, різними типами організацій, різними видами індустрій [7]. Автори роботи [8] зазначають, що темпи розповсюдження Agile методології пояснюються тим, що вона може бути легко адаптована до проектів різних галузей. Крім того, Agile методологія дозволяє покращити цілий ряд характеристик: зменшити ризики; ефективніше використовувати бюджет; отримувати результати за короткі строки; мати постійну можливість вносити зміни та оновлювати вимоги; отримувати більш якісні і протестовані продукти; неперервно покращувати робочі процеси; адаптуватися до змін, мати прозорий робочий процес; організовано зберігати і використовувати ресурси проекту; налаштувати ефективну командну роботу та комунікацію.

Часто проекти можуть мати свою унікальну специфіку, тому застосування Agile фреймворків у цьому вигляді може бути неефективним або неможливим для них. Agile фреймворки пропонують лише рекомендовану схему побудови управління проектом і організації робочих процесів.

В той же час, однією з ключових властивостей Agile методології є адаптивність. Отримати ефективну схему управління проектом і організації робочих процесів, можна взяти за основу один з Agile фреймворків з його принципами та здійснити ряд змін та покращень з урахуванням специфіки проекту. Таким чином, результатом стане гнучка схема управління, що враховує нюанси предметної області проекту, яка дозволить ефективно керувати процесами, отримувати максимальні результати, користуватись перевагами, які приносить Agile методологія.

Agile методологія може застосовуватись для організації проєктів у різних індустріях. Так, принципи Agile методології можуть бути використані для менеджменту науковими проєктами. У праці [6] описуються умови за яких SCRUM фреймворк може бути успішно реалізований для управління проєктами даного напрямку. Результати даного дослідження ґрунтуються на даних, отриманих під час опитувань та інтерв'ю науковців, які спробували використовувати Scrum для організації своїх робочих процесів. Також Agile методологію використовують в галузі з розробки ігрових додатків, беручи до уваги схожі та відмінні характеристики, порівнюючи розробку ігрових додатків та програмного забезпечення [8]. Під час розробки ігрового додатку з використанням Agile як методології розробки важливими є планування ітерацій (sprints planning), відгуки та зворотній зв'язок (feedbacks). Відповідно до праці [9], підвищення якості кінцевого продукту може бути досягнуте за рахунок правильно організованих процесів з використанням Agile методології та SCRUM фреймворку.

Таким чином, актуальною задачею є дослідження особливостей адаптації принципів Agile методології для управління проєктами.

Мета

Метою роботи є дослідження особливостей адаптації принципів Agile методології для управління проєктами. Це дасть можливість розробити методологію адаптації принципів Agile до особливостей проєктів.

Задачі

1. Дослідити досвід використання деяких принципів Agile методології та SCRUM фреймворку для управління реальним проєктом створення додатку.
2. Проаналізувати особливості організації процесів, що тісно пов'язані з проєктним менеджментом за використання принципів Agile методології/

Розв'язання задач

Використання принципів Agile методології та SCRUM фреймворку для управління проєктом створення додатку

Досліджуваний проєкт є навчальним 3D додатком в ігровій формі, що являє симулятор роботи митного поста. Користувач зможе поринути в процеси, які відбуваються під час митного оформлення та контролю в ігровій формі та з якісною графікою (рис 1). Корисним даний симулятор буде як для студентів, так і для працівників митної служби. Використовуючи даний ігровий симулятор вони зможуть отримати досвід і розуміння роботи митного поста.



Рисунок 1 – Демонстрація ігрового додатку. Митний ангар в якому проводиться митний огляд транспортних засобів

Розглянемо управління проєктом і організацію робочих процесів. За основу було взято SCRUM фреймворк, але в спрощеній формі відповідно до потреб і специфіки проєкту. Структура SCRUM фреймворку наголошує, що для успішного використання фреймворку повинні бути наявні певні ролі, артефакти, події [11, 12]. Команда з розробки (Development Team) складалась з 6 учасників і була крос-функціональною, як і вимагає SCRUM. Під крос-функціональністю мається на увазі спроможність членів команди виконувати різні види роботи: створення дизайну, участь у плануванні, виконання задач з розробки та тестування, тощо. Ролі власника продукту (Product Owner) та SCRUM майстра (Scrum Master) виконували відповідні учасники команди з розробки.

Під час робочого процесу проводились такі події та заходи, як: Спринт (Sprint) або ітерація (Iteration), уточнення вимог (Refinement), щоденна SCRUM зустріч (Daily Scrum Meeting) – проводилась факультативно і зазвичай в онлайн режимі, тому що роботою займалась розподілена за різними локаціями команда, SCRUM огляд (SCRUM Review), ретроспектива (Retrospective). Важливим артефактом, який не був описаний вище, є SCRUM дошка (SCRUM Dashboard). Ключові властивості, які має SCRUM Dashboard, є такими: зберігає і відображає «Product Backlog»; зберігає і відображає «Sprint Backlogs»; відображає виконавця, статус кожної з задач; доступна і прозора репрезентація робочих процесів для власника продукту, замовників, SCRUM майстра і команди з розробки.

Розглянемо організацію робочого процесу та схему роботи «SCRUM Dashboard» в описуваному проєкті. Схема, зображена на рис. 2, відображає типи задач (Work items), які розміщуються на дошці, зв'язки між ними, а також додаткові статуси, які можуть мати задачі. В проєкті були використані такі типи задач: ідея (Idea), історія (Story), задача (Task), Баг (Bug).

Додаткові статуси задач: критична задача (Critical), перешкода (Blocker).

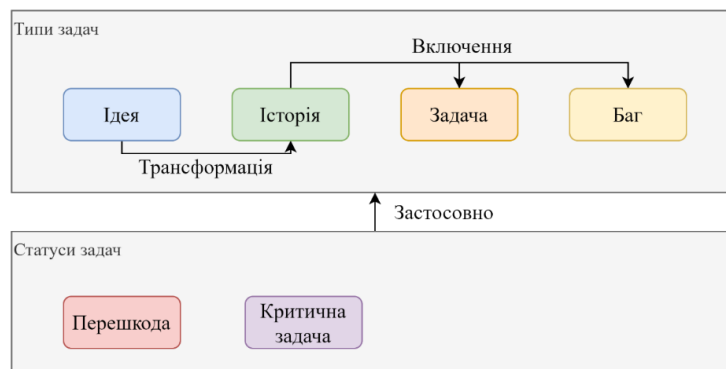


Рисунок 2 – Типи задач на SCRUM дошці, зв'язки і додаткові статуси

Схема на рис. 3 описує елементи, які включаються до різних типів задач. До задач можуть бути прикріплені додаткові файли, необхідні для виконання задач. Також можуть вказуватися елементи системи контролю версій Git. «Story» включає в себе лист критеріїв (Acceptance Criteria), за виконання і дотримання яких вона може вважатися завершеною. «Tasks», «Bugs» включають перелік під-задач, які є пунктами, що визначають у зручному форматі кроки, котрі потрібно пройти для того, щоб завершити задачу.



Рисунок 3 – Елементи, які включають у себе різні типи задач (Work Items)

На схемі, зображеній на рис. 4, відображено принцип роботи «SCRUM Dashboard» та організації робочого процесу.

Нові «Ideas», «Stories» потрапляють у колонку «Backlog». Під час планування визначаються «Stories», які взяті у наступний «Sprint». «Stories» декомпонуються на «Tasks», уточнюються, закріплюються за виконавцем і потрапляють до колонки «Current Sprint». Коли виконавець бере задачу у роботу, вона переміщується до колонки «In-Action». Коли задача виконана, вона переходить до колонки «Review». Після того, як лідер (Tech Lead) команди перевірить виконану роботу, задача потрапляє в ко-

лонку «Done» – у випадку, якщо не знайдено помилок або дефектів. Якщо знайдено помилки або дефекти, задача переміщується до колонки «Test or Fix». Після роботи над усуненням помилок відбувається повторний огляд лідером команди. Більш серйозна за масштабом помилка або помилка, виявлена в будь-якій частині функціоналу поза фазою «Review», розміщується як «Bug» відповідної «Story». У кінці кожної ітерації після «Sprint Review», що включає демонстрацію, виконані протягом ітерації задачі переміщуються і зберігаються у окремому листі на дошці. Ці листи можуть бути приховані і відображені знову за потреби.

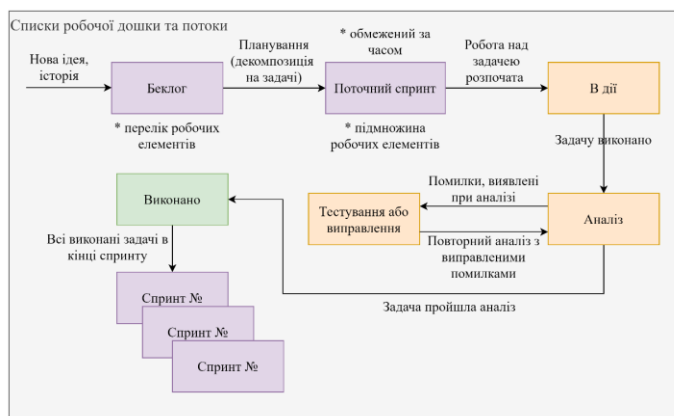


Рисунок 4 – Діаграма робочого процесу і принципу роботи SCRUM дошки (Workflow diagram)

В якості інструменту для організації робочого процесу відповідно до Agile SCRUM фреймворку використовувався сервіс «Trello». Зазначений сервіс має зручну дошку, дозволяє визначати вимоги до задач, визначати перелік можливих статусів задач, змінювати їх статус, прикріплювати результат виконання задачі, залишати коментарі для виконавців щодо виявлених помилок, тощо.

Правильна організація зберігання коду і ресурсів додатку, а також робота з ними командою з розробки є важливим аспектом робочого процесу і забезпеченням прозорого відображення результатів розробки. Використання системи контролю версій тісно пов'язано з описаними Agile принципами. В даному проекті в якості системи контролю версій використовувався Git та сервіс GitHub для зберігання репозиторію ігрового додатку. Дані інструменти є безкоштовними, доступними, добре документованими, допомагають організувати командну роботу над кодом та ресурсами додатку, а також можуть бути інтегровані з Unreal Engine та Trello.

Ключовими елементами Git репозиторію є гілка (branch) та коміт (commit). Гілки створюються в ієрархічному порядку одна від одної і зберігають історію змін у вигляді комітів. Коміт являє собою зафіксовані зміни у коді. При створенні гілки, нова гілка включає повну історію змін гілки, з якої вона була створена. Код з однієї гілки може бути влитий до іншої на певному етапі розробки. Тобто технічна реалізація кожної задачі ведеться на незалежній гілці, одним з учасників команди з розробки. Коли технічна реалізація завершена, протестована і оглянута, гілка вливається до батьківської гілки.

Командна робота з використанням Git потребує встановлення єдиної схеми і правил користування системою контролю версій. Тому перед початком застосування Git було сформовано дві схеми, які описують структуру і організацію репозиторію. Схема GitFlow, зображена на рис. 5, відображає організацію гілок репозиторію, на яких ведеться розробка: master, dev, release, feature.

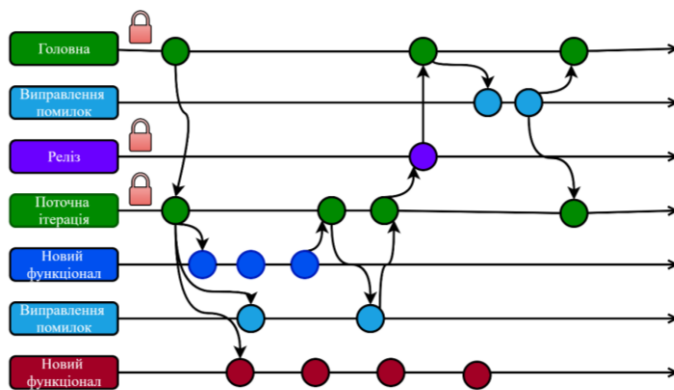


Рисунок 5 – Схема GitFlow

На рис. 6 відображено, за якою структурою організовано зберігання гілок репозиторію, а також правила іменування гілок. Наприклад, feature-гілки зберігаються у виділеній директорії, а до їх назви включається індекс «Story» або «Task» з Scrum-дошки і безпосередньо коротка назва, яка описує розроблений функціонал на даній гілці (наприклад features/s01-t1-game-score-implementation). В свою чергу формування назви «release» гілки подібно до прикладу формування feature-гілки, але передбачає також включення індексу релізу (наприклад releases/1.0.0-two-game-modes).

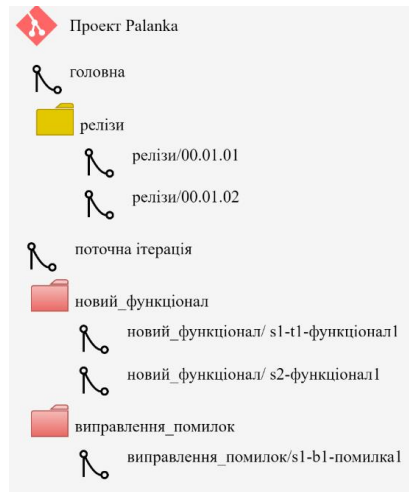


Рисунок 6 – Схема GitFlow

Також слід підкреслити переваги інтеграції GitHub і Trello. До карток задач в Trello можуть бути включені посилання на гілки, коміти, а також посилання на події вливання однієї гілки до іншої (pull requests). Досягається описана інтеграція шляхом встановлення розширення для Trello. За рахунок розширень функціональність і можливості використання даного інструменту значно зростають. Інтеграція системи контролю версій і Scrum дошки створюють єдину екосистему, коли ключові артефакти розробки зберігаються в одному місці, завжди зафіксовані і доступні. Це, безперечно, є важливим для ефективної командної роботи і управління робочими процесами, адже і учасники команди з розробки, і замовники отримують чітке розуміння статусу виконання робіт і прогресу розробки продукту.

Результати аналізу особливостей організації процесів за використання принципів Agile методології

Розробка будь-якого програмного продукту починається з проектування архітектури та логіки додатку. Використання принципів Agile методології означає, що процес розробки є гнучким та адаптивним. Вимоги до розроблюваного додатку можуть змінюватись в процесі роботи, архітектура може бути переглянута, розширена або оновлена. Перший крок проектування – збирання вимог від замовників ігрового додатку і формування документу, який включає ці вимоги. Другий крок – аналіз даних вимог і створення діаграм, які описують логіку розроблюваного ігрового додатку. Третій крок передбачає виділення задач для команди з розробки на основі результатів попередніх двох кроків. Четвертим кроком є впровадження принципів Agile методології, а саме SCRUM фреймворку, для організації процесу розробки. Описані кроки відображені на рис. 7.

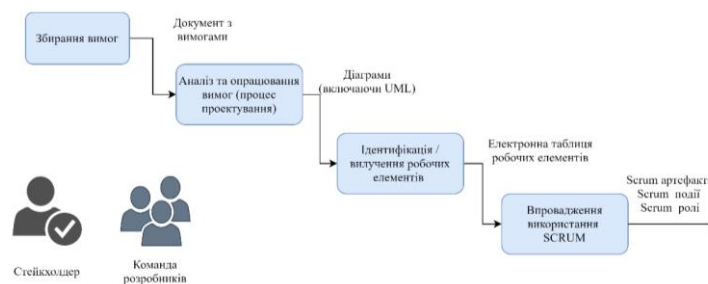


Рис. 7. Збір вимог, процес проектування і введення SCRUM фреймворку

Розглянемо UML діаграми створені в процесі проектування. На рис. 8 відображена діаграма варіантів використання розроблюваного додатку. Вона відображає цільових користувачів і варіанти викорис-

тання ігрового додатку. До цільових користувачів додатку відносяться студенти, які навчаються митній справі та співробітники митниці, які не працюють безпосередньо на митних постах і пунктах пропуску.

Заплановані варіанти використання додатку: ознайомлення зі змістом митної декларації, її реквізитами, значеннями, які можуть в них вноситись; ознайомлення з інфраструктурою митного посту, шляхом відтворення митного посту за допомогою засобів 3D моделювання; ознайомлення з режимами митного огляду транспортних засобів та їх етапами; демонстрація використання системи «Rapiscan» для перевірки вантажу транспортних засобів [10]; оцінка знань користувачів додатку після ознайомлення з матеріалом.

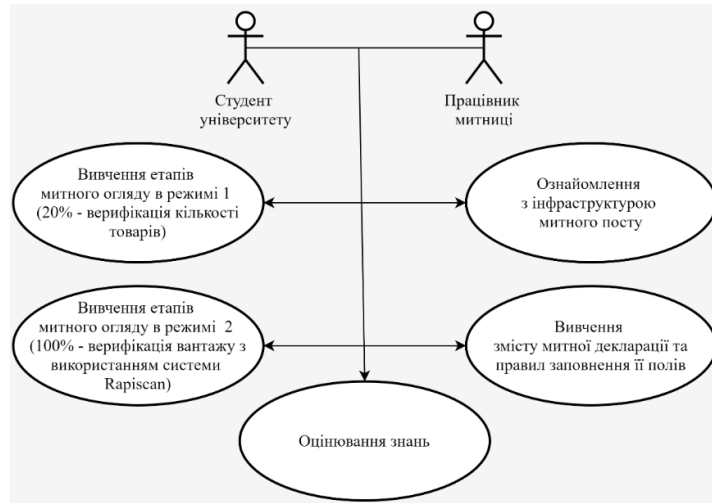


Рисунок 8 – UML діаграма варіантів використання

UML діаграми, представлені на рис. 9 описують логіку ігрових режимів, що розроблювались. На цих діаграмах (рис. 9) представлені кроки двох видів митного огляду транспортних засобів.

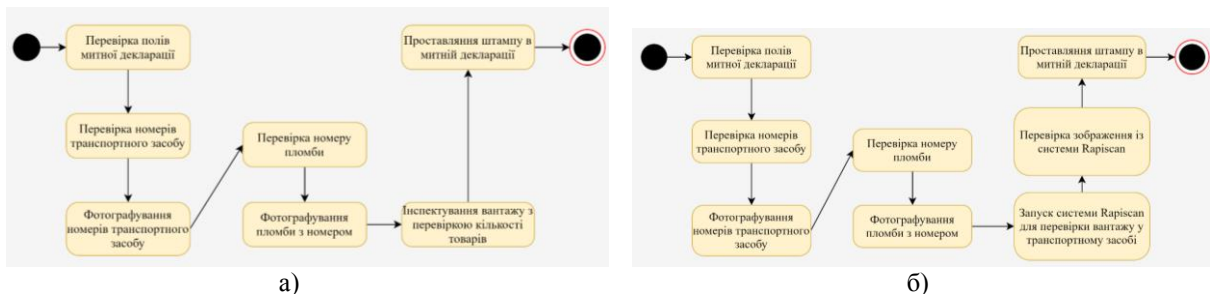


Рисунок 9 – Діаграма станів для ігрового режиму: а) №1 (безпосередня перевірка вантажу транспортного засобу за кількістю товарів), б) №2 (перевірка вантажу транспортного засобу з використанням системи «Rapiscan»)

Кожен з режимів включає наступні кроки: перевірка заповнення митної декларації; перевірка номеру транспортного засобу; фотофіксація номеру транспортного засобу; перевірка номеру пломби на транспортному засобі; фотофіксація номеру пломби на транспортному засобі; внесення штампу до митної декларації.

Ігровий режим, відображений на рис. 4, включає перевірку вантажу транспортного засобу за номерами товарів. Ігровий режим, відображений на рис. 5, включає додатково перевірку вантажу транспортного засобу з використанням системи «Rapiscan» [10].

Висновки

1. Організація робочих процесів відповідно до принципів Agile методології дозволяє досягти прозорості щодо статусу виконання задач, термінів виконання задач, організувати ефективну комунікацію і командну роботу, ефективну систему зберігання коду, ресурсів та артефактів проекту. Застосування гнучкої методології дозволяє забезпечити реалізацію запланованого функціоналу додатку у короткі строки та отримувати результат кожної ітерації, покращувати робочі процеси у наступних ітераціях.

2. Успішність застосування принципів гнучкої методології істотно залежить від коректності виконання початкового етапу (проектування архітектури та логіки додатку). Архітектура та логіка додатку

повинні передбачати можливість доповнення функціональності та внесення змін, які дозволять підвищити конкурентоспроможність готового продукту та задовольнити замовника. Такий підхід гарантує дотримання одного з основних принципів гнучкої методології: готовність до змін важливіша за дотримання початкового плану.

Список літератури

- [1] Н. Рябоконт, Б. Рябоконт, А. Рябоконт, «Впровадження методології Agile: ціннісно орієнтований підхід», *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету*. Серія: Економічні науки, 49, 34-42. 2018. doi.org/10.24025/2306-4420.0.49.2018.136152.
- [2] І. О. Пилипенко, «Підвищення ефективності реалізації проектів в умовах високого рівня невизначеності на прикладі проекту будівництва житлового будинку», *Управління розвитком складних систем*, 14, 72-75. 2013. doi: 10.32347/2412-9933.2013.14.
- [3] R. Hoda, J. Noble, S. Marshall, «Self-organizing roles on agile software development teams», *IEEE Transactions on Software Engineering*, 39(3), 422-444. 2013.
- [4] E. S. Hidalgo, «Management of a multidisciplinary research project: A case study on adopting Agile methods», *Journal of Research Practice*, 14 (1). 2018.
- [5] J. Galvis-Ardila, L. V. Anduquia, H. M. Diez-Silva, «Adopting Communications Management Practices in Project Management: A Preliminary Study in Bogotá, Colombia. In N. Moreno-Monsalve», *Handbook of Research on Project Management Strategies and Tools for Organizational Success*, 339-352. 2020.
- [6] E. S. Hidalgo, «Adapting the scrum framework for agile project management in science: case study of a distributed research initiative», *Heliyon*, 5 (3), 14-47. 2019.
- [7] The 15th State of Agile Report is copyrighted by Digital.ai, 2021. [Online]. Available: <https://stateofagile.com/#ufh-i-661275008-15th-state-of-agile-report/7027494>.
- [8] R. Kortmann, C. Hartevel, «Agile game development: lessons learned from software engineering. Learn to game, game to learn». *National University of Singapore, Singapore, 40th ISAGA Conference*, 29/06/09, 1-11. [Online]. Available: https://web.northeastern.edu/casperhartevel/pubs/Agile_ISAGA2009.pdf
- [9] Jing-Wei Liu, Chia-Yu Ho, Jamie Y.T. Chang & Jacob Chia-An Tsai, «The role of Sprint planning and feedback in game development projects: Implications for game quality», *Journal of Systems and Software*, 2019, 154, 79-91.
- [10] Rapiscan Systems. Cargo & vehicle inspection. [Online]. Available: <https://www.rapiscansystems.com/en/products/category/cargo-and-vehicle-inspection>
- [11] Engstrom, H., Marklund, B. B., Backlund, P. & Toftedahl, M., *Game development from a software and creative product perspective a quantitative literature review approach*. Entertainment Computing, 2018, 10-22.
- [12] Schwaber, K., Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide. The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game* [Online]. Available: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf>.
- [13] Ojiako, G. U., Hamdan, A., & Bashir, H., «Modeling and analyzing interrelationships among project success factors and criteria». *Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Bangkok, Thailand, 2019, March 5-7, 910-917. <http://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/257.pdf>.

Стаття надійшла: 14.11.2021

References

- [1] N. Ryabokon, B. Ryabokon, A. Ryabokon, «Agile methodology: value-oriented approach», *Proceedings of Scientific Works of Cherkasy State Technological University*, Series: Economic Sciences. 49, 34-42. 2018. <https://doi.org/10.24025/2306-4420.0.49.2018.136152>.
- [2] I. O. Pylypenko, «Improving the efficiency of project implementation in conditions of a high level of uncertainty on the example of a residential construction project», *Management of complex systems development*, 14, 72-75. 2013. doi: 10.32347/2412-9933.2013.14.
- [3] R. Hoda, J. Noble, S. Marshall, «Self-organizing roles on agile software development teams», *IEEE Transactions on Software Engineering*, 39(3), 422-444. 2013.
- [4] E. S. Hidalgo, «Management of a multidisciplinary research project: A case study on adopting Agile methods», *Journal of Research Practice*, 14 (1). 2018.
- [5] J. Galvis-Ardila, L. V. Anduquia, H. M. Diez-Silva, «Adopting Communications Management Practices in Project Management: A Preliminary Study in Bogotá, Colombia. In N. Moreno-Monsalve», *Handbook of Research on Project Management Strategies and Tools for Organizational Success*, 339-35. 2020.
- [6] E. S. Hidalgo, «Adapting the scrum framework for agile project management in science: case study of

- a distributed research initiative», *Heliyon*, 5 (3), 14-47. 2019.
- [7] The 15th State of Agile Report is copyrighted by Digital.ai, 2021. [Online]. Available: <https://stateofagile.com/#ufh-i-661275008-15th-state-of-agile-report/7027494>.
- [8] R. Kortmann, C. Hartevelt, «Agile game development: lessons learned from software engineering. Learn to game, game to learn». *National University of Singapore, Singapore, 40th ISAGA Conference*, 29/06/09, 1-11. [Online]. Available: https://web.northeastern.edu/casperhartevelt/pubs/Agile_ISAGA2009.pdf
- [9] Jing-Wei Liu, Chia-Yu Ho, Jamie Y.T. Chang & Jacob Chia-An Tsai, «The role of Sprint planning and feedback in game development projects: Implications for game quality», *Journal of Systems and Software*, 2019, 154, 79-91.
- [10] Rapiscan Systems. Cargo & vehicle inspection. [Online]. Available: <https://www.rapiscansystems.com/en/products/category/cargo-and-vehicle-inspection>
- [11] Engstrom, H., Marklund, B. B., Backlund, P. & Toftedahl, M., *Game development from a software and creative product perspective a quantitative literature review approach*. Entertainment Computing, 2018, 10-22.
- [12] Schwaber, K., Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide. The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game* [Online]. Available: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf>.
- [13] Ojiako, G. U., Hamdan, A., & Bashir, H., «Modeling and analyzing interrelationships among project success factors and criteria». *Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Bangkok, Thailand, 2019, March 5-7, 910-917. <http://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/257.pdf>.

Відомості про авторів

Яковенко Вадим Олександрович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри.

Ульяновська Юлія Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри.

Яковенко Тетяна Юрївна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри.

Чупілко Тетяна Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри.

В. А. Яковенко, Ю. В. Ульяновська, Т. Ю. Яковенко, Т. А. Чупілко

АДАПТАЦІЯ ПРИНЦИПОВ AGILE МЕТОДОЛОГІЇ ДЛЯ УПРАВЛЕННЯ ПРОЕКТОМ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАМНОГО ПРИЛОЖЕННЯ

Університет таможенного дела и финансов, Днепр

V. Yakovenko, Yu. Ulianova, T. Yakovenko, T. Chupilko

ADAPTING THE PRINCIPLES OF AGILE METHODOLOGY TO MANAGE AN APPLICATION DEVELOPMENT PROGRAM PROJECT

University of Customs and Finance, Dnipro

УДК 004.9 : 004.4 : 004.054

А. А. Яровий, Я. В. Іванчук, В. С. Озеранський, В. О. Василевський

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ МУЛЬТИКОМПОНЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. У роботі розглянуто проблематику етапу тестування в процесі життєвого циклу програмного забезпечення. Після проведеного аналізу встановлено актуальність використання систем автоматизованого тестування в процесі реалізації програмних продуктів. На базі цього, описано структуру інформаційної технології автоматизованого тестування та особливості реалізації компонентів програмного інтерфейсу та динамічних аналізаторів. Як результат, змодельовано мультikomпонентну інформаційну технологію автоматизованого тестування, що в максимальній мірі задовольняє потреби користувачів у якісному проведенні процесу модульного тестування.

Ключові слова: інформаційна технологія, моделювання, автоматизоване тестування, модульне тестування, програмне забезпечення.

Аннотация. В работе рассмотрена проблематика этапа тестирования в процессе жизненного цикла программного обеспечения. После проведенного анализа установлена актуальность использования систем автоматизированного тестирования в процессе реализации программных продуктов. На базе этого описана структура информационной технологии автоматизированного тестирования и особенности реализации компонентов программного интерфейса и динамических анализаторов. Как результат смоделирована мультikomпонентная информационная технология автоматизированного тестирования, которая в максимальной степени удовлетворяет потребности пользователей в качественном проведении процесса модульного тестирования.

Ключевые слова: информационная технология, моделирование, автоматизированное тестирование, модульное тестирование, программное обеспечение.

Abstract. This work considers the problems of the software life cycle testing stage. After the analysis, the relevance to use automated testing systems in the implementation of software products was determined. Based on this, the structure of information technology of automated testing and features of the implementation of software interface components and dynamic analyzers are described. As a result, the multicomponent information technology of automated testing is modeled, which satisfies the needs of users in the high-quality implementation of the modular testing process.

Keywords: information technology, modelling, automated testing, modular testing, software.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-53-59>.

Вступ

Незважаючи на покращення засобів реалізації програмного забезпечення, складність та комплексність кінцевих продуктів має неукліну тенденцію збільшуватись щорічно. Відповідно ускладнюється процес підтримки, можливості внесення змін та тестування систем. Якість готового програмного забезпечення значно залежить від якості методів та систем автоматичного тестування, що застосовувались на попередніх етапах. Коректне моделювання, вибір компонентів та визначення особливостей їх розробки є основою якісної реалізації інформаційної технології автоматизованого тестування.

Актуальність

Інститут системних наук в ІВМ встановив, що вартість виправлення критичних проблем значно збільшується із кожним переходом на нову стадію розробки [1]. Вартість виправлення помилки, виявленої після випуску продукту, була в чотири-п'ять разів більшою, ніж та, що виявлена під час етапу розробки, і до 100 разів більше, ніж одна, виявлена на етапі проектування програмного забезпечення.

Також визначено, що лише для економіки США загальні перевитрати пов'язані із недосконалістю програмного забезпечення склали близько 60 мільярдів доларів [2]. Розробники, маючи за мету мінімізувати такі витрати, намагаються застосовувати різні види тестування. Залежно від системи, що розробляється використовуються комбінації різних форм ручного та автоматизованого тестування.

Натепер, одним з найпоширеніших підходів у автоматизованому тестуванні є модульний, що базується на ідеї написання невеликих тестових методів, котрі реалізують перевірку невеликих ізольованих елементів системи (окремих функцій) на правильність виконання. Цей метод дає можливість визначити значну кількість помилок на ранніх стадіях розробки, і надалі значно прискорити процес регресійного тестування при внесенні змін в існуючий код, оскільки великі обсяги програмного коду тестуються автоматично [3].

Для реалізації модулів автоматизованого тестування розробникам необхідно використати програмну систему (фреймворк, бібліотеку) модульного тестування. Вони різняться наявністю різноманітного функціоналу, методом організації та проведення тестування, тому важливо правильно вибрати ту технологію, котра найповніше виконає усі вимоги до процесу автоматичного тестування.

Сучасні технології модульного тестування містять ряд допоміжних функцій, що дозволяють їх користувачам краще застосовувати засоби автоматизованого тестування [4]. Проте, як правило системи аналізу та виконання бібліотек є незадовільними і не розкривають всю повноту статичного та динамічного опрацювання тестових модулів, а тому застосовуються для більш загальних випадків. Саме тому мо-

делювання інформаційної технології автоматизованого тестування з використанням засобів динамічного аналізу є актуальною задачею.

Мета

Метою дослідження є моделювання мультикомпонентної інформаційної технології автоматизованого тестування, розробка структури та виявлення особливостей реалізації її компонентів.

Задачі

1. Виконати моделювання структури мультикомпонентної інформаційної технології автоматизованого тестування.
2. Дослідити особливості реалізації компонентів інформаційної технології автоматизованого тестування.

Розв'язання задач

Моделювання структури мультикомпонентної інформаційної технології автоматизованого тестування

Інформаційна технологія автоматизованого тестування (ІТАТ) – сукупність програмних компонентів, що мають на меті забезпечити потребу користувачів у організації та проведенні процесу модульного тестування, шляхом надання відповідних технічних засобів.

Залежно від складності, цілей та особливостей реалізації технологій автоматизованого тестування, набір компонентів, що вони містять, може значно різнитись.

Основою ІТАТ є програмна бібліотека модульного тестування, котра містить повний набір функцій, атрибутів та інших елементів, представлених у вигляді вихідного коду, що доступні користувачеві та надають вичерпні можливості користування технологією. Цей компонент представлений у вигляді чітко визначеного та зрозумілого програмного інтерфейсу, знаючи який, користувач може реалізувати усі тестові модулі свого проєкту, написати власні необхідні тестові методи, а також програмно запустити виконання процесу автоматизованого тестування. Іншим функціоналом, що може програмна бібліотека є можливість розширення або зміни особливостей проведення процесу тестування, написання підготовчих або завершальних задач, що виконуються відповідно до та після завершення проведення тестування, спеціалізоване логування та інші різноманітні елементи, що можуть бути необхідні користувачеві для забезпечення успішного виконання своїх задач.

Формат програмного інтерфейсу визначається розробниками на основі аналізу та особистих уподобань реалізації в рамках можливостей, що надають обрані мова та платформа програмування.

Наступним необхідним елементом ІТАТ є програмний двигун системи. Двигуном називають компонент технології, що в її архітектурі займає найнижчий рівень, не доступний користувачеві. На основі технічних специфікацій та реалізації програмного двигуна, будуються решта програмних засобів технології. Для інформаційної технології автоматизованого тестування двигун повинен містити реалізацію засобів пошуку тестових методів, опрацювання вхідних даних, виконання, налаштування системи, роботи з програмними потоками, їх одночасним виконанням (мультипоточністю), роботи з файловою системою, низькорівневе спеціалізоване логування, отримання результатів виконання тестів та проведення їх динамічного та статичного аналізу. Повний перелік задач, що реалізуються двигуном залежить від потреб технології, специфіки та обмежень обраної платформи програмування.

Саме двигун визначає загальний рівень швидкодії технології, оскільки він містить операції, що мають найвищий час виконання. Тому, від якості реалізації двигуна залежить можливість якісної імплементації компонентів вищого рівня та загальний рівень технології.

Наступним компонентом ІТАТ є користувацькі інтерфейси (КІ). В більшості випадків вони поділяються на консольні та графічні. КІ є не обов'язковим елементом, їх наявність визначається розробниками на етапі проєктування та залежить від обраного формату розповсюдження та надання доступу до функціоналу технології [5].

Одним із важливих компонентів ІТАТ є програмне розширення для обраного інтегрованого середовища програмування, з допомогою якого користувачі технології можуть запускати процес модульного тестування, отримувати результати роботи та аналізу в зручному форматі у вигляді стандартних засобів підтримки виконання тестових модулів самого середовища. Цей компонент є одним з найзручніших з точки зору користувача, тому для інформаційної технології, що має за мету максимально задовольнити потреби тих, хто її використовує, наявність такого розширення є критично важливим.

Серед інших компонентів, котрі можуть містити сучасні ІТАТ, можна виділити [6]:

- Компонент, що містить набір аналізаторів, котрі виконують функцію статичного аналізу тестових методів. Вони можуть бути як представлені окремим елементом, так і інтегровані в двигун системи автоматизованого тестування, або в програмне розширення.
- База даних, що зберігає необхідну інформацію про тестові методи та результати їх виконання.
- Компонент, що виконує інтеграцію із різноманітними сторонніми сервісами, наприклад з сервісами безперервної інтеграції та доставлення TeamCity або Jenkins, веб-сервісами, що виконують запуск

процесу тестування з допомогою хмарних технологій та багато інших бібліотек та застосунків, що застосовуються в проєкті.

– Інші компоненти.

В процесі моделювання інформаційної технології автоматизованого тестування, необхідно визначити усі компоненти, що вона буде містити, а також системні вимоги до них.

Основним елементом розроблюваної ІТАТ є двигун системи. В якісній технології до нього висувуються вимоги високої швидкодії та можливості розширення за потреб користувача. Він повинен виконувати усі головні функції, визначені в процесі аналізу.

Розроблювана технологія повинна мати зрозумілий та зручний програмний інтерфейс бібліотеки з високим різноманіттям функцій перевірки та атрибутів тестування.

Наявність хоча б одного користувацького інтерфейсу є великою перевагою ІТАТ, оскільки не усі розробники мають доступ до програмних засобів проведення тестування. Він повинен містити зручний метод запуску процесу тестування та зрозумілий користувацький інтерфейс, де легко та швидко можна визначити результати проведення тестування.

ІТАТ, що має на меті якнайповніше задоволення потреб користувачів у проведенні якісного модульного тестування, повинна містити компонент програмного розширення для найбільш популярного інтегрованого середовища програмування. Таке розширення повинне бути максимально інтегрованим у засоби середовища для його зручного використання.

Останнім компонентом, що містить змодельована ІТАТ є набір аналізаторів, що виконуватимуть функцію статичного аналізу тестових функцій, та допомагатимуть користувачам коректно та повноцінно використовувати засоби програмної бібліотеки.

На етапі моделювання технології, необхідно чітко визначити структурні та архітектурні залежності між її компонентами. Існує пряма залежність між кількістю елементів, що необхідно реалізувати та кінцевою складністю проєкту, адже в більшості випадків додавання лише одного компоненту значно впливає на усі ті, що вже були створені, якщо між ними є взаємозв'язки. На рисунку 1 представлена структурна схема компонентів технології, що містить усі елементи ІТАТ, які були визначені вище.

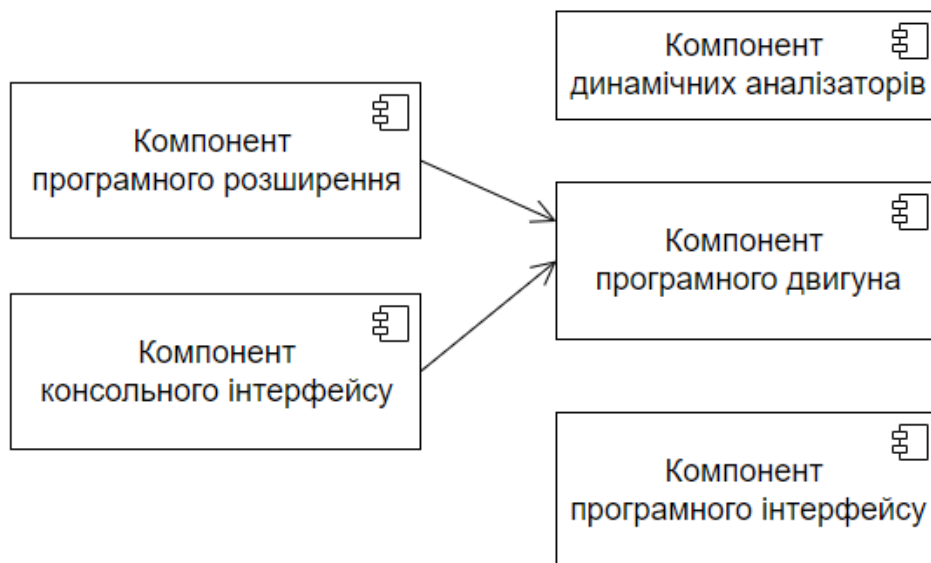


Рисунок 1 – Структурна схема компонентів змодельованої інформаційної технології автоматизованого тестування

У побудованій схемі кожен компонент є окремим структурним блоком, із вказанням його назви. Стрілками визначено залежності між модулями компонентів. Опишемо, які задачі виконує кожен окремий компонент технології:

1. Компонент програмного розширення містить програмні засоби необхідні розробнику для реалізації тестових методів згідно описаної технології.

2. Компонент консольного інтерфейсу містить вихідний код, результатом збірки якого є програмний продукт, котрий на основі вхідних даних виконує пошук, виконання та опрацювання результатів тестування та доступний користувачеві.

3. Компонент динамічних аналізаторів містить набір програмних аналізаторів, які після їх інтеграції з середовищем програмування виконують різноманітні перевірки реалізованих тестових методів на

відповідність їх коду до правил коректного використання програмного інтерфейсу, встановлених технологією.

4. Компонент програмного двигуна містить вихідний код, що відповідає за усі низькорівневі деталі реалізації пов'язані із пошуком, виконанням та опрацюванням результатів тестування.

5. Компонент програмного розширення містить реалізоване розширення, що при встановленні інтегрується із середовищем програмування та дозволяє використовувати стандартні засоби середовища для запуску та отримання результатів тестування технології.

Таким чином, використовуючи описану структуру компонентів, реалізована технологія, може найбільш ефективно задовільняти інформаційні потреби користувачів у проведенні якісного процесу автоматизованого тестування.

Дослідження особливостей реалізації компонентів інформаційної технології автоматизованого тестування.

В процесі моделювання важливо визначити стандартизований формат написання тестових методів. Формат написання тестових методів – узагальнений шаблон структури тестової функції, можливість реалізації якого повинен бути наданий програмними засобами технології.

Використання одного формату дозволяє розробникам легше розуміти структуру тестового методу, а відповідно полегшує імплементацію та внесення в нього змін. Саме тому, з метою покращення процесу проведення автоматизованого тестування програмний інтерфейс технології повинен надавати можливість використання оптимального та відомого підходу до написання тестових методів.

Натепер найвідомішим шаблоном написання модульних тестів є модель «AAA» («Arrange – Act – Assert») [7]. В її основі закладена ідея розділення тестового методу на три секції, кожна з яких виконує визначену функцію:

- В секції «Arrange» виконується підготовка об'єктів, що мають тестуватись. На цьому етапі необхідно привести інфраструктуру системи до бажаного стану та налаштувати залежності. Це виконується двома шляхами: прямим створенням екземпляру необхідного класу або створення його двійника, завчасно реалізованого для тестування.

- В секції «Act» відбуваються дії направлені на виклик відповідного методу системи, що тестується. Зазвичай, в цій частині шаблону викликається одна функція, котрій передаються налаштовані раніше залежності, та отримується результат її виконання для подальшої перевірки.

- Секція «Assert» містить перевірені функції, що дають змогу визначити правильність виконання тестового методу на предмет відповідності очікуваному результату. На етапі може відбуватись перевірка результату виконання секції «Act», кінцевого стану системи, що підлягає тестуванню або інших елементів, що брали участь в процесі тестування.

На рисунку 2 наведено приклад застосування моделі «Arrange – Act – Assert» з використанням високорівневої мови програмування C#.

```
[Test]
0 references
public static void ContainsInt()
{
    // arrange
    var list = new List<int>(5);
    var expected = 3;

    // act
    list.Add(expected);

    // assert
    Assert.Contains(expected, list);
}
```

Рисунок 2 – Приклад використання моделі написання тестових методів «Arrange – Act – Assert»

Серед інших особливостей застосування моделі «AAA» варто виділити:

- Уникнення використання декількох однакових секцій в рамках одного тестового методу, що свідчить про те, що функція виконує перевірку декількох різних поведінкових випадків. В цьому випадку варто розділити цей метод на кілька таких, кожен з яких перевіряє окремий випадок. Приклад структури тестового методу, що відповідає цій неправильній особливості реалізації наведено на рисунку 3.

- Уникання використання умовних тверджень в тестових методах. Для правильної та однозначної перевірки очікуваного результату, тестовий метод повинен бути простою послідовністю чітко визначених кроків перевірки. Наявність розгалужень свідчить, що метод виконує занадто багато перевірок. Використання умовних тверджень не дає жодних переваг, а лише додаткові витрати на підтримку тестових модулів, оскільки такі функції важче розуміти та модифікувати.
- Секція «Act» зазвичай складається з одного рядка коду. Якщо етап складається з двох або більше рядків, це може свідчити про проблему з публічним інтерфейсом тестування системи, що тестується.
- Для кращого розуміння тестового методу, кожен етап варто відділяти між собою пустою стрічкою, та на її початку використовувати коментарі з назвою секції, що послідує далі.

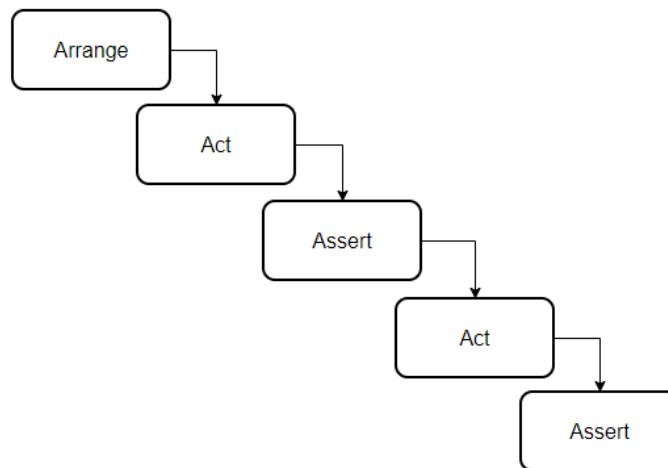


Рисунок 3 – Варіант використання декількох однакових секцій в одному тестовому методі

Визначено, що для покращення процесу проведення автоматизованого тестування компонент програмного інтерфейсу інформаційної технології повинен надавати можливість та встановлювати правило використання шаблону «Arrange – Act – Assert» при написанні тестових методів користувачем.

Компонент інформаційної технології, що містить аналізатори є одним з найголовніших для покращення процесу автоматизованого тестування, шляхом значного збільшення коректності використання програмної бібліотеки модульного тестування.

Динамічним аналізатором є програмний елемент, що в режимі реального часу аналізує новий, або щойно змінений програмний код на предмет невідповідності правилам описаним у ньому. Такий аналізатор зазвичай містить назву, повний опис знайденої проблеми та рекомендацію, щодо її усунення. В деяких випадках такий аналізатор містить варіанти виправлення, при виборі яких, код автоматично змінюється, відповідно запропонованій корекції.

Реалізація цього компоненту значно різниться залежно від обраного інтегрованого середовища, платформи та мови програмування. Ця залежність є вагомим, оскільки не всі інтегровані середовища програмування підтримують можливість відображення результатів роботи аналізаторів в реальному часі. Тому на це варто зважати на етапі реалізації розроблюваної технології.

Різні платформи та мови програмування надають різні можливості реалізації аналізаторів [8]. Наприклад компанія Microsoft, розробник платформи .NET та мов програмування C#, F# та інших, з допомогою спеціальних програмних бібліотек надає широкий доступ до потужностей своєї платформи, таким чином дозволяючи отримувати та аналізувати широкий спектр перевірок на глибокому рівні аналізу програмного коду. Значною перевагою також є реалізація прямої інтеграції інтерфейсу отримання результатів аналізаторів в найпопулярніше інтегроване середовище програмування платформи .NET – Visual Studio. Приклад такого відображення результатів показано на рис. 4. Компанія Microsoft не єдина, що пропонує власні програмні інтерфейси реалізації аналізаторів. Варто виділити популярні середовища програмування IntelliJIDEA, WebStorm та PyCharm, від компанії JetBrains, що мають можливість впровадження аналізаторів для мов програмування Java, JavaScript та Python та ряд інших. Проте, рівень можливостей при реалізації цих аналізаторів та прямої інтеграції з середовищем не є оптимальним для їх широкого використання.

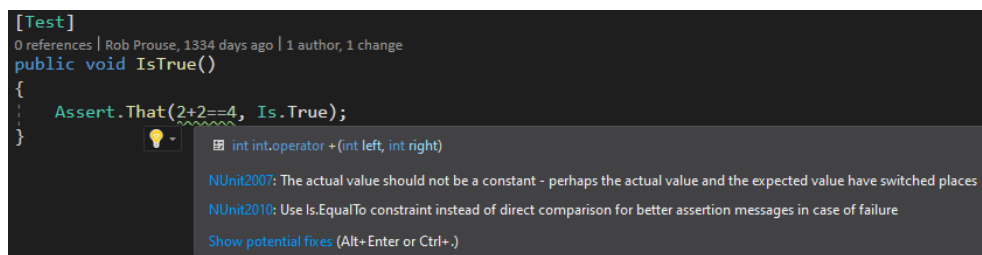


Рисунок 4 – Приклад візуального відображення результатів динамічного аналізу в середовищі програмування Visual Studio з використанням мови програмування C#

На етапі моделювання компоненту варто визначити типи аналізаторів, що будуть реалізовуватись. Це допоможе ширше покрити випадки некоректного використання бібліотеки, а отже збільшити якість перевірок.

Першим типом є структурні аналізатори. Їх правила відповідають за структурну цілісність тестових методів. Цей тип може містити перевірки використання асинхронних блоків коду, передачі коректних типів та кількості аргументів у тестовий метод, взаємодії з інтерфейсом підготовки та завершення виконання тестової функції, та інший аналіз.

Другим типом, що зазвичай являється найкількіснішим, є стверджувальні. Вони містять правила, які покращують використання тверджень в тестовому коді. До них відносяться правила перевірок неправильно використаних функцій ствердження, що надаються програмним інтерфейсом бібліотеки модульного тестування.

Третім, можливим типом аналізаторів є приховуючі. Вони містять ряд правил, котрі приховують помилки компілятора мови програмування на основі контексту, та відображають свої припущення та рекомендації, щодо виправлення цих помилок.

Для значного покращення процесу автоматизованого тестування, інформаційна технологія повинна містити компонент аналізаторів. Описані правила, що опрацьовуються аналізаторами мають містити максимально повну інформацію про проблему та, за можливості, надавати варіанти їх вирішення. Також, важливим фактором реалізації цього компоненту є його можливість прямої інтеграції із відомими інтегрованими середовищами програмування для полегшення отримання візуальних результатів аналізаторів.

Висновки

Встановлено, що розробка інформаційної технології автоматизованого тестування є доцільною та актуальною задачею.

Визначено оптимальну структуру компонентів інформаційної технології, що дозволяє найбільш ефективно виконувати задачі проведення та отримання результатів процесу автоматизованого тестування. Сформовано структурну схему інформаційної технології автоматизованого тестування.

Проаналізовано головні особливості реалізації компонентів інформаційної технології. Встановлено оптимальність застосування моделі «Arrange-Act-Assert» компонентом програмного інтерфейсу. Описані типи правил, що опрацьовуються аналізаторами та деталі їх інформаційного наповнення.

В подальших дослідженнях планується дослідити особливості реалізації компонентів інформаційної технології автоматизованого тестування, а також визначити оптимальний набір програмних засобів і технологій для розробки.

Список літератури

- [1] The True Cost of a Software Bug: Part One. [Online]. Available: <https://www.celerity.com/the-truecost-of-a-software-bug> Accessed on: Oct. 30, 2021.
- [2] Software Bugs Cost U.S. Economy \$59.6 Billion Annually, RTI Study Finds, 2021. [Online]. Available: <http://www.nist.gov/director/prog-ofc/report02-3.pdf>. Accessed on: Oct. 30, 2021.
- [3] В. О. Василевський, А. А. Яровий, «Створення інтелектуальної системи автоматизованого тестування на основі фреймворку юніт-тестування», *Матеріали L науково-технічної конференції факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії*, с. 627 – 629. 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2021_netpub.pdf. Дата звернення: Жовт. 30, 2021.
- [4] V. O. Vasylevskiy, A. A. Yarovyi, «Features of providing access to the software tools of the automated testing information system», *Матеріали V міжнародній науково-практичної конференції «Modern directions of scientific research development»*, с. 230 – 234. 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/11/MODERN-DIRECTIONS-OF-SCIENTIFIC-RESEARCH-DEVELOPMENT-28-30.10.21.pdf>. Дата звернення: Жовт. 30, 2021.
- [5] Ошеров Р. The art of unit testing with examples in .NET – Гринвіч: Manning Publication Co, 2009,

с. 20.

- [6] С. Фрімен, *Growing Object-Oriented Software Guided by Tests* – Crawfordsville, Indiana: Donnelley, 2012, с. 28-29.
- [7] А. С. Авраменко, В. С. Авраменко, Г. В. Косенюк, *Тестування програмного забезпечення. Навчальний посібник*. Черкаси: ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2017, 284 с.
- [8] Г. Майерс, Т. Баджетт, К. Сандлер, *Искусство тестирования программ, 3-е издание*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.dialektika.com/books/978-5-8459-1796-6.html>. Дата звернення: Жовт. 30, 2021.

Стаття надійшла: 12.11.2021.

References

- [1] The True Cost of a Software Bug: Part One. [Online]. Available: <https://www.celerity.com/the-truecost-of-a-software-bug> Accessed on: Oct. 30, 2021.
- [2] Software Bugs Cost U.S. Economy \$59.6 Billion Annually, RTI Study Finds, 2021. [Online]. Available: <http://www.nist.gov/director/prog-ofc/report02-3.pdf>. Accessed on: Oct. 30, 2021.
- [3] V. O. Vasylevskyi, A. A. Yarovyi, «Stvorenya intelektualnoi systemy avtomatyzovanoho testuvannya na osnovi framework unit-testuvannya», *Materialy L naukovo-tekhnichnoi konferentsii fakultetu informatsiinykh tekhnolohii ta kompiuternoї inzhenerii*, s. 627 – 629. 2021. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2021_netpub.pdf. Data zvernennia: Zhovt. 30, 2021 [in Ukrainian].
- [4] V. O. Vasylevskyi, A. A. Yarovyi, «Features of providing access to the software tools of the automated testing information system», *Materialy V mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Modern directions of scientific research development»*, s. 230–234. 2021. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/11/MODERN-DIRECTIONS-OF-SCIENTIFIC-RESEARCH-DEVELOPMENT-28-30.10.21.pdf>. Data zvernennia: Zhovt. 30, 2021 [in Ukrainian].
- [5] Oshero R. *The art of unit testing with examples in .NET* – Grinvich: Manning Publication Co, 2009, s. 20.
- [6] S. Freeman, *Growing Object-Oriented Software Guided by Tests* – Crawfordsville, Indiana: Donnelley, 2012, s. 28-29.
- [7] S. Avramenko, V. S. Avramenko, G. V. Kosenyuk, *Testuvannya programnogo zabespechennia. Navchalnyi posibnyk*. Chernkasy: CNU imeni Bogdana Khmelnytskogo, 2017, s. 284 [in Ukrainian].
- [8] G. Mayers, T. Badgett, C. Sandler, *The art of software testing, 3-rd edition*. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.dialektika.com/books/978-5-8459-1796-6.html>. Data zvernennia: Zhovt. 30, 2021.

Відомості про авторів

Яровий Андрій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук.

Іванчук Ярослав Володимирович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерних наук.

Озеранський Володимир Сергійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук.

Василевський Володимир Олегович – студент групи 2КН-20м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

А. А. Яровой, Я. В. Иванчук, В. С. Озеранский, В. О. Василевский
**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
 МУЛЬТИКОМПОНЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
 ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
 ТЕСТИРОВАНИЯ**

Винницкий национальный технический университет, Винница

A.Yarovyi, Ya. Ivanchuk, V. Ozeranskyi, V. Vasylevskyi

**FEATURES OF MODELING OF MULTICOMPONENT
 INFORMATION TECHNOLOGY OF AUTOMATED TESTING**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 621.316

О. Д. Азаров, Є. С. Генеральницький, А. С. Фігас

ВИСОКОЛІНІЙНІ ДВОТАКТНІ МАСШТАБАТОРИ -
ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СТРУМІВ НА БАЗІ ВИСОКООМНИХ
СТРУМОВИХ ДЗЕРКАЛ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. В різноманітних аналого-цифрових і цифро-аналогових системах масштабатори-перетворювачі струмів (МПС) широко використовуються. Важливо відзначити, що оскільки більша чисто паразитних параметрів інтегральних схем являє собою ємності, то застосування принципів підсилення і перетворення струмів має перевагу порівняно з принципом перетворення і підсилення напруг. Слід зазначити, що для побудови МПС можна використовувати різні підходи щодо структурно-схемної реалізації. Особливо специфічним є побудова МПС із заземленим навантаженням. Також широке використання мають різні варіанти побудови генераторів стабільних струмів на базі операційних підсилювачів, однак складністю такого підходу є потреба використання прецизійних резисторів. Автори пропонують інший підхід щодо побудови високолінійних МПС. Він полягає у застосуванні високолінійних високоомних струмових дзеркал із одним або двома виходами. Проте вказаний підхід є недостатньо відомим, тому тема статті, присвячена принципам побудови високолінійних двотактних масштабаторів-перетворювачів струмів на базі високолінійних струмових дзеркал є актуальною. У статті було запропоновано метод побудови масштабаторів-перетворювачів струму з високими вихідними опорами й високою лінійністю переданої характеристики. За допомогою комп'ютерного моделювання проаналізовано статичні й динамічні характеристики МПС, такі як смуга пропускання вхідного сигналу в діапазоні частот, похибка лінійності передатної характеристики, та вихідний малосигнальний опір. Авторами доведено, що МПС із послідовним вимиканням ВС має більший вихідний опір водночас, як застосування ВС із двома паралельними виходами має меншу похибку лінійності передатної характеристики.

Ключові слова: масштабатор-перетворювач струмів (МПС), двотактний підсилювач постійного струму (ДППС), похибка лінійності передатної характеристики (ПЛПХ), струм зсуву нуля, відбивач струму, блок балансування підсилення струмів.

Аннотация. В различных аналого-цифровых и цифро-аналоговых системах масштабаторы-преобразователи токов (МПТ) широко используются. Важно отметить, что поскольку большая чисто паразитных параметров интегральных схем представляет собой емкости, то применение принципов усиления и преобразования токов имеет преимущество по сравнению с принципом преобразования и усиления напряжений. Следует отметить, что для построения МПТ можно использовать разные подходы к структурно-схемной реализации. Особенно специфичным является построение МПТ с заземленной нагрузкой. Также широкое использование имеют разные варианты построения генераторов стабильных токов на базе операционных усилителей, однако сложностью такого подхода является потребность в использовании прецизионных резисторов. Авторы предлагают другой подход к построению высоколинейных МПТ. Он заключается в применении высоколинейных высокоомных токовых зеркал с одним или двумя выходами. Однако указанный подход недостаточно известен, поэтому тема статьи, посвященная принципам построения высоколинейных двухтактных масштабаторов-преобразователей токов на базе высоколинейных токовых зеркал актуальна. В статье был предложен метод построения масштабаторов-преобразователей тока с высокими выходными опорами и высокой линейностью передаваемой характеристики. С помощью компьютерного моделирования проанализированы статические и динамические характеристики МПТ, такие как полоса пропускания входного сигнала в диапазоне частот, погрешность линейности передаточной характеристики и малосигнальное выходное сопротивление. Авторами доказано, что МПТ с последовательным включением ТЗ имеет большее выходное сопротивление одновременно, как применение ТЗ с двумя параллельными выходами имеет меньшую погрешность линейности передаточной характеристики.

Ключевые слова: масштабаторы-преобразователи токов (МПТ), двухтактный усилитель постоянного тока (ДУПТ), погрешность линейности передаточной характеристики (ПЛПХ), ток смещения нуля, отражатель тока, блок балансировки усиления токов.

Annotation. In various analog-to-digital and digital-to-analog systems, current scalers-converters (CSC) are widely used. It is important to note that since a large purely parasitic parameters of integrated circuits are capacitances, the application of the principles of amplification and conversion of currents has an advantage over the principle of conversion and amplification of voltages. It should be noted that different approaches to the structural and schematic implementation can be used to construct the CSC. Particularly specific is the construction of an CSC with a grounded load. Also, various options for constructing stable current generators based on operational amplifiers are widely used, however, the complexity of this approach is the need to use precision resistors. The authors propose a different approach to the construction of highly linear CSC. It consists in the use of high-linear high-resistance current mirrors with one or two outputs. However, this approach is not well known, so the topic of the article devoted to the principles of constructing high-linear push-pull scalers-current converters based on high-linear current mirrors is relevant. The article proposed a method for constructing scalers-current converters with high output supports and high linearity of the transmitted characteristics. The static and dynamic characteristics of the CSC, such as the bandwidth of the input signal in the frequency range, the linearity error of the transfer characteristic, and the small-signal output impedance, have been analyzed using computer simulation. The authors have proved that an CSC with a series connection of CM has a higher output impedance at the same time, as the use of CM with two parallel outputs has a smaller error in the linearity of the transfer characteristic.

Keywords: current scalers-converters (CSC), two-stroke DC amplifier (PPDA), linearity error of the transfer characteristic (LETC), zero bias current, current reflector, current amplification balancing unit.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-60-69>.

Вступ

Масштабатори-перетворювачі струмів (МПС) широко використовуються в різноманітних аналого-цифрових і цифро-аналогових системах.

О. Д. Азаров., Є. С. Генеральницький, А. С. Фігас, 2021

Важливо відзначити, що оскільки більша чисто паразитних параметрів інтегральних схем являє собою ємності, то застосування принципів підсилення і перетворення струмів має перевагу порівняно з принципом перетворення і підсилення напруг [1,2].

Актуальність

Слід зазначити, що для побудови МПС можна використовувати різні підходи щодо структурно-схемної реалізації. Особливо специфічним є побудова МПС із заземленим навантаженням. У [3] наведено різні варіанти побудови генераторів стабільних струмів на базі операційних підсилювачів. Складністю такого підходу є потреба використання прецизійних резисторів. Автори пропонують інший підхід щодо побудови високолінійних МПС. Він полягає у застосуванні високолінійних високоомних струмових дзеркал із одним або двома виходами. Проте вказаний підхід є недостатньо відомим, тому тема статті, присвячена принципам побудови високолінійних двотактних масштабаторів-перетворювачів струмів на базі високолінійних струмових дзеркал є актуальною.

Мета досліджень- є створення МПС із покращеними характеристиками, такими як лінійність передатної характеристики, широка смуга пропускання та високий і надвисокий вихідний опір.

Задачі досліджень:

- аналіз запропонованого методу побудови МПС в якому істотно змінено вплив недосконалих характеристик біполярних n-p-n і p-n-p транзисторів, таких, як недостатньо високі опори колекторних переходів, а також невеликі значення коефіцієнтів передачі струмів.
- проаналізувати статистичні й динамічні характеристики запропонованих схемних структур МПС у діапазонах вхідних і вихідних струмів.
- надання рекомендацій щодо реалізації високо лінійних двотактних МПС на базі запропонованих високолінійних струмових дзеркал.

Розв'язання задач досліджень

Можна вказати принаймні три варіанти структурно-функціональної організації схем МПС. Структурні схеми таких МПС наведено на рис 1а) показано схему двотактного МПС із послідовно з'єднаними двома типовими відбивачами струму BC3, BC5 і BC4, BC6. Ще з одним варіантів організації такого типу МПС могло бути застосування різнотипових ВС.

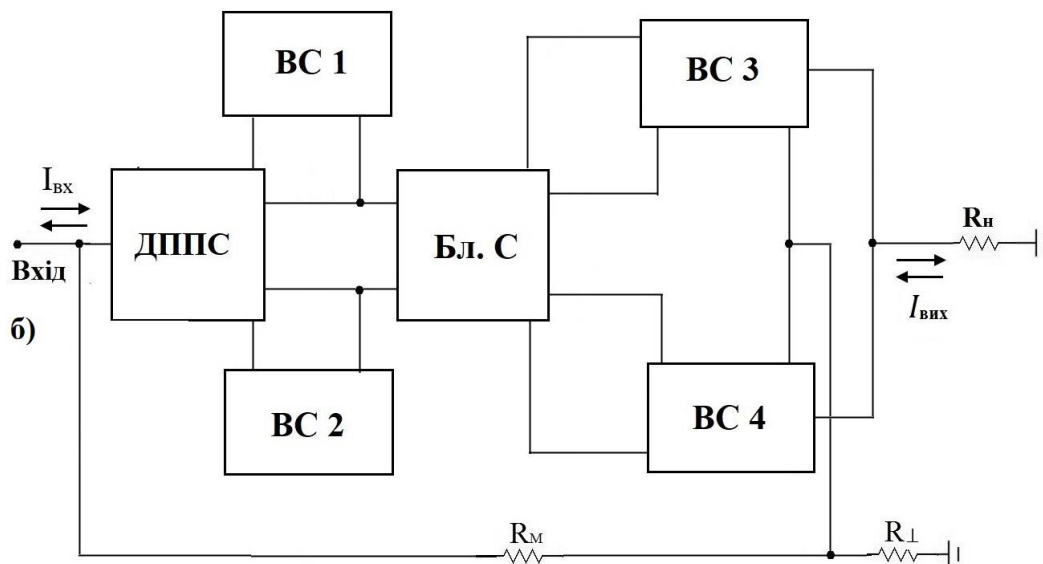


Рисунок 1 – Структурні схеми двотактних масштабаторів струму на базі: а) послідовно з'єднаних відбивачів струму

На рисунку 1б) наведено схему МПС на базі відбивачів струму з давачем рівня сигналу. Тут у зв'язку із застосуванням паралельної структури з'єднання ВС на біполярних транзисторах розглянуто в [4]. Причому слід відзначити такі характеристики цього МПС, а саме: досить велике значення вихідного малосигнального опору $r_{вих} \approx 1,5 \text{ ГОм}$ при коефіцієнті передачі $K_i = 10$, а також низьку похибку лінійності передатної характеристики $\delta I_n \approx 1,8 \cdot 10^{-4} \%$. Причому ВС 4 має вигляд, наведений на рисунку

ку 2. Порівняно з відомим відбивачем струму Уілсона запропонований ВС має істотно більший вихідний опір [5].

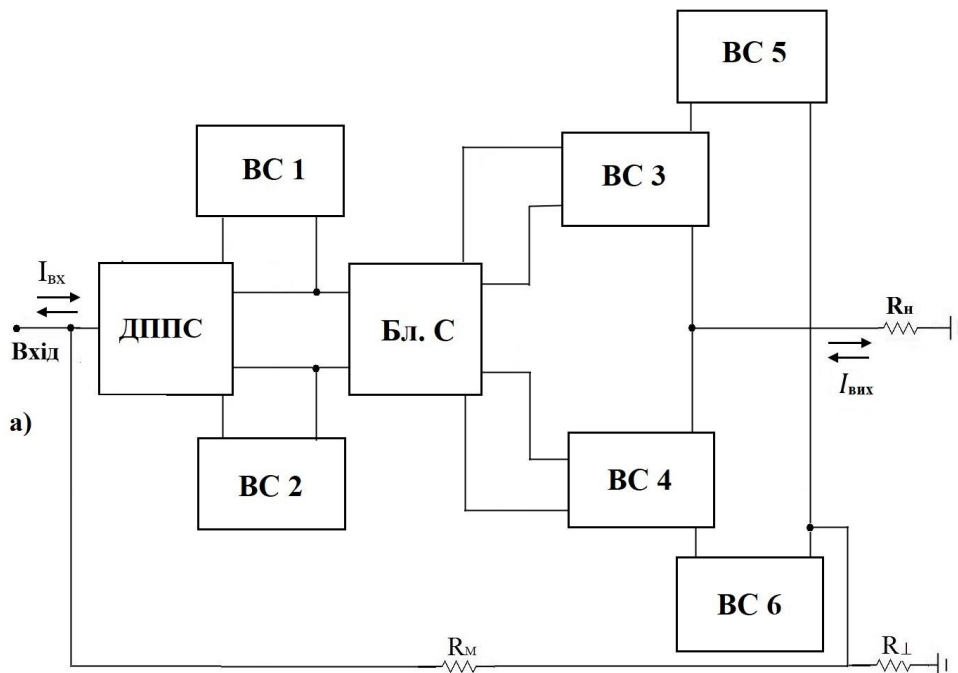


Рисунок 1 – Структурні схеми двотактних масштабаторів струму на базі: б) паралельно з'єднаних високоніжних відбивачів струму із давачами рівнів сигналу

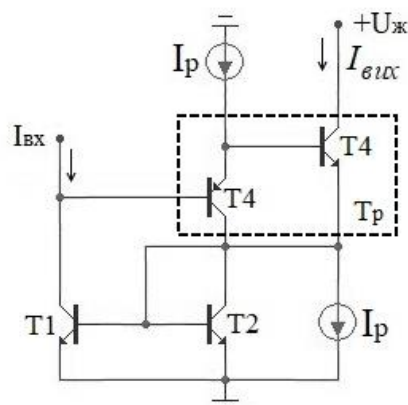


Рисунок 2 – Відбивач струму з підвищеним вихідним опором

У цій схемі транзистор регулятор T_p складається з двох транзисторів T_3 і T_4 , утворюючи складений транзистор Шиклаї. Завдяки цьому зміння базового струму ΔI_{b4} , що виникають в наслідок зміни колекторної напруги ΔU_{k4} , передаються в контур від'ємного зворотного зв'язку на транзистори T_2, T_1 і T_3 . Внаслідок цього вихідний колекторний опір T_p збільшується у $1 + \beta_3$ разів.

Принципову схему МПС із послідовним з'єднанням ВС наведено на рисунку 3. Вона містить Двотактний підсилювач постійного струму (ДППС) на транзисторах T_1 - T_6 , відбивач струму Уілсона BC_1 на транзисторах T_17, T_19, T_22 , а BC_2 на транзисторах T_18, T_23, T_24 , а також балансір струмів на транзисторах T_21, T_22, T_25 - T_32 , а також відбивачі струму BC_3, BC_4 та BC_5, BC_6 . Для забезпечення потрібного режиму постійного струму у схему уведено генератори робочих струмів I_p .

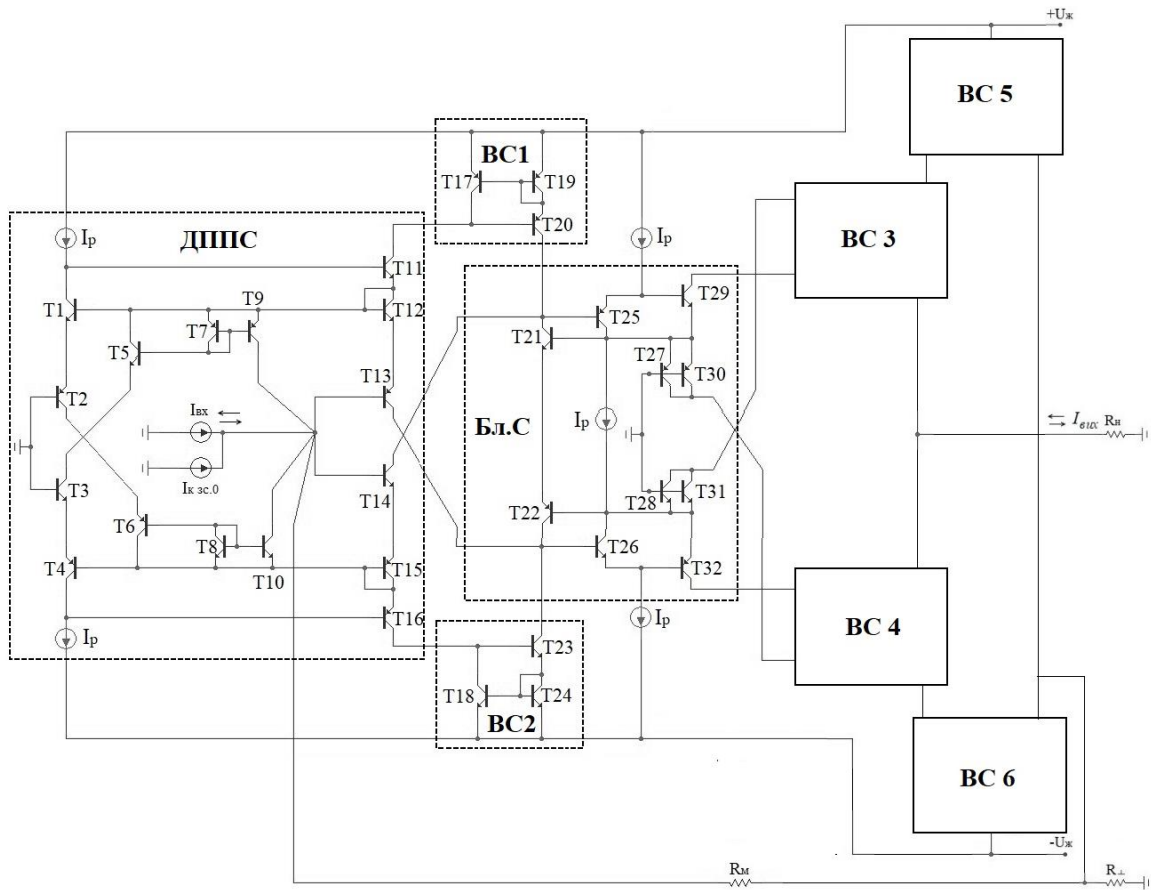


Рисунок 3 – Принципова схема МПС із послідовним з'єднанням ВС

Принципову схему МПС із паралельним з'єднанням ВС наведено на рисунку 4.

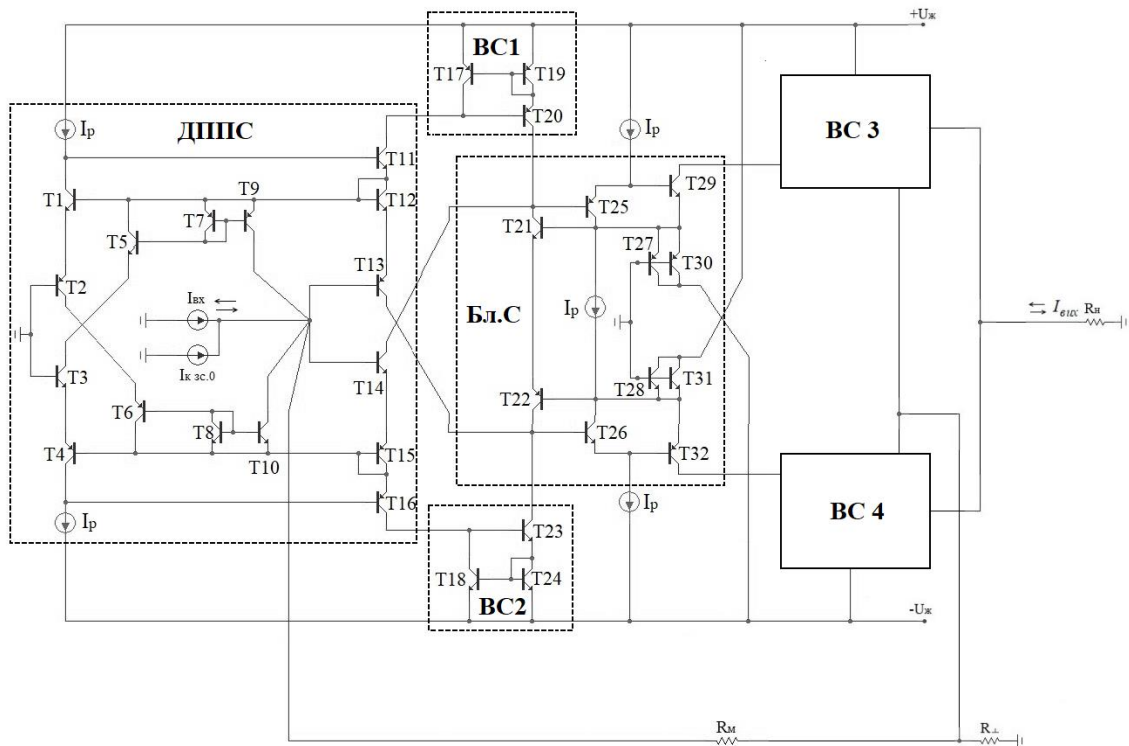


Рисунок 4 – Принципова схема МПС із паралельним з'єднанням ВС

Схема містить Двотактний підсилювач постійного струму (ДППС) на транзисторах Т1-Т16, відбивач струму Уілсона ВС1 на транзисторах Т17, Т19, Т22, а ВС2 на транзисторах Т18, Т23, Т24, а також балансір струмів на транзисторах Т21, Т22, Т25-Т32, а також відбивачі струму ВС3, ВС4. Для забезпечення потрібного режиму постійного струму у схему уведено генератори робочих струмів I_p .

Для побудови МПС із паралельним вмиканням струмових дзеркал доцільно використовувати схеми з двома виходами [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Одним із варіантів побудови ВС3 і ВС4 є схеми, наведені на рисунку 5 та 6.

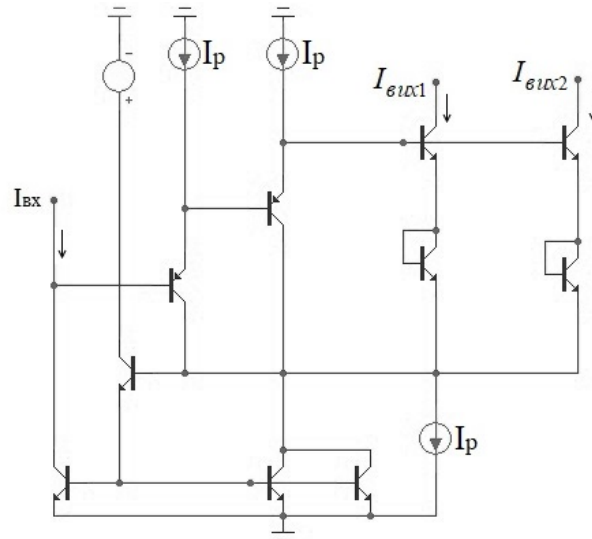


Рисунок 5 – Схема струмового дзеркала із двома виходами для ВС3 та ВС4

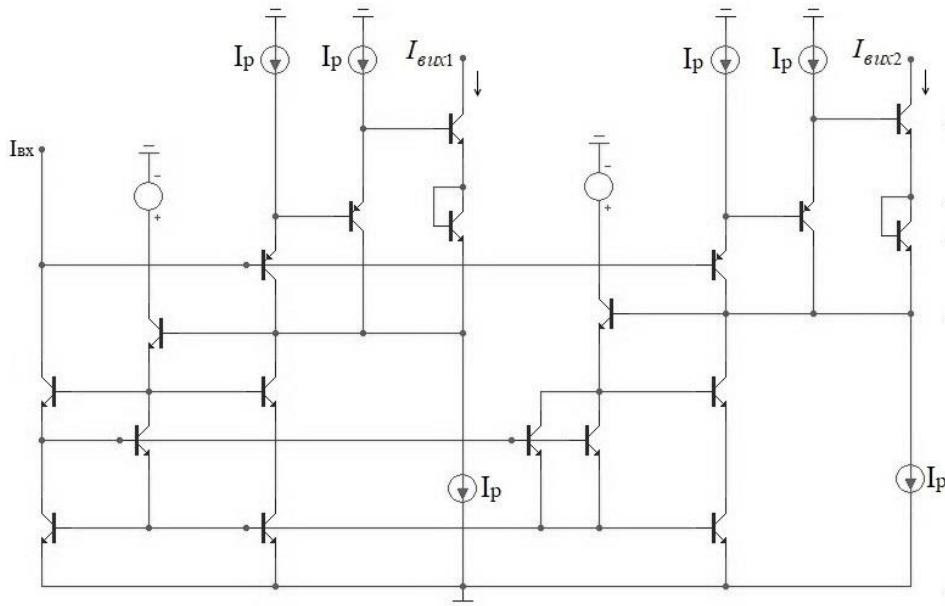


Рисунок 6 – Схема струмового дзеркала із двома виходами з високим $r_{вих}$ для ВС3 та ВС4

Для оцінювання статичних і динамічних характеристик наведених структур МПС доцільно здійснити комп'ютерне моделювання, зокрема, із застосованих інтегрованих пакетів схеми технічного аналізу MicroCap - 11(10). При цьому значення таких мало сигнальних характеристик, як вихідний опір струму $r_{вих}$, коефіцієнт передачі (масштабу) струму K_{III} доцільно здійснювати через амплітудні характеристики. Для забезпечення коректного моделювання. Зазначених характеристик треба створити однакові умови для схем, що порівнюються, зокрема, задати однаковий робочий струм зміщення $I_p = 1.0\text{mA}$, а також

напруги живлення $U_{жс} = 10В$. Як елементна база використовувалися інтегральні транзистори ррп - NUHFARRY та ррр - PUHFARRY. При цьому вихідний опір для схеми (рис 1а), виходячи з АЧХ наведено на рисунку 7, має значення $r_{вих} = 1.54Г\Omega$, а для схеми (рис 1б) $r_{вих} = 9.3М\Omega$, наведено на рисунку 8 при коефіцієнті передачі $K_{III} \approx 10$ та $K_{III} \approx 10$ відповідно.

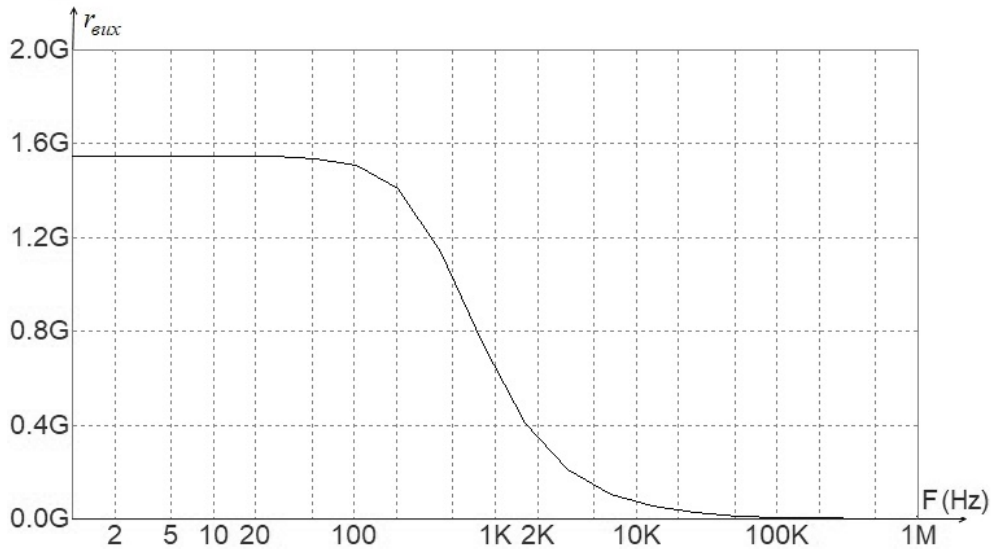


Рисунок 7 – АЧХ для схеми (рис 1а)

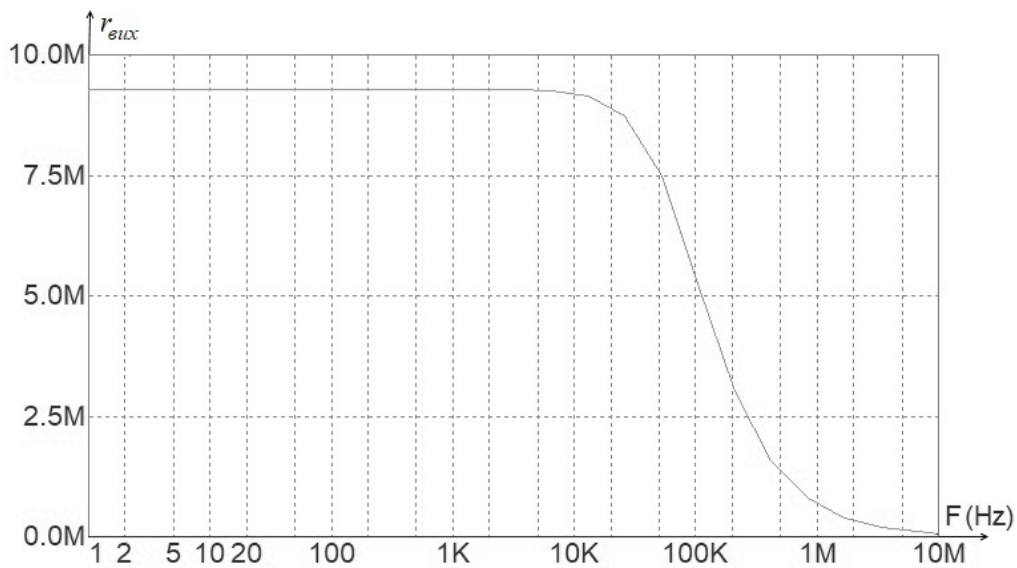


Рисунок 8 – АЧХ для схеми (рис 1б)

Похибки лінійності для цих схем наведено на рисунку 9 та 10 відповідно. Причому для схеми (рис 1а) і її максимальне значення дорівнює $\delta I_n = 709нА$, а схеми (рис1б) $\delta I_n = 387нА$.

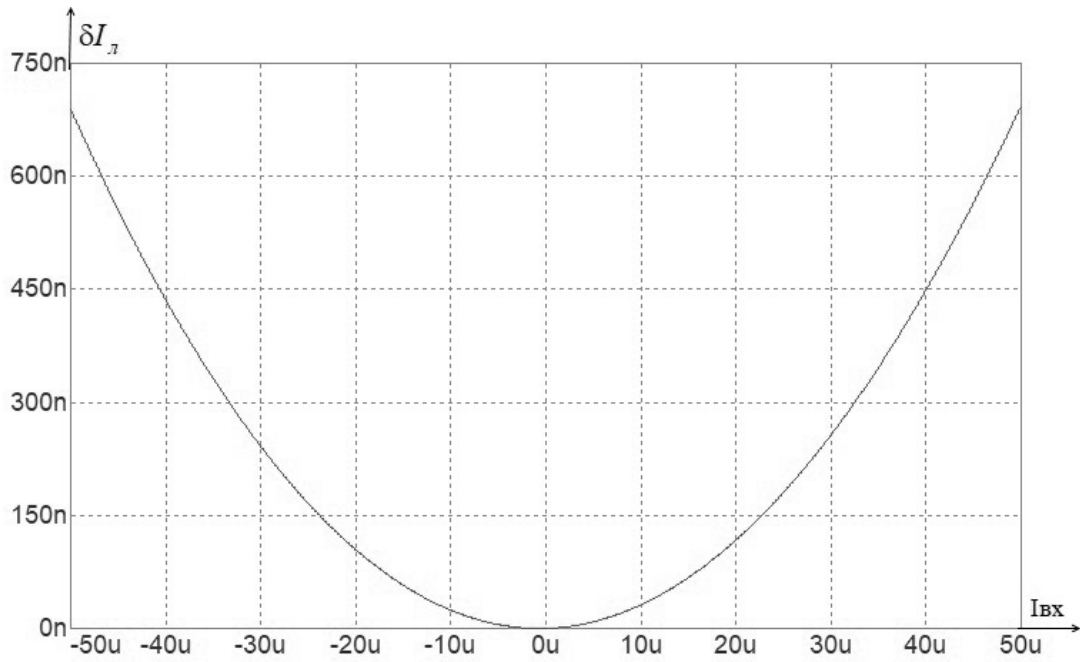


Рисунок 9 – Похибка лінійності передатної характеристики δI_L для схеми (рис 1а)

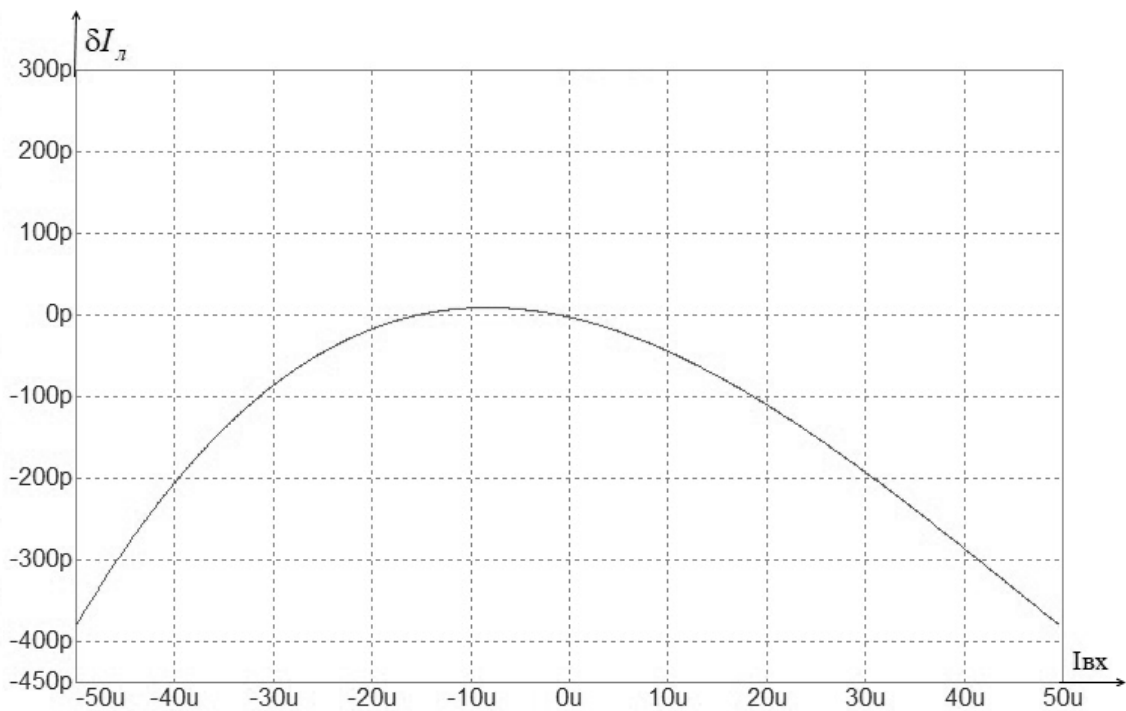


Рисунок 10 – Похибка лінійності передатної характеристики δI_L для схеми (рис 1б)

Якщо ж для побудови МПС, використовувати структуру (рис 1а), але з різними схемами ВС3, ВС4 і ВС5, ВС6, де ВС3 і ВС4 схеми Уільсона, а ВС5 і ВС6 спеціалізовані відбивачі то вихідний опір зменшується і сягає зокрема $r_{вих} = 72 МОм$, а максимальна похибка лінійності $\delta I_L = 10.8 нА$ при $K_{III} = 10$, що наведено на рисунку 11 та 12.

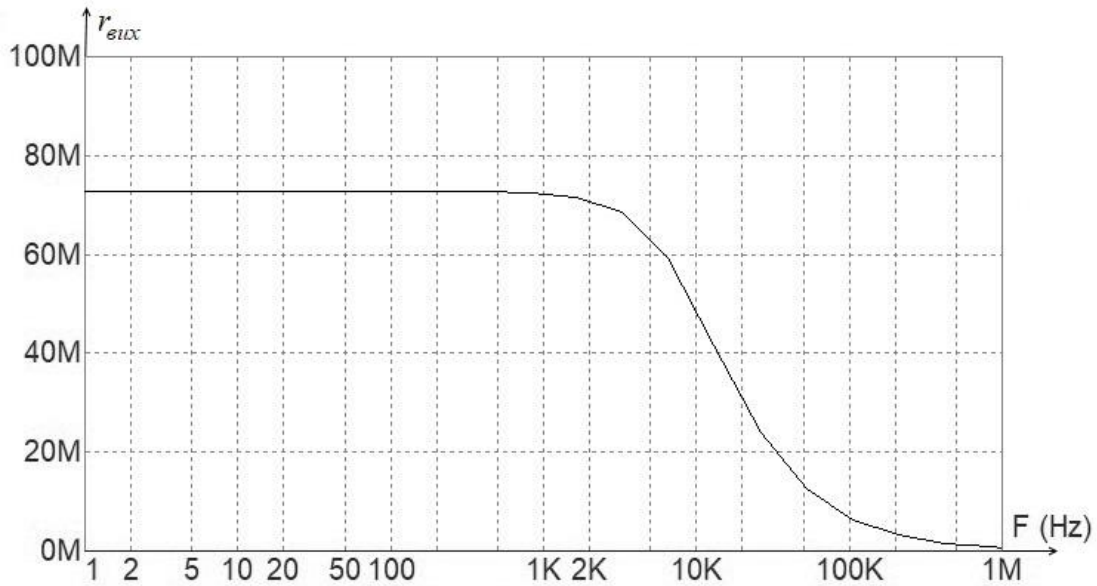


Рисунок – 11 АЧХ для схеми (рис 1а) з використанням відбивачів струму ВС3 і ВС4 по схемі Уільсона

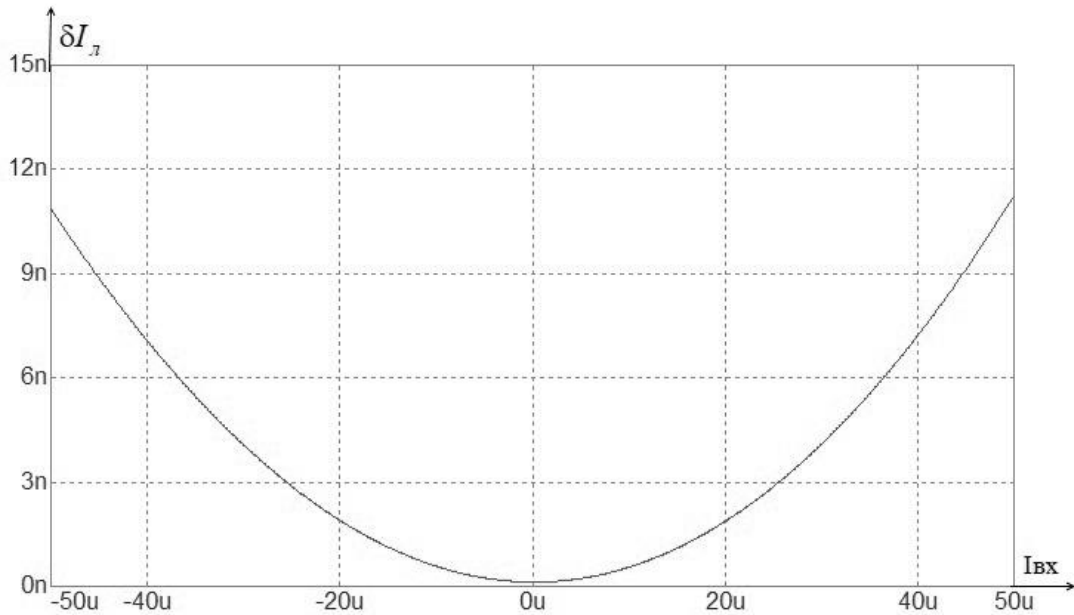


Рисунок 12 – Похибка лінійності передатної характеристики δI_L для схеми (рис 1а) з використанням відбивачів струму ВС3 і ВС4 по схемі Уільсона

Результати моделювання схеми МПС, наведено на рисунку 16, дало такі результати $r_{\text{вих}} = 9.3 \text{ МОм}$, при $K_{\text{III}} = 10$, а максимальна похибка лінійності $\delta I_L = 387 \text{ нА}$.

Отриманні дані свідчать про те, що МПС із послідовним вмиканням ВС мають найбільший вихідний опір, водночас як при застосуванні ВС із двома паралельними виходами вихідний опір зменшується, водночас і зменшується похибка лінійності переданої характеристики.

Висновки

1. Запропоновано метод побудови масштабаторів-перетворювачів струму з високими вихідними опорами й високою лінійністю переданої характеристики.

2. За допомогою комп'ютерного моделювання проаналізовано статичні й динамічні характеристики МПС, такі як смуга пропускання вхідного сигналу в діапазоні частот, похибка лінійності передатної характеристики, та вихідний малосигнальний опір.

3. Доведено, що МПС із послідовним вимиканням ВС має більший вихідний опір водночас, як застосування ВС із двома паралельними виходами має меншу похибку лінійності передатної характеристики.

4. Надано рекомендації щодо застосування елементної бази, зокрема, інтегральних транзисторів, а також рівнів струму зміщення у рекомендованих схемах МПС.

Список літератури

- [1] А. Б. Гребен, *Проектирование аналоговых интегральных схем*. Москва: Энергия, 1976, 256 с.
- [2] Alan V. Grebene «*Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design*», Wiley Classics library 2003, 437-443 с.
- [3] В. Л. Шило, *Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре*. Издательство «Советское радио», 1979, 69-178 с.
- [4] О. Д. Азаров, та Є. С. Генеральницький, «Статичні й динамічні характеристики перетворювачів струм-струм на базі двотактних підсилювачів струму», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №5, с. 63-70. 2020.
- [5] О. Д. Азаров, Р. М. Медяний, та А. С. Фігас. «Відбивачі струму з високим і надвисоким вихідним пором на біполярних транзисторах», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 58-64. 2019.
- [6] О. Д. Азаров, та М. Р. Обертюх, «Високолінійні спеціалізовані струмові дзеркала з давачами рівня сигналу», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 3(40), с. 30-36. 2017.
- [7] О. Д. Азаров, та С. В. Богомолов, *Основи теорії високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних підсилювальних схем: монографія*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2013, 142 с.
- [8] О. Д. Азаров, М. Ю. Теплицький, та В. А. Гарнага, «Двотактні підсилювачі постійного струму на базі двонаправлених відбивачів струму», *Проблеми інформатизації та управління*, № 2 (34), с. 15-22. 2011.
- [9] О. Д. Азаров, М. Ю. Теплицький, та Н. О. Біліченко, *Швидкодіючі двотактні підсилювачі постійного струму з балансним зворотним зв'язком*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, 136 с.
- [10] О. Д. Азаров, та В. А. Гарнага, *Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокалібруються*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011, 156 с.
- [11] Дж. Коннели, *Аналоговые интегральные схемы*. Ред. Москва: изд-во «Мир» 1977, 107-112 с.
- [12] И. П. Степаненко, *Основы теории транзисторов и транзисторных схем*, изд. 4-е, перераб. и доп. Москва: Энергия, 1977.
- [13] Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, и С. В. Страхов, *Основы теории цепей*. Москва Энергия, 1975, 752 с.
- [14] Дж. Грэм, Дж. Тоби, и Л. Хьюлсман, *Проектирование и применение операционных усилителей*, В. Л. Левин, и И. М. Хейфец, пер. с англ., И. Н. Теплюк, Ред. Москва: изд-во «Мир». Редакция литературы по новой технике, 1974.

Стаття надійшла: 15.11.2021.

References

- [1] V. Greben, *Proektirovanie analogovyh integral'nyh skhem*. Moskva: Energiya, 1976, 256 s.
- [2] Alan V. Grebene, *Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design*, Wiley Classics library 2003, 437-443 s.
- [3] V. L. SHilo, *Linejnye integral'nye skhemy v radioelektronnoj apparature*. Izdatel'stvo «Sovetskoe radio», 1979, 169-178 s. [in Russian].
- [4] O. D. Azarov, та Є. S. General'nic'kij, «Staticzni j dinamichni harakteristiki peretvoryuvachiv strum-strum na bazi dvotaktnih pidsilyuvachiv strumu», *Visnik Vinnic'kogo politekhnichnogo institutu*, №5, s. 63-70. 2020 [in Ukrainian].
- [5] O. D. Azarov, R. M. Medyanij, та A. S. Figas, «Vidbivachi strumu z visokim i nadvisokim vihidnim porom na bipolyarnih tranzistorah», *Visnik Vinnic'kogo politekhnichnogo institutu*, № 1, s. 58-64. 2019 [in Ukrainian].
- [6] O. D. Azarov, та M. R. Obertyuh «Visokolinijni specializovani strumovi dzerkala z davachami rivnya signalu», *Informacijni tekhnologii ta kompyuterna inzheneriya*, № 3(40), s. 30-36. 2017 [in Ukrainian].

- [7] O. D. Azarov, ta S. V. Bogomolov, *Osnovi teorii visokolinijnih analogovih pristroiv na bazi dvotaktnih pidsilyuval'nih skhem: monografiya*. Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2013, 142 s. [in Ukrainian].
- [8] O. D. Azarov, M. YU. Teplic'kij, ta V. A. Garnaga, «Dvotaktni pidsilyuvachi postijnogo strumu na bazi dvonapravljenih vidbivachiv strumu», *Problemi informatizacii ta upravlinnya*, № 2 (34), s. 15-22. 2011 [in Ukrainian].
- [9] O. D. Azarov, M. YU. Teplic'kij, ta N. O. Bilichenko, *Shvidkodijni dvotaktni pidsilyuvachi postijnogo strumu z balansnim zvorotnim zv'yazkom*. Vinnytsia, Ukraina: VNTU, 2016, 136 s. [in Ukrainian].
- [10] O. D. Azarov, ta V. A. Garnaga, *Dvotaktni pidsilyuvachi postijnogo strumu dlya bagatorozryadnih peretvoryuvachiv formi informacii, shcho samokalibruyut'sya*, Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2011, 156 s. [in Ukrainian].
- [11] Dzh. Konneli, *Analogovye integral'nye skhemy*. Red. Moskva: izd-vo «Mir» 1977, 107-112 s. [in Russian].
- [12] I. P. Stepanenko, *Osnovy teorii tranzistorov i tranzistornih skhem*, izd. 4-e, pererab. i dop. Moskva: Energiya, 1977 [in Russian].
- [13] G. V. Zeveke, P. A. Ionkin, A. V. Netushil, i S. V. Strahov, *Osnovy teorii cepej*. Moskva Energiya, 1975, 752 s. [in Russian].
- [14] Dzh. Grem, Dzh. Tobi, i L. H'yulsman, *Proektirovanie i primenenie operacionnyh usilitelej*, V. L. Levin, i I. M. Hejfec, per. s angl., I. N. Teplyuk, Red. Moskva: izd-vo «Mir». Redakciya literatury po novoj tekhnike, 1974.

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки.

Генеральницький Євгеній Сергійович – аспірант кафедри обчислювальної техніки.

Фігас Ганна Сергіївна – аспірант кафедри обчислювальної техніки.

А. Д. Азаров, Е. С. Генеральницький, А. С. Фігас

ВЫСОКОЛИНЕЙНЫЙ БАЛАНСНЫЙ ДВУХТАКТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НИЗКОЙ ПОГРЕШНОСТЬЮ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ

Винницкий национальный технический университет, Винница

O. D Azarov, Y. S. Heneralnytskyi, A. S. Figas

HIGH LINEARITY BALANCED PUSH-PULL DC AMPLIFIER WITH LOW ERROR OF ZERO OFFSET

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

УДК 004.272

Т. Б. Мартинюк, Л. В. Крупельницький, Б. І. Круківський

РЕГУЛЯРНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СТРУКТУРА ДЛЯ РАНЖУВАННЯ ДАНИХ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. У статті розглянуто функціональні можливості обчислювача з регулярною структурою, наведено його структурну схему. Обчислювач містить регістрову пам'ять, пам'ять даних, пам'ять рангів, масив елементів маски, вузол керування та масив індикаторів. Пам'ять даних містить масив вхідних лічильників, пам'ять рангів - масив вихідних лічильників. Обчислювач не тільки виконує сортування, але й має можливість візуалізувати результати ранжування відсортованих елементів вхідного масиву чисел за рахунок блока індикації, який містить пам'ять рангів і масив індикаторів. Регулярність структури обчислювача реалізовано у горизонтальному і вертикальному напрямках. Це дозволить ефективно її розмістити у мікросхемі ПЛІС з можливістю модульного нарощування. Проаналізовано особливості функціонування обчислювача для сортування з ранжуванням, які дозволяють прискорити процес обробки за рахунок використання швидкісних операцій декремента/інкремента. Ці операції застосовуються відповідно до масиву чисел та масиву рангів. Описано особливості процесу сортування в обчислювачі та наведено блок-схему алгоритму. Обчислювач реалізує альтернативний підхід до вертикальної обробки даних, а саме паралельно-вертикальне сортування масиву чисел. Розглянуто функціональну схему елемента маски, масив яких виконує головну роль у формуванні рангів відсортованих елементів числового масиву. Представлено схему з'єднань мікросхеми вихідного лічильника та семисегментного індикатора, які є складовими блока індикації обчислювача.

Ключові слова: регулярність, обчислювач, ранжування, візуалізація результатів.

Аннотация. В статье рассмотрены функциональные возможности вычислителя с регулярной структурой, приведена его структурная схема. Вычислитель содержит регистровую память, память данных, память рангов, массив элементов маски, узел управления и массив индикаторов. Память данных содержит массив входных счетчиков, память рангов – массив выходных счетчиков. Вычислитель не только производит сортировку, но и имеет возможность визуализировать результаты ранжирования отсортированных элементов входного массива чисел за счет блока индикации, который содержит память рангов и массив индикаторов. Регулярность структуры вычислителя реализована в горизонтальном и вертикальном направлениях. Это позволит эффективно ее разместить в микросхеме ПЛИС с возможностью модульного наращивания. Проанализированы особенности функционирования вычислителя для сортировки с ранжированием, позволяющие ускорить процесс обработки за счет использования скоростных операций декремента/инкремента. Эти операции применяются соответственно над массивом чисел и массивом рангов. Описаны особенности процесса сортировки в вычислителе и приведена блок-схема алгоритма. Вычислитель реализует альтернативный подход к вертикальной обработке данных, а именно параллельно-вертикальную сортировку массива чисел. Рассмотрена функциональная схема элемента маски, массив которых выполняет главную роль в формировании рангов отсортированных элементов числового массива. Представлена схема соединений микросхемы выходного счетчика и семисегментного индикатора, которые являются составляющими блока индикации вычислителя.

Ключевые слова: регулярность, вычислитель, ранжирование, визуализация результатов.

Abstract. The article discusses the functionality of a processor with a regular structure, the structural diagram is showed. Processor contains register memory, data memory, rank memory, an array of mask elements, a control unit, and an array of indicators. The data memory contains an array of input counters, and the rank memory contains an array of output counters. The processor not only performs sorting, but also has the ability to visualize the results of ranking sorted elements of the input array of numbers due to the display block, which contains rank memory and an array of indicators. The regularity of the processor structure is realized in the horizontal and vertical directions. This will make it possible to effectively place it in an FPGA chip with the possibility of modular expansion. The features of the functioning of the processor for sorting with ranking are analyzed, which makes it possible to speed up the processing process by using high-speed decrement/increment operations. These operations are applied according to an array of numbers and an array of ranks. The features of the sorting process in the processor are described and a block diagram of the algorithm is presented. The processor implements an alternative approach to vertical data processing, namely, parallel-vertical sorting of an array of numbers. The functional diagram of the mask element, an array of which plays the main role in the formation of the ranks of the sorted elements of a numeric array, is considered. The diagram of the connections of the chip of the initial counter and the seven-segment indicator, which are the components of the display block of the processor, is presented.

Key words: regularity, processor, ranking, visualization of results.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-70-76>.

Вступ

У більшості прикладних задач операція ранжування масиву числових даних є допоміжною, яка дозволяє встановити місцезнаходження елементів у масиві за певними ознаками або співвідношенням, тобто в залежності від їх рангів [1]. Особливо зростає значимість результатів ранжування при класифікації об'єктів, наприклад, при діагностуванні захворювань [2], а також в процесі медіанної фільтрації [3].

Актуальність

Особливість застосування ранжування результатів класифікації (медичного/технічного діагностування) полягає в тому, що визначається пріоритет не тільки одного конкретного рішення (діагнозу) з найвищим рангом, але й найближчих до нього рішень (діагнозів) за їх рангом з врахуванням певних ознак (симптомів). Такий підхід знаходить ефективне застосування у системах підтримки прийняття рішень [4, 5], оскільки дозволяє уточнювати результат діагностування (класифікації). Особливий ефект наочності при цьому надає можливість візуалізувати результат ранжування [6].

При медіанній фільтрації доречно визначити середній за значенням ранг елемента у відсортованому векторному масиві чисел, який формується з елементів (пікселей) ковзного «вікна» фільтра. Це дозволяє визначити значення центрального елемента (пікселя) «вікна» в процесі сортування з ранжуванням за-

мість обчислення середнього арифметичного значення всіх елементів «вікна» [3]. А це, у свою чергу, значно прискорює процес фільтрації [7].

Крім того, враховуючи апаратну реалізацію обчислювача з функцією ранжування числових даних у вигляді співпроцесора, необхідною умовою є регулярність його структури. Це пов'язано з орієнтацією на сучасну елементу базу ПЛІС [8].

Мета

Метою даної роботи є розширення функціональних можливостей обчислювача з регулярною структурою за рахунок візуалізації результатів ранжування відсортованих елементів вхідного масиву даних.

Структура обчислювача для сортування з ранжуванням

На рис.1 наведено структурну схему обчислювача, базовими функціями якого є сортування з ранжуванням вхідного векторного масиву n чисел. Вузлами обчислювача є регістрова пам'ять, пам'ять даних, пам'ять рангів, масив елементів маски, вузол керування та масив індикаторів [7]. Процес сортування в обчислювачі відбувається одночасно із ранжуванням. В процесі сортування приймають участь масив вхідних лічильників як пам'ять даних, масив вихідних лічильників як пам'ять рангів та масив елементів маски [9]. По закінченню процесу сортування з ранжуванням його результати візуалізуються за рахунок використання блока індикації, до складу якого входять пам'ять рангів та масив індикаторів.

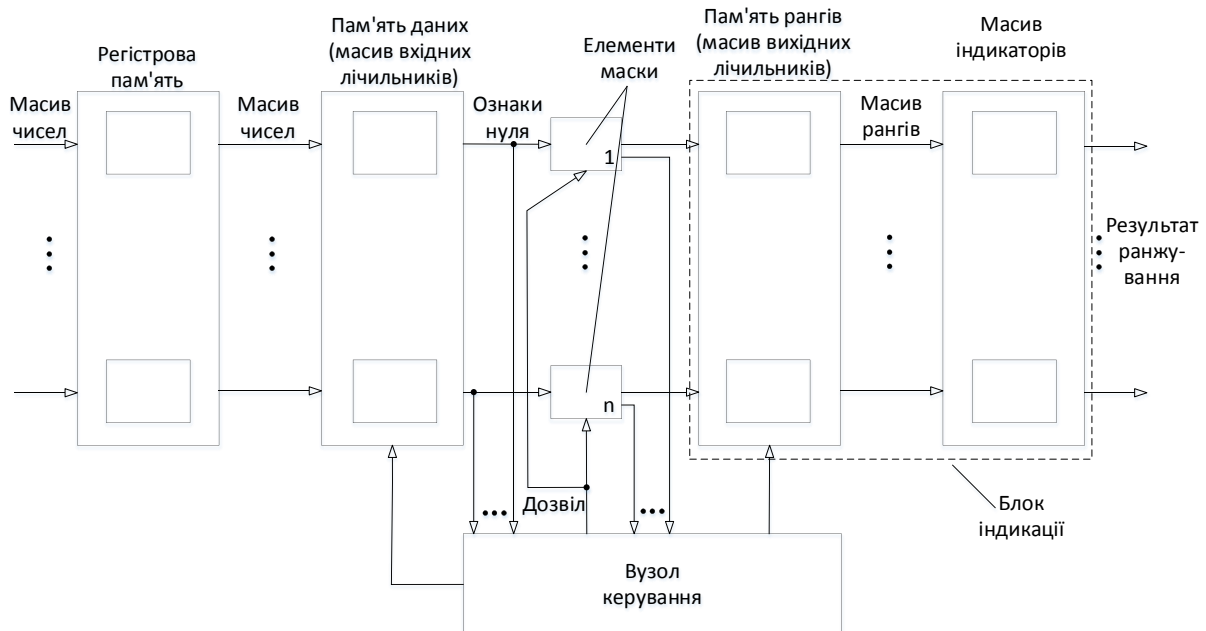


Рисунок 1 – Структурна схема обчислювача

Обчислювач має регулярну структуру, яка складається з n каналів обробки, де n – розмірність вхідного масиву чисел. Кожний канал містить регістр, вхідний лічильник, елемент маски, вихідний лічильник і елемент індикації. При цьому всі базові елементи у кожному каналі мають регулярні та локальні однонапрямні зв'язки.

Крім того, кожний вузол обчислювача (рис.1) також має регулярну структуру, оскільки містить однотипні базові елементи: регістри, лічильники, індикатори, елементи маски. Отже, регулярну структуру обчислювача як у горизонтальному, так і вертикальному напрямках легко розташувати у мікросхемі ПЛІС типу FPGA, а також реалізувати просте модульне нарощування кількості входів, а отже збільшення вхідного масиву чисел.

У даному обчислювачі (рис.1) вузлом, який виконує головну роль у формуванні рангів відсортованих елементів числового масиву, є масив елементів маски. На рис.2 представлено функціональну схему елемента маски. До його структури входять RS-тригер, елемент НІ та два елемента І [9].

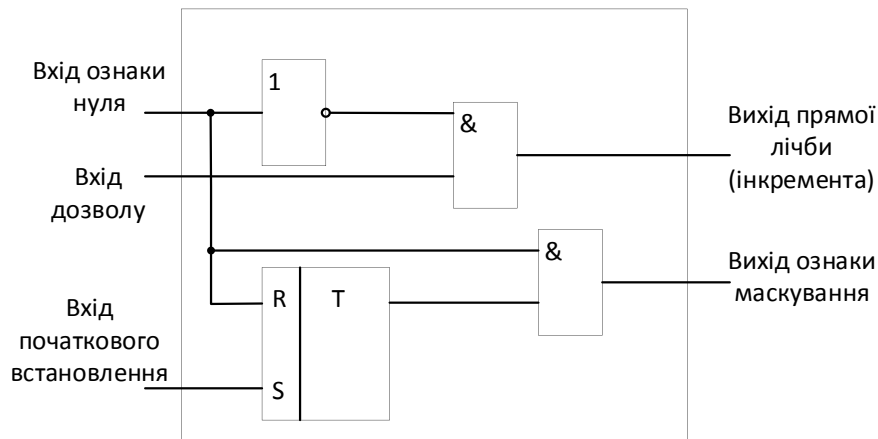


Рисунок 2 – Функціональна схема елемента маски

На початку роботи RS-тригер встановлюється в одиничний стан за відповідним входом. В процесі спрацювання елемента маски задіяно вхід ознаки нуля, який приходить від відповідного вхідного лічильника та вхід дозволу від вузла керування (рис. 1). RS-тригер спрацьовує (обнуляється) у момент обнулення відповідного вхідного лічильника та формує сигнал маскування відповідного вихідного лічильника. Цей сигнал маскує ранг відповідного вхідного лічильника, який обнулюється, і враховується вузлом керування при формуванні сигналу дозволу (рис.1). В іншому випадку в результаті спрацювання «відкритого» елемента маски формується одиничний сигнал на виході прямої лічби (інкремента), який подається на вхід лічби відповідного вихідного лічильника. Сигнал на виході ознаки маскування елемента маски формується за умови, якщо обнуляється відповідний вхідний лічильник [9].

Особливості функціонування обчислювача

На рис. 3 представлено блок-схему алгоритму сортування з ранжуванням. На початку роботи встановлюються в початковий (одиничний) стан вихідні лічильники та елементи маски. Після того як переписується числовий масив з регістрової пам'яті у вхідні лічильники, починається цикл, в процесі якого відбувається операція декремента одночасно у всіх вхідних лічильниках. Як тільки одне з чисел у масиві вхідних лічильників обнулюється, відбувається збільшення на одиницю чисел у незамаскованих відповідних вихідних лічильниках (операція інкремента), окрім лічильника, який обнулюється.

У випадку появи одиничного сигналу на виході ознаки нуля останнього вхідного лічильника обчислювача, який ще не був обнулений, виконуються такі дії. Нехай останнім обнулиться k-ий вхідний лічильник обчислювача.

Тоді на його виході ознаки нуля з'являється одиничний сигнал, який подається на k-ий елемент маски, закриваючи проходження через нього сигналу на вхід прямої лічби k-го вихідного лічильника пам'яті рангів. На всіх інших виходах відповідних елементів маски не буде відбуватись ніяких дій, оскільки всі їх виходи вже закриті. Таким чином, процес сортування продовжується доки всі вхідні лічильники не будуть обнулені [7, 9]. У кінці циклу сформовані ранги вихідних лічильників можна візуалізувати за рахунок використання блока індикації [10].

Отже, час процесу сортування із залученням швидкісних операцій декремента/інкремента, що виконуються паралельно відповідно над числовим масивом і масивом рангів, залежить виключно від максимального числа у вхідному масиві [7]. В результаті можна визначитись з гранично-максимальним часовим параметром процесу сортування. Таким чином, процес сортування в обчислювачі (рис.1) зорієнтовано на виконання крупноблочних операцій [11] і має всі ознаки як паралельного по словах, так і вертикального по бітах сортування, оскільки операції в обох масивах лічильників мають вигляд вертикально-групового [12] виконання операцій декремента/інкремента відповідно.

Отже, запропонований обчислювач з регулярною організацією структури має одну з важливих властивостей асоціативних систем [13], а саме вертикальний доступ в процесі обробки до елементів одновимірного масиву чисел. Один з прикладів такої обробки є вертикальна обробка по розрядних зрізах паралельно по словах [14]. Для неї характерним є постійний час обробки, що залежить від кількості розрядів (бітів) у словах.

В даній роботі пропонується альтернативний підхід до вертикальної обробки, а саме вертикально-паралельне сортування на базі швидкісних операцій декремента/інкремента, які виконуються відповідно над масивом даних та масивом рангів. Отже, в цьому випадку вертикально-паралельно обробляються як елементи масиву чисел, що сортуються, так і відповідні елементи масиву рангів, що значно прискорює час обчислювального процесу.

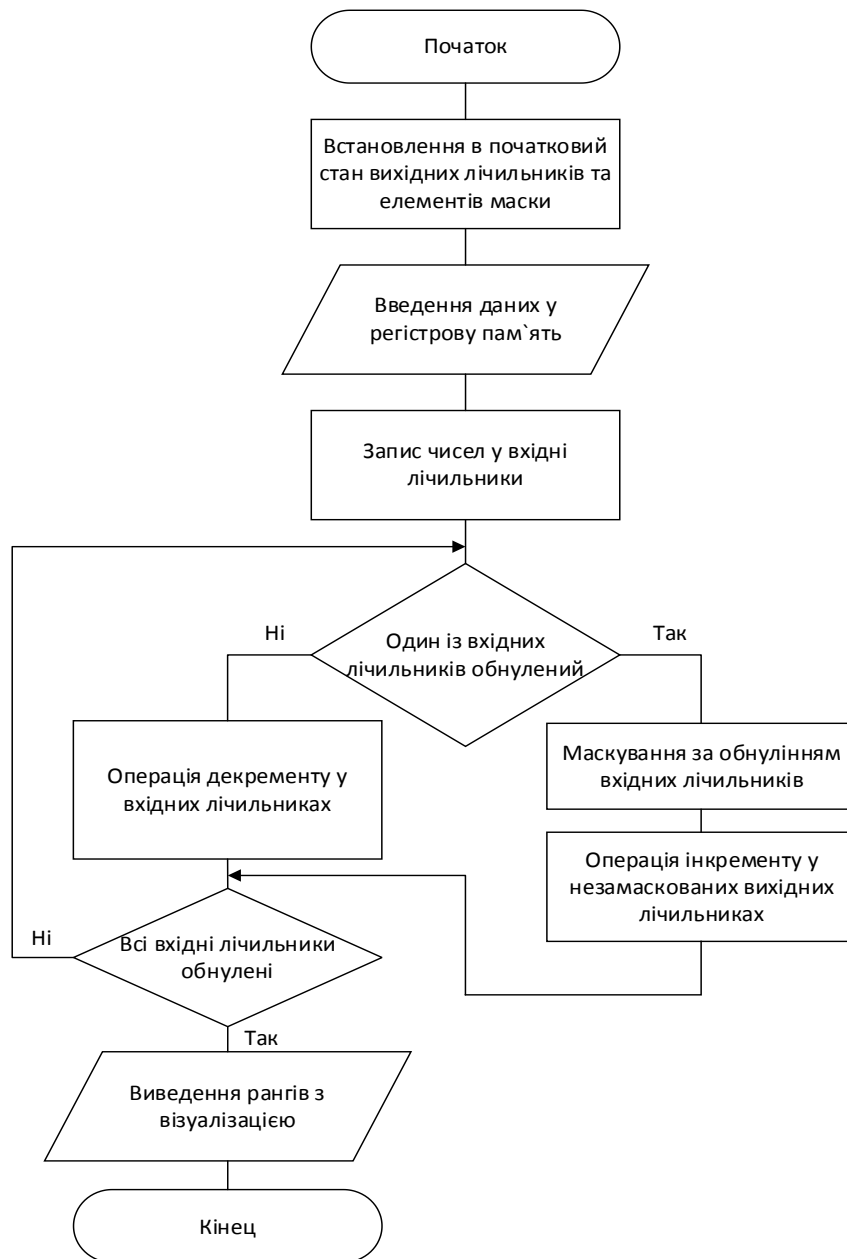


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму сортування з ранжуванням

Варіант реалізації блока індикації рангів

Ще одним базовим вузлом обчислювача є блок індикації (рис.1), який містить масив вихідних лічильників та масив індикаторів [9, 10]. Для масиву вихідних лічильників доцільно обрати мікросхему CD4026E, яку розроблено спеціально для роботи в схемах електронних годинників [15], в яких лічба виконується за рахунок спаду імпульсів додатної полярності на тактовому вході. Завдяки тому, що в обчислювачі цей масив лічильників є вихідним, на якому формуються відповідні ранги, тому існує можливість використати масив семисегментних індикаторів у блоці індикації (рис.1) для візуалізації результатів ранжування. В цьому випадку доцільно використати семисегментні індикатори А-801G [16], які оптимально підходять за кольором індикації (зелений) та сумісні за технічними характеристиками з обраною мікросхемою лічильників [10, 15]. В складі мікросхеми CD4026E наявний десятковий лічильник з виходами на семисегментний індикатор.

На рис. 4 наведено схему під'єднань мікросхеми CD4026E та індикатора А-801G.

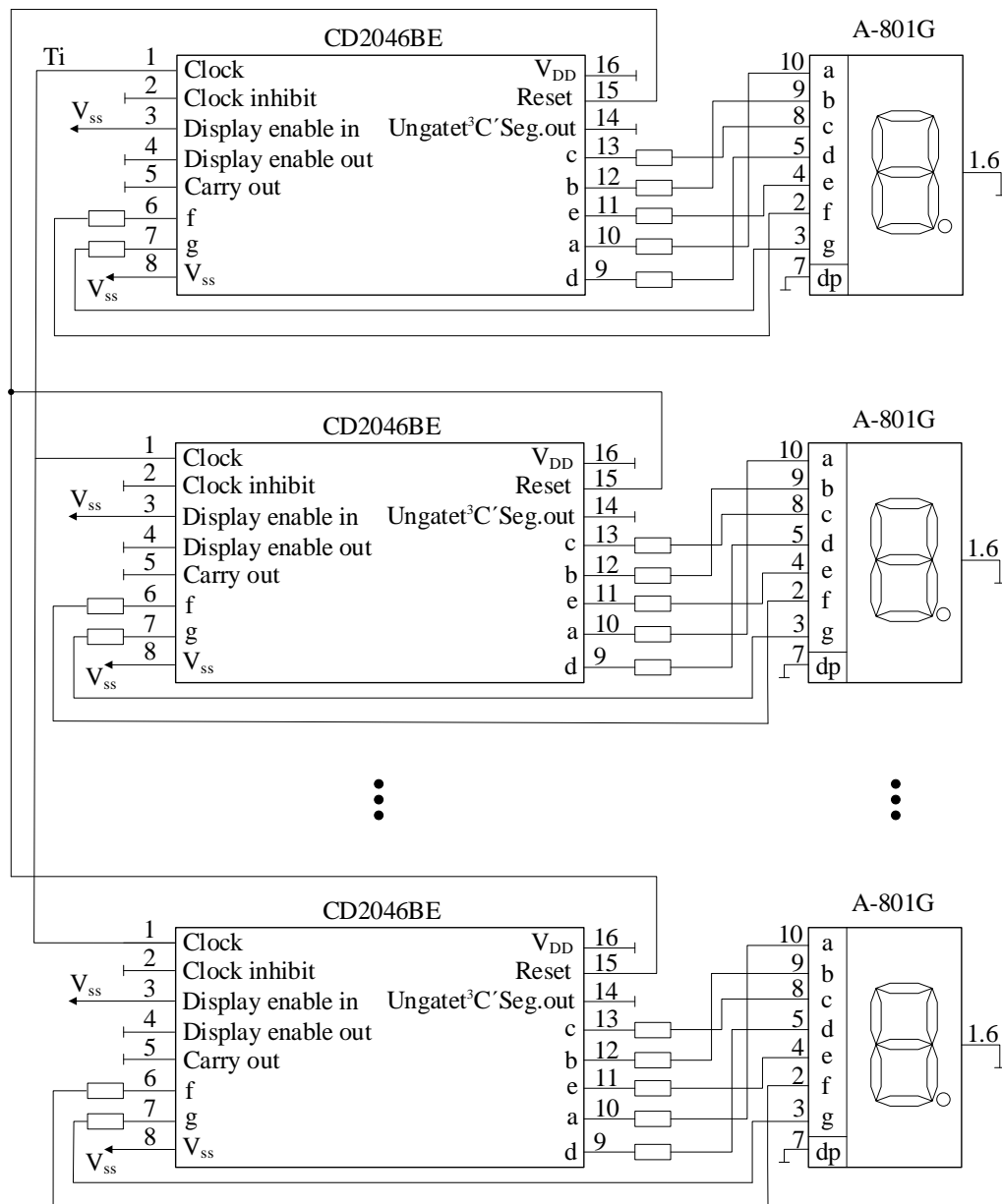


Рисунок 4 – Схема під'єднань мікросхеми CD4026E та індикатора A-801G

Наведену схему обчислювача (рис.1) планується зробити у вигляді макету для студентів при викладанні лабораторних робіт з дисципліни «Цифрова обробка сигналів». При цьому, якщо блок індикації (рис.1) побудовано на розглянутих мікросхемах: CD4026E та A-801G (рис.4), то попередні вузли, а саме, регістру пам'ять, пам'ять даних на лічильниках, масив елементів маски та вузол керування планується розмістити на мікросхемі ПЛІС типу FPGA [8].

Висновки

1. Запропоновано обчислювач, який має регулярну структуру та розширені функціональні можливості, оскільки виконує не тільки сортування елементів числового масиву, формує і запам'ятовує їх ранги, але й може візуалізувати результати ранжування.

2. Запропонована структура обчислювача має регулярність побудови як у горизонтальному, так і вертикальному напрямках, що дозволить ефективно її розмістити у мікросхемі ПЛІС типу FPGA з можливістю модульного нарощування, а отже, збільшення кількості входів для сортованого масиву чисел.

3. Відповідно час вертикально-паралельного процесу сортування із залученням швидкісних операцій декремента/інкремента залежить виключно від значення максимального числа серед масиву чисел. Це дозволить визначитись з гранично-максимальним часовим параметром обчислювача, а також прискорить процес сортування без задіяння часу на попарне порівняння та перестановку елементів числового масиву.

4. Показано, що в обчислювачі у масиві вихідних лічильників формуються ранги, отже, існує можливість використати масив семисегментних індикаторів, які узгоджені за параметрами з мікросхемами лічильників, для візуалізації результатів ранжування. Це робить зручним зчитування рангів у вигляді десяткової інформації з можливістю обрати як максимальний/мінімальний елемент, так і середній за значенням елемент у відсортованому масиві чисел.

Список літератури

- [1] Г. Лорин, *Сортировка и системы сортировки*. М., Россия: Мир, 1983.
- [2] Т. Б. Мартинюк, А. В. Медвідь, та О. М. Гуцол, «Моделювання процесу ранжування значень дискримінантних функцій», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №5, с.47-80. 2013.
- [3] У. Прэтт, *Цифровая обработка изображений*. М., Россия: Мир, 1982.
- [4] Т. Б. Мартинюк, та Я. В. Запетрук, «Нейромережевий підхід до медичної експрес-діагностики», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №6, с. 37-44. 2019.
- [5] Г. М. Гнатієнко, та В. Є. Снитюк, *Експертні технології прийняття рішень*, Монографія. Київ, Україна: ТОВ «Маклаут», 2008.
- [6] Т. Б. Мартинюк, Б. І. Круківський, та А. І. Друзюк, «Сортувальник з індикацією рангів елементів масиву чисел», *Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2018»*, шоста міжнарод. наук.-техн. конф., 2-4 жовтня 2018р., збірник тез. Вінниця: Вид-во ПП «ТД Едельвейс і К», 2018, с.30.
- [7] Т. Б. Мартинюк, та Б. І. Круківський, «Модель паралельного сортувальника для асоціативного процесора», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №5, с. 49-55. 2020.
- [8] В. Б. Стешенко, *ПЛИС фирмы «ALTERA»: элементная база, система проектирования и языки описания*. М., Россия: Додэка-XXI, 2002.
- [9] Т. Б. Мартинюк, та Б. І. Круківський, «Пристрій для ранжування чисел», *Патент України G06F 7/06. № 139604 МПК (2006.01)*, 12.08.2019.
- [10] Т. Б. Мартинюк, С. В. Богомолів, та Б. І. Круківський, «Особливості візуалізації результатів ранжування у сортувальнику числових масивів», на Всеукраїнській наук.-практ. конф., «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», ВНТУ, 01-14 травня, 2021.
- [11] Я. И. Фет, *Параллельные процессоры для управляющих систем*. М., Россия: Энергоиздат, 1981.
- [12] І. Г. Цмоць, В. Я. Антонів, та В. О. Парубчак, Паралельно-вертикальне сортування одновимірних даних методом злиття з використанням підрахунку. *Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці*, вип. 68, с. 92–100. 2013.
- [13] Е. А. Метлицкий и В. В. Каверзнев, *Системы параллельной памяти: Теория, проектирование, применение*. Л., Россия: Изд-во Ленинград. ун-та, 1989.
- [14] Т. Кохонен, *Ассоциативные запоминающие устройства*. Москва: Мир, 1982.
- [15] Мікросхема CD4026E. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.payatel.ru/829-mikroshema-cd4026.html>.
- [16] А-801G. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/a-801g-indikator-semisegmentnyj_57562.html.

Стаття надійшла: 24.11.2021.

References

- [1] H. Lorin, *Sortirovka i sistemy sortirovki*. M., Rossija: Mir, 1983. [in Russian].
- [2] T. B. Martyniuk, A. V. Medvid, ta O. M. Hutsol, «Modeliuvannia protsesu ranzhuvannia znachen dyskryminantnykh funktsii», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, №5, s. 47-80. 2013 [in Ukrainian].
- [3] W. Prjett, *Cifrovaja obrobka izobrazhenij*. M., Rossija: Mir, 1982 [in Russian].
- [4] T. B. Martyniuk, ta Ya. V. Zapetrjuk, «Neiomerezhevyi pidkhdid do mediannoї ekspres-diahnostyky», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, №6, s. 37-44. 2019 [in Ukrainian].
- [5] H. M. Hnatiienko, ta V. Ye. Snytiuk, *Ekspertni tekhnolohii pryiniattia rishen*, Monohrafiia. Kyiv, Ukraina: TOV «Maklaut», 2008 [in Ukrainian].
- [6] T. B. Martyniuk, B. I. Krukivskyi, ta A. I. Druziuk, «Sortuvalnyk z indykatsiieiu ranhiv elementiv masyvu chysel», *Optoelektronni informatsiini tekhnolohii «Fotonika ODS-2018»*, shosta mizhnarod. nauk.-tekhn. konf., 2-4 zhovtnia 2018r., zbirnyk tez. Vinnytsia: Vyd-vo PP «TD Edel-veis i K», 2018, s. 30 [in Ukrainian].
- [7] T. B. Martyniuk, ta B. I. Krukivskyi, «Model paralelnoho sortuvalnyka dlia asotsiatyvnoho protsesora», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, №5, s. 49-55. 2020 [in Ukrainian].
- [8] V. B. Steshenko, *PLIS firmy «ALTERA»: jelementnaja baza, sistema proektirovanija i jazyki opisanija*. M., Rossija: Dodeka-HHI, 2002 [in Russian].
- [9] T. B. Martyniuk, ta B. I. Krukivskyi, «Prystrii dlia ranzhuvannia chysel», *Patent Ukrainy G06F 7/06. № 139604 MPK (2006.01)*, 12.08.2019 [in Ukrainian].

- [10] T. B. Martyniuk, S. V. Bohomolov, та B. I. Krukivskyi, «Osoblyvosti vizualizatsii rezultativ ranzhuvannia u sortuvalnyku chyslovykh masyviv», *na Vseukrainskii nauk.-prakt. konf., «Molod v nauksi: doslidzhennia, problemy, perspektyvy (MN-2021)»*, VNTU, 01-14 travnia, 2021 [in Ukrainian].
- [11] Ja. I. Fet, *Parallel'nye processory dlja upravljajushchih sistem*. M., Rossija: Jenergoizdat, 1981 [in Russian].
- [12] I. H. Tsmots, V. Ya. Antoniv, та V. O. Parubchak, Paralelno-vertykalne sortuvannia odnovy-mirnykh danykh metodom zlyttia z vykorystanniam pidrakhunku. *Zbirnyk naukovykh prats. Instytut problem modeliuвання v enerhetytsi*, вып. 68, s. 92–100, 2013 [in Ukrainian].
- [13] E. A. Metlickij i V. V. Kaverznev, *Sistemy parallel'noj pamjati: Teorija, proektirova-nie, primenenie*. L., Rossija: Izd-vo Leningrad. un-ta, 1989 [in Russian].
- [14] T. Kohonen, *Associativnye zapominajushhie ustrojstva*. Moskva: Mir, 1982 [in Russian].
- [15] Mikroskhema CD4026E. [Online]. Available: <http://www.payatel.ru/829-mikroskhema-cd4026.html>. [in Russian].
- [16] A-801G. [Online]. Available: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/a-801g-indikator-semisegmentnyj_57562.html.

Відомості про авторів

Мартинюк Тетяна Борисівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки.

Крупельницький Леонід Віталійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки.

Круківський Богдан Ігорович – аспірант факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Т. Б. Мартинюк, Л. В. Крупельницький, Б. І. Круковський

РЕГУЛЯРНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ ДАННЫХ

Винницкий национальный технический университет, Винница

T. B. Martyniuk, L. V. Krupelnitskyi, B. I. Krukivskyi

REGULAR COMPUTATIONAL STRUCTURE FOR DATA RANKING

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 04.31

Л. С. Ясенко, Я. М. Клятченко

ВЛАСТИВОСТІ ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ АВТОКОДЕРА

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

Анотація. Розглянуто згорткові властивості автокодувальної нейронної мережі для задач виявлення об'єктів на зображенні. Для тренувань і тестувань були згенеровані набори даних у вигляді двовимірних зображень з трьома каналами передачі кольору. Зображення згенеровані на основі тривимірної сцени, що складається з таких об'єктів як сфери, куби, циліндри і моделі "мавпочок". Проведено оцінку часу тренування мережі на даних із різними конфігураціями та результату на виході нейронної мережі.

Ключові слова: набір даних, тренування, нейронна мережа, автокодер, згортка.

Аннотація. Рассмотрены сверточные свойства автокодирующей нейронной сети для задач обнаружения объектов на изображении. Для тренировок и тестирования были сгенерированы наборы данных в виде двумерных изображений с тремя цветовыми каналами. Изображения сгенерированы на основе трехмерной сцены, состоящей из таких объектов как сферы, кубы, цилиндры и модели "обезьянок". Проведена оценка времени тренировки сети на данных с различными конфигурациями и результата на выходе нейронной сети.

Ключевые слова: набор данных, тренировка, нейронная сеть, автокодер, свертка.

Abstract. The convolutional properties of the autoencoding neural network for the object detection problem in the image are considered. Data sets in the form of two-dimensional images with three color channels were generated for training and testing. The images are generated based on a three-dimensional scene consisting of objects such as spheres, cubes, cylinders and "monkey" models. The time of network training on the data with different configurations and the result at the output of the neural network were estimated.

Key words: data set, training, neural network, autoencoder, convolution.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-77-85>.

Вступ

В сучасному світі часто використовують нейронні мережі для вирішення задач обробки зображень. Серед цих задач можуть бути такі актуальні задачі як фільтрація, чи виявлення об'єктів. Наприклад, на сьогоднішній день особлива увага приділяється підвищенню ефективності розв'язання задачі обробки потокових даних в процесі безперервного моніторингу навколишнього середовища. Зважаючи на складність формалізації подання потокових даних особлива увага приділяється вирішенню цієї задачі саме в реальному часі з урахуванням інформаційних завад та зашумленості даних.

Актуальність

Для вирішення поставлених задач досліджуються властивості автокодувальної нейронної мережі. Для тренування таких нейронних мереж можна застосовувати як дані з різною розмірністю так і зі сталою. Так в попередній роботі [1], що досліджувала нейронну мережу, в якості знешумлювача зображень було виявлено, що даний автокодер міг не тільки знешумити зображення, але і перетворити зображення з одного виду представлення в інший відповідно до набору тренувальних даних. Актуальність нового дослідження властивостей автокодувальної нейронної мережі обумовлена конфігураційною складністю потокових даних та великою частотою їх зміни. Формуються зображення деякої тривимірної сцени на базі наборів об'єктів-примітивів. Дані набори було отримано в процесі рендерингу з використанням відкритого програмного забезпечення "Blender". Кожен тренувальний набір містить 1000 таких зображень.

Мета

Метою даної роботи є визначення ефективних рішень у сфері задач виявлення об'єктів на зображенні.

Задачі

1. Змодельовати нейронну мережу.
2. Провести конфігурування нейронної мережі.
3. Оцінити результати тренувань і тестів на різних наборах даних.

Розв'язання задач

Розбір зображення потребує використання двовимірного оператора згортки. Це визначається відношенням між $g_i(x, y)$ вхідного зображення, функції $h(\varepsilon, \eta)$ ядра згортки H , та вихідного зображення $g_o(x, y)$:

$$g_o(x, y) = \sum_{\varepsilon=-\infty}^{\infty} \sum_{\eta=-\infty}^{\infty} g_i(\varepsilon, \eta) h(x-\varepsilon, y-\eta), \quad (1)$$

де x, y, ε та η - цілі числа.

Можуть існувати прямокутні ядра згортки, в яких $k_x \neq k_y$, проте більшість ядер згортки мають квадратну форму, $k_x = k_y = k$, де k - це не парне число і значно менше від лінійної розмірності зображення N . Тож формулу 1 можна переписати наступним чином [2]:

$$g_o(x, y) = \sum_{\varepsilon=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} \sum_{\eta=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} g_i(\varepsilon, \eta) h(x-\varepsilon, y-\eta) \quad (2)$$

В процесі згортки (рис.1) використовується маска (ядро), що рухається від елемента до елемента і обчислює для кожного елемента деяку визначену величину [3].

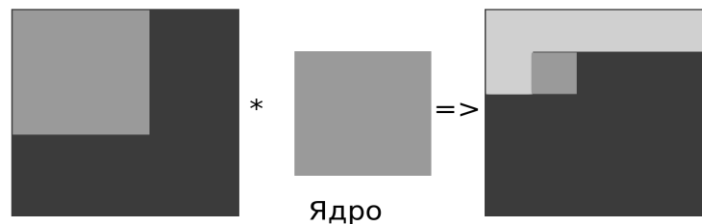


Рисунок 1 – Умовний схематичний вигляд операції згортки

Згорткова нейронна мережа

Архітектура згорткових нейронних мереж (ЗНМ) аналогічна структурі з'єднання нейронів у людському мозку і реалізувала організацією зорової кори. Окремі нейрони реагують на подразники лише в обмеженій зоні поля зору, відомої як Поля сприйняття. Колекція таких полів перекривається, щоб охопити всю зону зору [4]. Для дослідження було взято автокодер конфігурації, що показана на рис.2.



Рисунок 2 – Схематичне зображення згорткової нейронної мережі - автокодера

ЗНМ покращують свої можливості виявлення для незвично розміщених об'єктів, використовуючи шари прорідження (pool) для обмеженої інваріантності трансформації та обертання. Прорідження також дозволяє використовувати більш згортливі шари, зменшуючи споживання пам'яті [5].

Для моделювання нейронної мережі застосовувався популярний фреймворк Pytorch. В процесі тренування використовувалися 3 набори даних (вхідні зображення і перевірочні, на яких були виділені "мавпочки" окремим кольором): перший набір складався з зображень 128 на 128 пікселів, другий – 512 на 512, і третій – зображення різного прямокутного розміру – від 4 до 512 пікселів кратних 4.

Кратність розмірів вхідних даних зумовлена шарами прорідження, після проходження яких розмірність представлення даних змінюється в 2 рази.

Для розрахунку розмірності після проходження згорткових шарів в кодері використовуються наступні формули:

$$H_{out} = \left[\frac{H + 2 \times Py - Dy \times (Ky - 1) - 1}{sy} + 1 \right], \quad (3)$$

$$W_{out} = \left[\frac{W + 2 \times Px - Dx \times (Kx - 1) - 1}{sx} + 1 \right], \quad (4)$$

де H_{out} – висота вихідного шару, H_{in} – висота вхідного шару, P_y – висота відступу, D_y – відстань між елементами ядра по вертикалі, K_y – розмір ядра по вертикалі, S_y – крок згортки по вертикалі, W_{out} – ширина вихідного шару, W_{in} – ширина вхідного шару, P_x – ширина відступу, D_x – відстань між елементами ядра по горизонталі, K_x – розмір ядра по горизонталі, S_x – крок згортки по горизонталі[6].

Для декодера використовують формули для шарів зворотної згортки:

$$H_{out} = (H_{in} - 1) \times S_y - 2 \times P_y + D_y \times (K_y - 1) + P_{y0} + 1, \quad (5)$$

$$W_{out} = (W_{in} - 1) \times S_x - 2 \times P_x + D_x \times (K_x - 1) + P_{x0} + 1, \quad (6)$$

де P_{y0} та P_{x0} – відступи в вихідному шарі, а решта змінних позначають аналогічно до формул 3, 4[7].

Проріджуючі шари в цій нейронній мережі використовують фільтр максимуму з ядром 2 на 2.

Конфігурація нейронної мережі (автокодера) має такий вигляд, відповідно до фреймворку Pytorch:

```
Model(
  (conv1): Conv2d(3, 16, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1), padding=(1, 1))
  (conv2): Conv2d(16, 64, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1), padding=(1, 1))
  (pool): MaxPool2d(kernel_size=2, stride=2, padding=0, dilation=1, ceil_mode=False)
  (t_conv1): ConvTranspose2d(64, 64, kernel_size=(2, 2), stride=(2, 2))
  (t_conv2): ConvTranspose2d(64, 16, kernel_size=(2, 2), stride=(2, 2))
  (conv_out): Conv2d(16, 3, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1), padding=(1, 1))
)
```

Результати

Розглянемо результати тренувань і тестів на різних наборах даних. Усі набори даних тренувалися по 64 епохи з використанням 75% зображень.

Ця нейронна мережа застосовувалася на наборах з зображеннями 128 на 128 пікселів і тренувалася 479.63 одиниці часу. Після тренування середньоквадратичне відхилення перевірочних зображень від зображень на виході становило 0.00267.

На наступному графіку наведено залежність втрат (відхилення/losses) від кількості епох тренування (epochs).

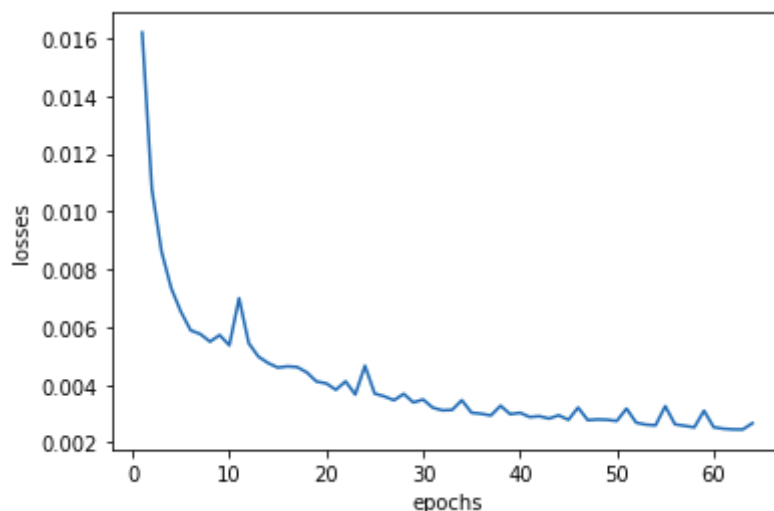


Рисунок 3 – Графік залежності під час тренування на першому наборі даних

Для тестувань використовувалося 25 % зображень. З усіх наборів даних. Отримано наступні дані. Найгірший результат для тестування на наборі зображень 128 на 128 пікселів становить 0.0186, найкращий – 0.00067, середній 0.044. Для тестування на наборі зображень 512 на 512 пікселів найгіршим є ре-

зультат 0.0327, найкращим – 0.00192, середнім – 0.0126. Для тестування на наборі зображень від 4 до 512 пікселів найгіршим є результат 0.0382, найкращим – 0.00018, середнім – 0.0091. Згідно з цими даними найкраще, дана мережа підходить для виявлення об'єктів на тому типі набору даних, на якому її було натреновано.

Для певності розглянемо зображення на виході нейронної мережі.

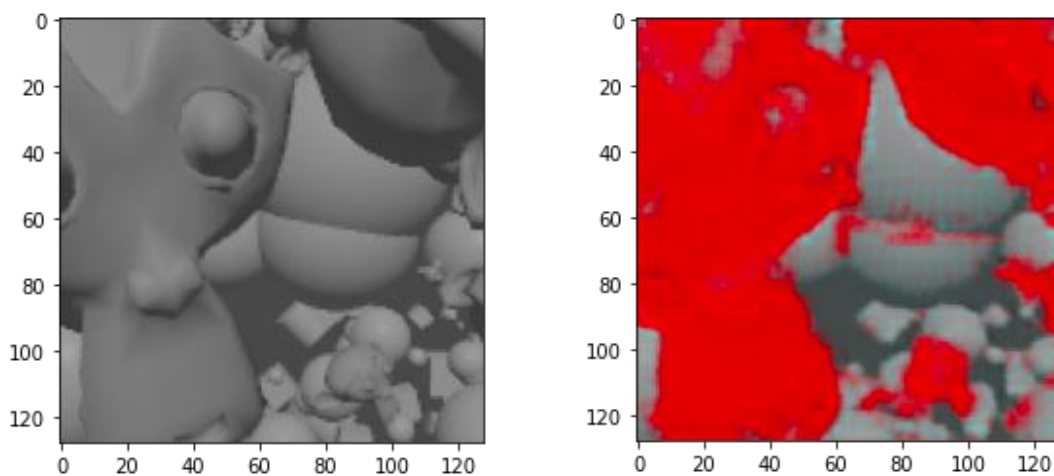


Рисунок 4 – Вхідне та вихідне зображення на наборі 128 на 128

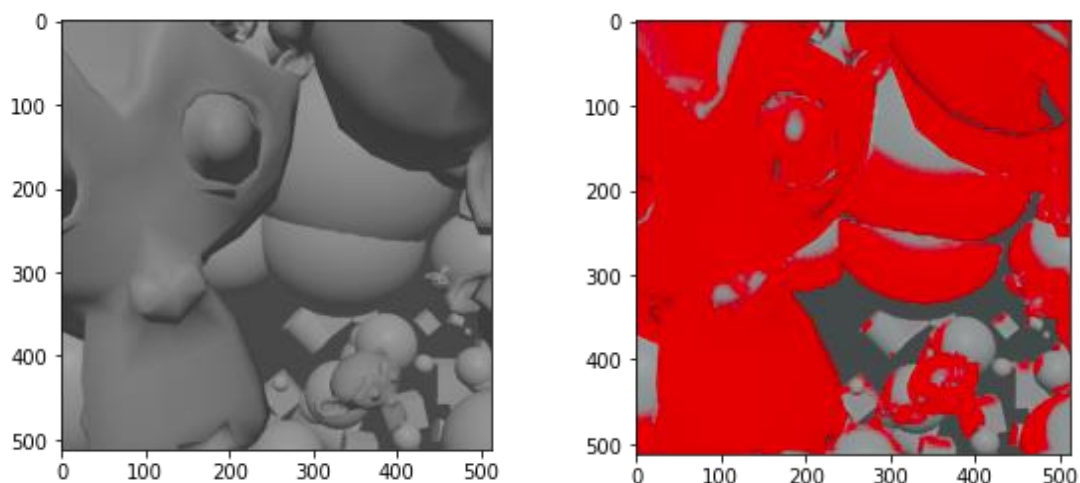


Рисунок 5 – Вхідне та вихідне зображення на наборі 512 на 512

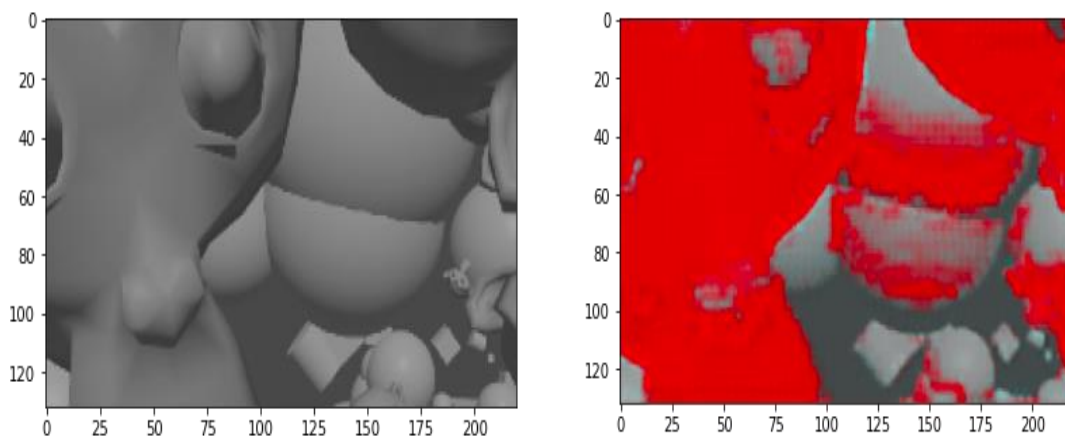


Рисунок 6 – Вхідне та вихідне зображення на наборі від 4 до 512

Із рисунків 4 – 6 видно, що на двох останніх наборах нейронна мережа набагато гірше обробляє тіні об'єктів і позначає їх як "мавпочок" – червоним.

Наступна мережа застосовувалася на наборах з зображеннями 512 на 512 пікселів, вона тренувалася 3910.46 одиниці часу. Після тренування середньоквадратичне відхилення перевірючих зображень від зображень на виході становило 0.00479.

На наступному графіку наведено залежність втрат (відхилення/losses) від кількості епох тренування (epochs).

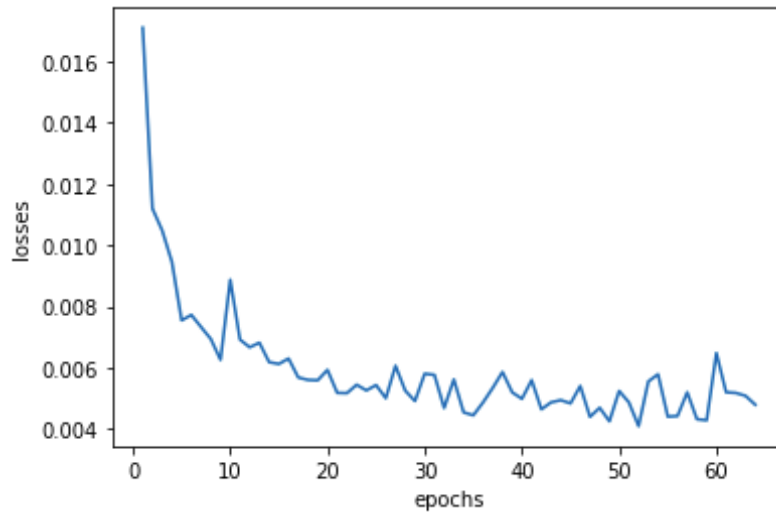


Рисунок 7 –Графік залежності під час тренування на другому наборі даних

Тестування відбувалося аналогічно. Після тренування були отримані такі дані. Найгірший результат для тестування на наборі зображень 128 на 128 пікселів становить 0.0182, найкращий – 0.00183, середній 0.0075. Для тестування на наборі зображень 512 на 512 пікселів найгіршим є результат 0.0167, найкращим – 0.00138, середнім – 0.0060. Для тестування на наборі зображень від 4 до 512 пікселів найгіршим є результат 0.0217, найкращим – 0.00033, середнім – 0.0062. Згідно з цими даними найкраще, дана мережа, так само, підходить для виявлення об'єктів на тому типі набору даних, на якому її було натреновано.

Розглянемо зображення на виході нейронної мережі.

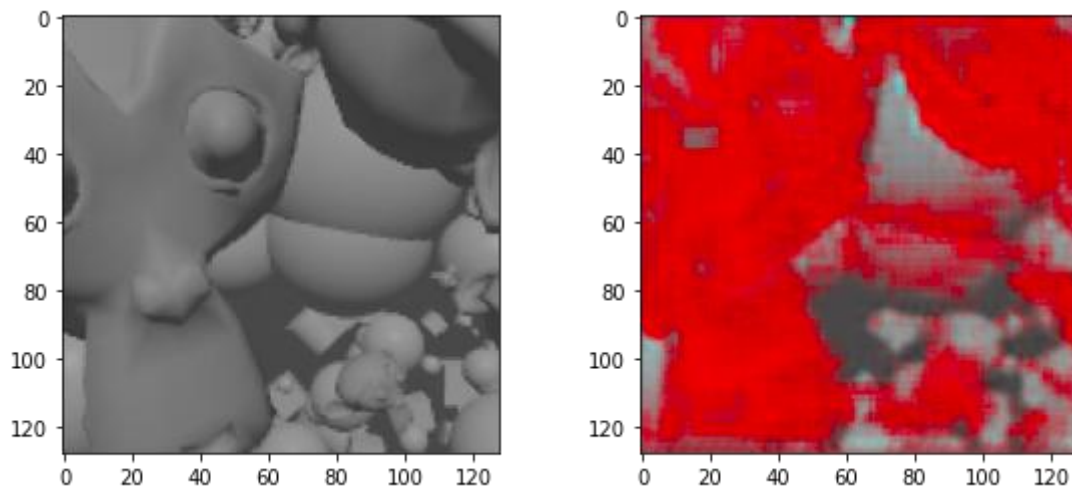


Рисунок 8 – Вхідне та вихідне зображення на наборі 128 на 128

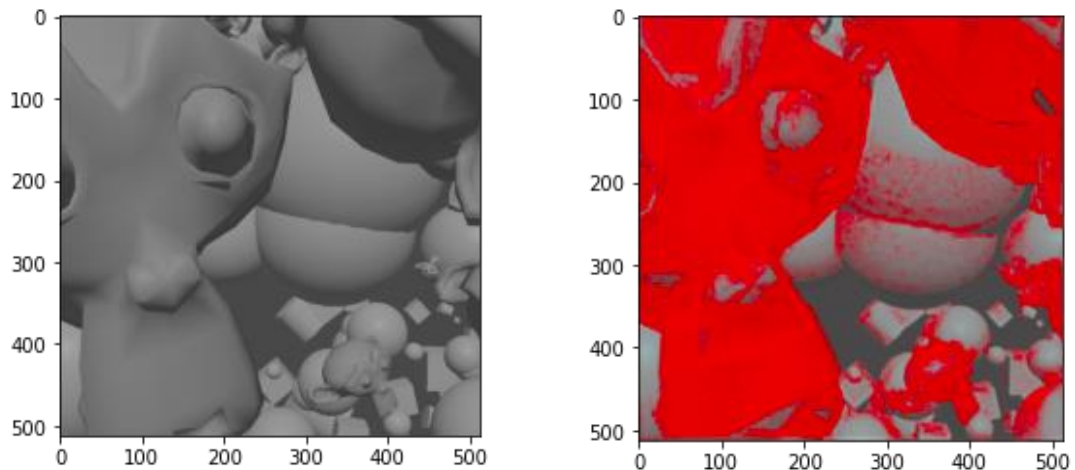


Рисунок 9 – Вхідне та вихідне зображення на наборі 512 на 512

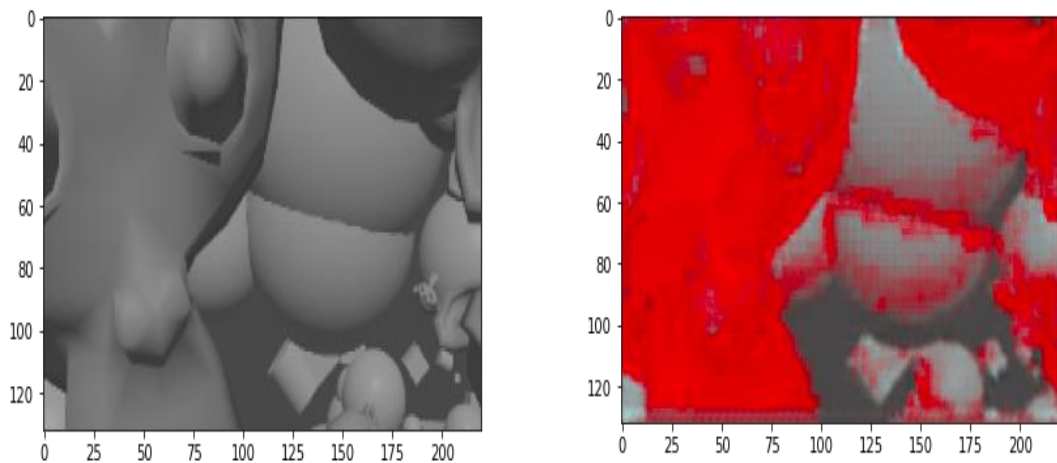


Рисунок 10 – Вхідне та вихідне зображення на наборі від 4 до 512

Відповідно до зображень на рисунках 14-16 можна сказати, що дана нейронна мережа, так само, не може розрізняти тіні і значно гірше працює на інших наборах даних.

Тож розглянемо третій варіант, де нейронна мережа тренувалася на наборі різних прямокутних зображень. Час її тренування тривав 963.08 одиниці часу, і по його закінченню, середньоквадратичне відхилення становило 0.00561. Графік тренування представлено рисунком 11.

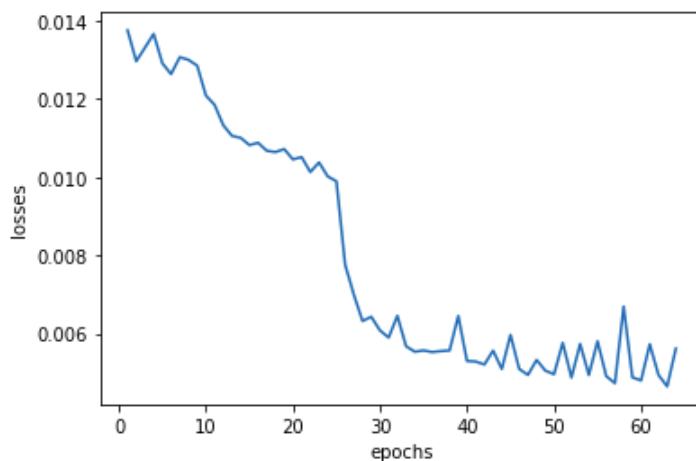


Рисунок 11 – Графік залежності під час тренування на третьому наборі даних

Тестування проводилося аналогічно до попередніх двох прикладів. Найгірший результат для тестування на наборі зображень 128 на 128 пікселів становить 0.0340, найкращий – 0.00378, середній 0.0154. Для тестування на наборі зображень 512 на 512 пікселів найгіршим є результат 0.0443, найкращим – 0.00624, середнім – 0.0212. Для тестування на наборі зображень від 4 до 512 пікселів найгіршим є результат 0.0647, найкращим – 0.00180, середнім – 0.0186. Згідно з цими даними найкраще, дана мережа, так само, підходить для виявлення об'єктів на тому типі набору даних, на якому її було натреновано.

Розглянемо зображення на виході нейронної мережі.

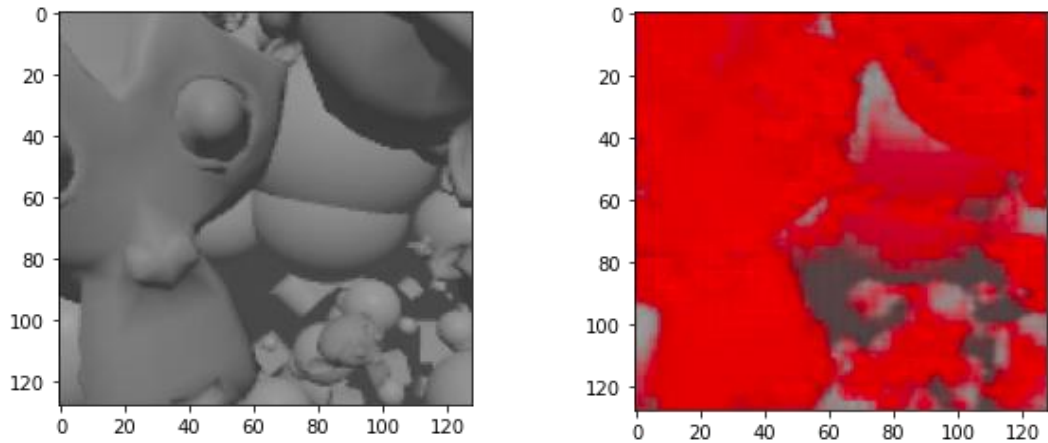


Рисунок 12 – Вхідне та вихідне зображення

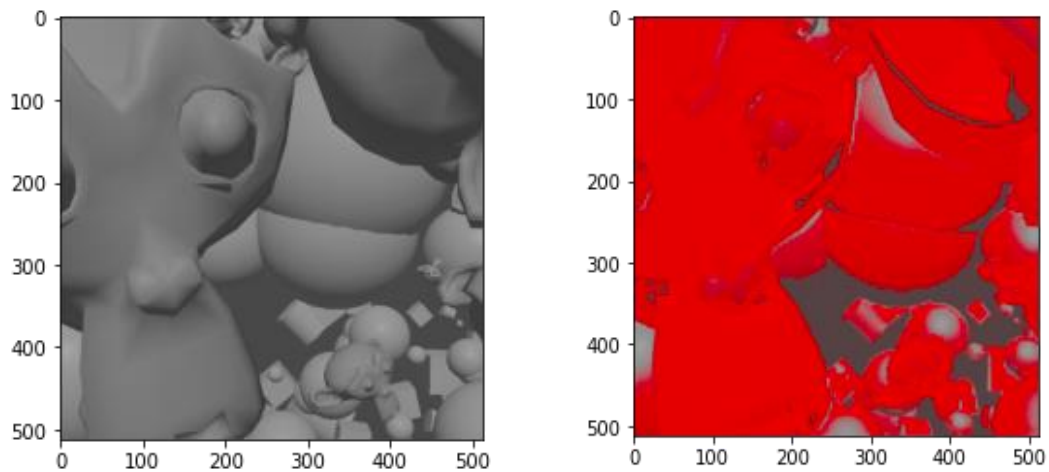


Рисунок 13 – Вхідне та вихідне зображення

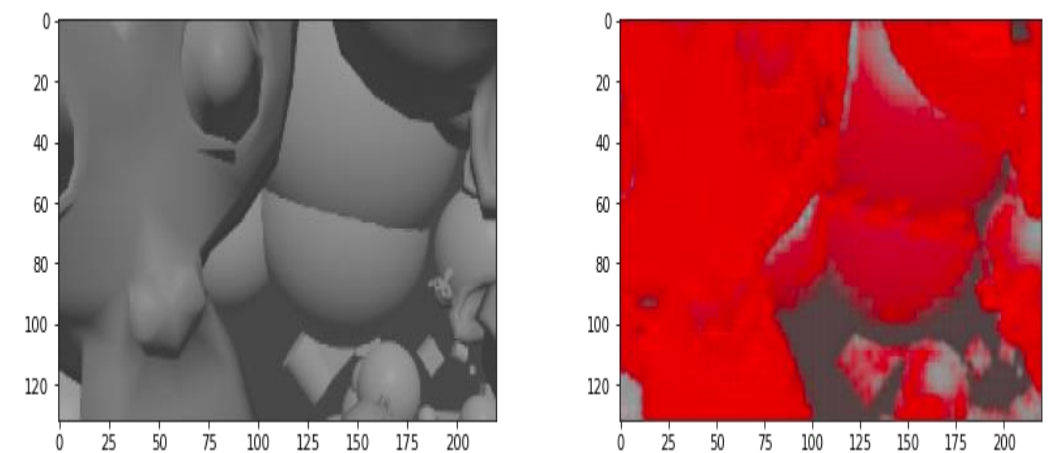


Рисунок 14 – Вхідне та вихідне зображення

За числовими показниками і за рисунками 12-14 ця нейронна мережа була натренована найгірше в порівнянні з попередніми, і тому на всіх вихідних зображеннях позначала всі об'єкти червоним.

Висновки

1. Зазвичай дана модель у вигляді автокодера не застосовується для виявлення об'єктів на зображенні. Зображення що подавалися на вхід, для тренування нейронної мережі, мали бути кратні 4, щоб під час відновлення за допомогою декодера розміри вхідного і вихідного зображення збігалися. У разі використання даних не кратних 4 необхідно, відповідно до формул 3-6 змінити внутрішні шари нейронної мережі, якщо всі зображення в наборі будуть однакового розміру, або додавати до зображення пусті рядки так колонки пікселів, щоб воно стало кратним 4.

2. Конфігурація нейронної мережі відбувається в процесі її тренування, шляхом порівняння вихідних і очікуваних зображень. Дана конфігурація не є універсальною, оскільки портебує дані специфічної розмірності на вході. Для того, щоб використовувати цю нейронну мережу на будь яких плоских зображеннях з 3 каналами даних необхідно додати в алгоритм їх обробку перед і після проходження автокодера.

3. При тренуванні нейронних мереж виникають такі проблеми як "недотренування", або "перетренування". В даному випадку в усіх трьох випадках не вистачило ні часу для тренування, ні даних. Що свідчить про "недотренування". Для покращення результатів необхідно збільшити час а також збільшити вибірку даних на яких можна натренувати мережу.

Список літератури

- [1] L. Yassenko, Y. Klyatchenko and O. Tarasenko-Klyatchenko, «Image noise reduction by denoising autoencoder», *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 351-355, doi:10.1109/DESSERT50317.2020.9125027.
 - [2] Michael Seul, Lawrence O'Gorman, Michael J. Sammon, *Practical Algorithms for Image Analysis*. [Online]. Available: https://books.google.com.ua/books?id=5xcIErZZIN8C&printsec=frontcover&dq=Practical+Algorithms+for+Image+Analysis&hl=uk&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Practical%20Algorithms%20for%20Image%20Analysis&f=false.
 - [3] Р. Гонсалес, Р. Вудс, *Цифровая обработка изображений*. Москва: Техносфера. 2005, 1072с.
 - [4] A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks – the ELI5 way. Sumit Saha. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>.
 - [5] Convolutional Neural Network (CNN). [Online]. Available: <https://developer.nvidia.com/discover/convolutional-neural-network>.
 - [6] Conv2d. [Online]. Available: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.Conv2d.html>.
 - [7] ConvTranspose2d. [Online]. Available: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.ConvTranspose2d.html#torch.nn.ConvTranspose2d>.
- Стаття надійшла: 09.11.2021.

References

- [1] L. Yassenko, Y. Klyatchenko and O. Tarasenko-Klyatchenko, «Image noise reduction by denoising autoencoder», *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 351-355, doi:10.1109/DESSERT50317.2020.9125027.
- [2] Michael Seul, Lawrence O'Gorman, Michael J. Sammon, *Practical Algorithms for Image Analysis*. [Online]. Available: https://books.google.com.ua/books?id=5xcIErZZIN8C&printsec=frontcover&dq=Practical+Algorithms+for+Image+Analysis&hl=uk&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Practical%20Algorithms%20for%20Image%20Analysis&f=false.
- [3] R. Gonzalez, R. Woods. *Digital image processing*. Moscow: Technosphere. 2005, 1072 p. [in Russian].
- [4] A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks – the ELI5 way. Sumit Saha. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>.
- [5] Convolutional Neural Network (CNN). [Online]. Available: <https://developer.nvidia.com/discover/convolutional-neural-network>.
- [6] Conv2d. [Online]. Available: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.Conv2d.html>.
- [7] ConvTranspose2d. [Online]. Available: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.ConvTranspose2d.html#torch.nn.ConvTranspose2d>.

Відомості про авторів

Ясенко Лев Сергійович – магістрант кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем.

Клятченко Ярослав Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем.

Л. С. Ясенко, Я. М. Клятченко

**СВЕРТОЧНЫЕ СВОЙСТВА НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА
ОСНОВЕ АВТОКОДЕРА**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев

L. S. Yasenko, Y. M. Klyatchenko

**CONVOLUTIONAL PROPERTIES OF A NEURAL
NETWORK BASED ON AUTOENCODERS**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 519.816+578.834.1

В. Б. Мокін, М. В. Дратованій, А. В. Лосенко, С. О. Жуков

ПРОГНОЗУВАННЯ ХВИЛЬ КОРОНАВІРУСУ НА ОСНОВІ
ВІДНОВЛЕНОЇ КОГНІТИВНОЇ КАРТИ
МІЖРЕГІОНАЛЬНОГО ВПЛИВУ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. У даній статті розглянуто актуальне завдання прогнозування дат старту, піку та завершення хвиль щодобових приростів кількості підтверджених хворих на коронавірус у заданому регіоні на основі когнітивної карти, яка враховує міжрегіональний вплив, тобто інших регіонів на заданий, і – навпаки. Запропоновано метод ідентифікації ваг такої когнітивної карти для регіонів- сусідів. Розроблено поетапний алгоритм застосування цього методу на практиці за реальними даними по хворих на коронавірус у цих регіонах, наведено ряд прийомів щодо його реалізації та здійснено його автоматизацію на Python. Наведено приклад для перевірки працездатності запропонованих методу та алгоритму на прикладі аналізу взаємодії та прогнозування дати завершення хвилі коронавірусу в Україні за даними по Румунії на основі відновлених ваг когнітивної карти 2-го порядку.

Ключові слова: когнітивне моделювання, когнітивна карта, коронавірус, хвиля кількості нових підтверджених хворих, теорія графів.

Аннотация. В данной статье рассмотрена актуальная задача прогнозирования дат старта, пика и завершения волн ежесуточных приростов количества подтвержденных больных коронавирусом в заданном регионе на основе когнитивной карты, учитывающей межрегиональное влияние, то есть других регионов на заданное, и – наоборот. Предложен метод идентификации весов такой когнитивной карты для регионов-соседей. Разработан поэтапный алгоритм применения этого метода на практике по реальным данным по больным коронавирусом в этих регионах, приведен ряд приемов по его реализации и осуществлена его автоматизация на Python. Представлен пример для проверки работоспособности предложенных метода и алгоритма на примере анализа взаимодействия и прогнозирования даты завершения волны коронавируса в Украине по данным по Румынии на основе восстановленных весов когнитивной карты 2-го порядка.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, когнитивная карта, коронавирус, волна количества новых подтвержденных больных, теория графов.

Abstract. This article considers the urgent task of predicting the start, peak and end waves of daily increases in the number of confirmed coronavirus patients in a given region based on a cognitive map that takes into account interregional influence, ie other regions on a given, and vice versa. A method for identifying the weights of such a cognitive map for neighboring regions is proposed. A step-by-step algorithm for applying this method in practice based on real data on coronavirus patients in these regions has been developed, a number of techniques for its implementation have been presented, and its automation in Python has been carried out. An example is given to test the efficiency of the proposed method and algorithm on the example of interaction analysis and prediction of the end date of the coronavirus wave in Ukraine according to Romania based on the restored weights of the second order cognitive map.

Key words: cognitive modeling, cognitive map, coronavirus, wave of new confirmed patients, graph theory. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-86-94>.

Вступ

Пандемія коронавірусу досі лишається однією з найбільших проблем людства. Усі країни світу пережили вже не одну хвилю, які рахують по кількості щоденних підтверджених нових хворих. Поки вчені усієї планети шукають способи побороти проблему, інші намагаються хоч якось адаптуватись до неї. А для цього важливо навчитись якомога раніше прогнозувати появу нових хвиль, в ідеалі – 3 її основні часові параметри: дата старту, дата піку, дата завершення. Без такої мінімальної інформації країнам та їх регіонам вкрай важко здійснювати будь-яке планування в усіх сферах життя.

Актуальність

Проблемою прогнозування часових параметрів хвиль коронавірусу у заданому регіоні займається велика кількість вчених. В Україні цим займається міжвідомча Робоча група при Національній академії наук України з математичного моделювання проблем, пов'язаних з епідемією коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні, яка регулярно готує аналітику для РНБО України та інших установ та інституцій. Членом цієї робочої групи є один зі співавторів даної статті. Вчені використовують різні підходи: методи математичного моделювання з використанням SIR-моделей та їх модифікацій, використання методів машинного навчання за багатьма різними ознаками, методів статистичного і регресійного аналізу, методів теорії часових рядів (ARIMA, Prophet) та ін. [1-5]. Але усі вони мають ряд недоліків: по-перше, велика невизначеність та чималі проблеми з якістю вхідних даних (у т.ч. затримки з оприлюдненням інформації на 3-30 днів; затримки, через свята; затримки на рівні країни, через різні часові пояси, тощо), а по-друге, у більшості робіт до уваги береться, переважно, інформація про розвиток хвороби у заданому регіоні (країні, штаті, області тощо), але не враховується її розвиток в інших, передусім, сусідніх, регіонах. А у тих роботах (див., наприклад, [6-8]), де це враховується, або робляться спроби максимально врахувати кількість туристів з кожної країни (але важко за відкритими даними відслідкувати хто прибув напряму звідти, а хто – транзитом) з використанням кореляційного аналізу, який є дуже чутливим до законів розподілу величин, що рідко бувають розподіленими за нормальним або, хоча б, логарифмічно-нормальним зако-

В. Б. Мокін, М. В. Дратованій, А. В. Лосенко, С. О. Жуков, 2021

нами [6]. Або автори намагаються надто детально врахувати велику кількість факторів, але констатують, що відсутні точні дані про перетин сухопутного кордону жителями, наприклад, країн Африки, що унеможливує точний кількісний аналіз взаємовпливу країн [7]. Або, аналогічно, враховують тільки авіаперевезення, але ігнорують долю транзитних пасажирів та й інші види перетину кордону громадянами, які важко оцінити, а тому складно кількісно порахувати [8].

У роботі [9] у вигляді побудованих з інтервалом в 1-2 тижні картограм показана послідовність появи хвиль у країнах Європи. Досить добре видно, що хвиля починається у країнах з найбільш потужними аеропортами, які мають прямі рейси з найбільшою кількістю країн світу, потім вона починається в сусідніх країнах, а потім поширюється в інші країни, у т.ч. Україну. Отже, якщо побудувати модель, яка враховує зв'язки між країнами (або, наприклад, областями однієї країни), тоді, у разі початку хвилі в одній із них, можна досить впевнено стверджувати, що незабаром хвиля почнеться і в її країнах-сусідах.

Як відомо, проблема коронавірусу в тому, що симптоми проявляються не одразу. Більше того, ідентифікувати факт зараження теж не можна одразу. Чимало людей можуть заразитись на шляху до чи від лабораторії, де робили тест, і потім 3 доби усіх заражати, маючи на руках негативний тест (термін дії такого висновку – 72 години). Власне, так і відбувається. Тому карантинні заходи, спрямовані на вимогу пропускати в аеропорту тільки тих, в кого є сертифікат про вакцинацію та негативний тест про наявність хвороби протягом останніх 72 годин, не можуть повністю стримати її поширення, хоча, звичайно, дещо стримують її.

Одна з методологій побудови моделей, які враховують взаємовплив одних об'єктів на інші за умов невизначеності за експертними оцінками, є побудова когнітивних моделей [10-12]. Якщо розглядати ряд значень кількості нових хворих по кожному регіону як результат когнітивного моделювання, тоді можна спробувати відновити ваги когнітивної карти, за якою можна отримати такий результат. А тоді, якщо мати достатньо адекватну когнітивну карту, побудовану на попередніх хвилях коронавірусу, можна, у першому наближенні, її використати для прогнозування параметрів наступних хвиль по хвилях одного із регіонів-сусідів.

Мета

Метою статті є підвищення точності прогнозування дат старту, піку та завершення хвиль коронавірусу у заданому регіоні за даними регіонів-сусідів.

Задачі

1. Розробити математичний апарат методу відновлення ваг когнітивної карти за рядами значень, щодо яких висувається гіпотеза про те, що вони є результатами моделювання за нею.
2. Розробити алгоритм застосування методу відновлення ваг когнітивної карти до прогнозування хвиль коронавірусу у заданих регіонах.
3. Навести приклад для перевірки працездатності запропонованого методу та алгоритму.

Розв'язання задач

Як відомо, когнітивна карта — це орієнтований граф, який пов'язує вершини-змінні ребрами з вагами, значення яких є незмінними і знаходяться в діапазоні $[-1, 1]$ [10-12]. Такий граф враховує взаємовпливи приросту значень змінних у вершинах. На рис. 1 наведено варіанти когнітивних карти 2-го і 3-го порядків. Їх прийнято позначати як КК(2) та КК(3), відповідно.

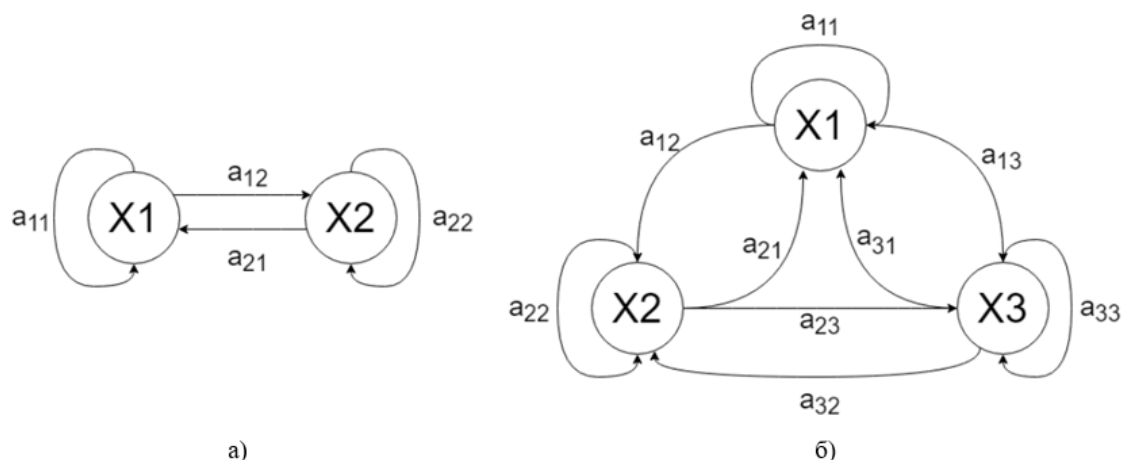


Рисунок 1 – Приклади вигляду когнітивних карти 2-го та 3-го порядку: а) КК(2); б) КК(3)

Процес когнітивного моделювання основний на використанні матриці зв'язності A , яка містить ваги усіх ребер графу КК. Наприклад, для КК(2) вона матиме вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де a_{ij} ($i = 1, 2, j = 1, 2$) — ваги когнітивної карти, тобто значення у діапазоні $[-1, 1]$.

Важливо, щоб КК була стійкою, для цього жодне із власних чисел матриці (1) не повинне за модулем перевищувати 1 [10-12].

Для моделювання на вхід однієї (або декількох) вершин подається приріст значення:

$$X[0] = B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де b_1, b_2 — деякі значення, які подаються на вхід (часто одне береться як 10% або 0,1, а інші — 0, але й усі значення можуть бути відмінними від нуля).

А тоді модель дозволяє обчислити як, внаслідок подання (2) на вхід КК(2), зміняться значення усіх інших вершин у наступні моменти часу $t = 1, 2, \dots$:

$$\begin{aligned} X[1] &= A * X[0] = A * B, \\ X[2] &= A * X[1] = A^2 * B, \\ &\dots \end{aligned} \quad (3)$$

Для розв'язання поставленої задачі відновлення ваг когнітивної карти слід розв'язати зворотню задачу. Дано значення X , а значення A є невідомими. Якщо припустити, що значення X точно відповідають КК(2), тоді виведемо систему рівнянь для обчислення 4-х невідомих параметрів матриці A :

$$\begin{cases} A * X[0] = X[1], \\ A * X[1] = X[2], \end{cases} \quad (4)$$

або

$$\begin{bmatrix} x_1[0] & x_2[0] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_1[0] & x_2[0] \\ x_1[1] & x_2[1] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_1[1] & x_2[1] \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{21} \\ a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1[1] \\ x_2[1] \\ x_1[2] \\ x_2[2] \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Розв'язавши систему рівнянь (5) можна знайти усі значення ваг матриці A (1). У разі ж, якщо ми не знаємо напевне чи дійсно ряди значень є результатом моделювання по певній КК, тоді варто брати до уваги не 4 рівняння по перших 2-х значеннях вектор-стовпців $X[0], X[1]$, а — більшу кількість при $t = 2, 3, \dots$, а тоді значення ваг матриці A знаходити за методом найменших квадратів.

Отже, для випадку КК(2) для знаходження $2*2=4$ невідомих ваг матриці A потрібна система рівнянь (4), в якій X — це вектор-стовпці, розмірністю 2. Легко показати, для випадку КК(3) для знаходження $3*3=9$ невідомих ваг матриці A потрібна система рівнянь, аналогічна до (4), але із 3 рівнянь і в якій X — це вектор-стовпці, розмірністю 3. Аналогічно, для випадку КК(n) для знаходження $n*n$ невідомих ваг матриці A потрібна система рівнянь, аналогічна до (4), але із n рівнянь і в якій X — це вектор-стовпці, розмірністю n . Для реального випадку, потрібна більша кількість рівнянь, ніж n , відповідно до вимог методу найменших квадратів.

Перевірка цього методу відновлення ваг когнітивної карти з використанням програми на Python довела його працездатність. Для розв'язання системи рівнянь (5), а також для варіанту при $t = 0, 1, 2, 3$, був використаний метод найменших квадратів, реалізований у бібліотеці NumPy: «numpy.linalg.lstsq()».

Отже, перша із поставлених задач розв'язана. Перейдемо до алгоритму застосування запропонованого методу на практиці. Розглянемо його на рівні країн (для областей, штатів, міст та ін. регіонів алгоритм є аналогічним). Алгоритм застосовується послідовно у ряд етапів.

Етап 1. Видобути дані про кількість підтверджених нових хворих на коронавірус по заданих регіонах (країнах). Існує чимало відкритих даних з такою інформацією, наприклад, одним із найбільш популярних є датасет Університету Джона Хопкінса (США) [13,14], який містить більше сотні щодобових значень ознак по усіх країнах світу за 2020-2021 рр. (оновлюється щодобово). Відібрати дані тільки по тих країнах (не менше 2-х), по яких планується побудова когнітивної карти. Прибрати пропущені дані (можна здійснити їх інтерполяцію по сусідніх значеннях або просто видалити). Прибрати чи згладити помилкові значення (по деяких країнах у свята чи вихідні дані не оприлюднюються, натомість, у понеділок надаються значення одразу за 2 дні, тобто замість 100%, 100% — 0, 200%, що ускладнює аналіз).

Етап 2. Згладити дані (наприклад взяти ковзне середнє з тижневим вікном, тобто у 7 днів) та знайти дати старту, піку і завершення хвилі. Можна встановити поріг у певну кількість хворих (наприклад, по Україні – 1000 нових хворих на день) або 20% від пікового значення, щоб тільки такі значення, які вищі такого порогового, вважати належними певній хвилі, решту (якщо значення після певної дати жодного разу не долають поріг) вважати – міжхвиловими значеннями. Цей етап був алгоритмізований на Python. Для визначення початку та кінця хвилі кількості підтверджених випадків захворювання COVID-19 був використаний підхід з пошуку відносних максимумів та мінімумів, саме цей метод використовується функцією `argrelextrema` бібліотеки `SciPy`. В основі даного методу лежить пошук точок, де функція змінює напрямок від збільшення до зменшення (у випадку відносного максимуму) та, аналогічно, точок, де функція змінює напрямок від зменшення до збільшення. Такий підхід, у першу чергу, залежить від окреслення інтервалів зростання та спадання функції, після чого визначаються точки, де функція змінює свій напрямок. У свою чергу, функція `argrelextrema` приймає декілька параметрів, а саме: набір даних, в якому буде відбуватись пошук відносних максимумів/мінімумів, функція-компаратор, за допомогою якої здійснюється порівняння значень набору даних (для цього можна скористатись функцією `less_equal` та `greater_equal` бібліотеки `NumPy`, для мінімумів та максимумів, відповідно), а також обрати кількість елементів, яка буде використовуватись компаратором для визначення змін в напрямку зростання або спадання значень набору даних. Частина коду, що займається визначенням відносних максимумів та мінімумів наведено на рисунку 2.

```
def advanced_wave_dates_search(df, col, country):
    # Get the start and peak dates of waves - advanced search

    POLYORDER = 24
    MIN_PEAK_NUM_CASES = 1000
    cases_array = df[col].values

    ilocs_min = list(argrelextrema(df[col].values, np.less_equal, order=POLYORDER)[0])
    ilocs_max = list(argrelextrema(df[col].values, np.greater_equal, order=POLYORDER)[0])

    largest_peaks = list(filter(lambda idx: cases_array[idx] > MIN_PEAK_NUM_CASES,
                               ilocs_max))
    max_dict = [{"val": num, "extreme": "max"} for num in largest_peaks]
    min_dict = [{"val": num, "extreme": "min"} for num in ilocs_min]
    max_dict.extend(min_dict)
    sorted_max_dict = sorted(max_dict, key=lambda item: item["val"])

    closest_mins = []
    for index, item in enumerate(sorted_max_dict):
        peak = item["val"]
        if item["extreme"] == "max":
            start_wave_index = sorted_max_dict[index-1]["val"]
            closest_mins.append(start_wave_index)
```

Рисунок 2 – Фрагмент коду на Python для визначення початку/кінця хвилі захворюваності на COVID-19

Таким чином, знаходяться піки хвиль (відносні максимуми), після чого обираються найбільш вірогідні відносні мінімуми, а тоді відбираються мінімуми у місцях, де хвиля вже починає долати мінімальний поріг (дата старту хвилі) або вже перестає його долати (дата завершення хвилі).

Етап 3. Усереднити дані для побудови когнітивних карт. Проведене авторами дослідження показує, що для різних ділянок хвилі (зростання, різке зростання, «плато», різке спадання, спадання) мають місце різні варіанти когнітивних карт. І їх ваги є досить мінливими. А оскільки метою побудови моделі КК є прогнозування, то варто узагальнювати дані, наприклад за 1-2 тижні, тоді мінімум на 1-2 тижні можна буде робити прогноз того, як зміниться значення в одному регіоні (країні чи ін.) після їх зміни в іншому, в якому хвилі з'являються раніше. Саме в цьому полягає ідея застосування запропонованого методу: для того, щоб прогнозувати старт/пік/спад хвилі у заданому регіоні, треба знайти регіон(и), де ці події мають місце раніше, ідентифікувати для них когнітивну карту і тоді по ній здійснювати прогнозування цього процесу.

Етап 4. Відібрати в часі дані для ідентифікації когнітивних карт. Як перший момент часу пропонується дата початку хвилі у регіоні, в якому коронавірус з'являється першим, а як останній момент часу для моделювання пропонується або поточний момент часу, або дата завершення хвилі у регіоні, в якому вона завершується останньою.

Етап 5. Масштабувати дані, щоб вони не перевищували 1. Пропонується замінити усі значення на їх відносні від максимального значення відповідної хвилі у кожному регіоні окремо (або максимальне значення за весь період спостережень).

Етап 6. Ідентифікувати когнітивні карти для різних ділянок наявних хвиль. На цьому етапі найважливішим є перевірка двох ключових для когнітивних карт умов:

- 1) Чи є КК стійкою?
- 2) Чи є усі знайдені ваги не більшими за 1?

У разі невиконання першої умови когнітивну карту не можна використовувати для моделювання і варто пробувати використовувати інший часовий інтервал для усереднення, брати інший набір регіонів-сусідів, застосовувати якесь інше передоброблення даних чи ін. Якщо це усе не допоможе, тоді – зробити висновок, щоб для даного випадку цей метод застосувати не можна, оскільки має місце вплив факторів, які ігноруються такою моделлю, тобто міжрегіональний вплив не є домінуючим.

У разі невиконання другої умови для стійкої КК, варто зробити висновок про те, що треба зменшувати крок інтервалу часу, за яких слід робити усереднення, оскільки реакція зв'язків є надто миттєвою.

Етап 7. Ідентифікувавши КК, здійснити моделювання за нею, взявши за початкові значення ті значення, які мали місце на початку інтервалу часу, за який здійснювалась ідентифікація. Порівняти отримані результати моделювання із реальними значеннями.

Продемонструємо працездатність запропонованого методу та алгоритму на прикладі. Пропонуємо вибрати дві країни: Румунія та Україна. На рис. 3 наведено дані щодобових приростів кількості нових підтверджених хворих у цих країнах з відомого сервісу <https://covid19.healthdata.org/>

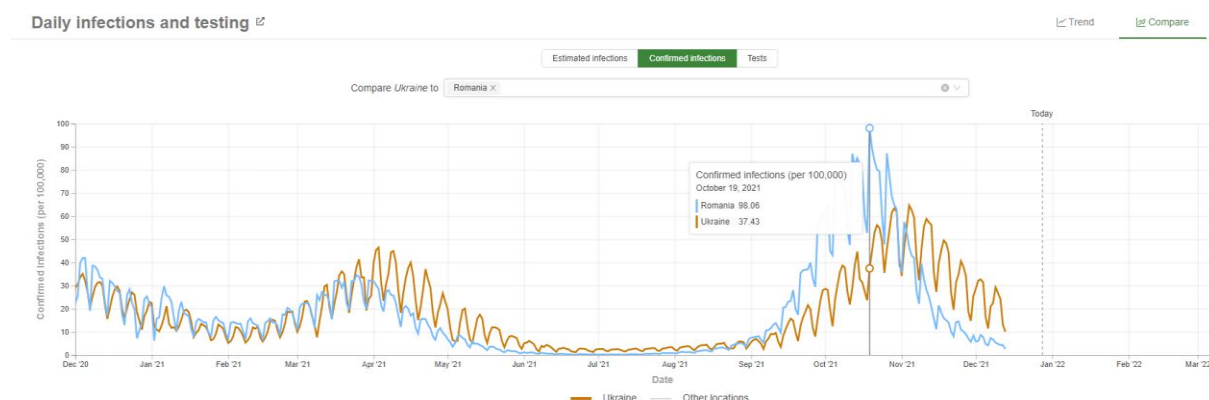


Рисунок 3 – Хвилі з щодобовими приростами кількості нових підтверджених хворих в Україні та Румунії за 2020-2021 рр. (<https://covid19.healthdata.org/>)

Як видно, з рис. 3, хвилі у Румунії останнім часом випереджають хвилі в Україні, а тому, у першому наближенні, їх дані можна використати для прогнозування хоча б дат піку та спадання хвиль в Україні.

Для прикладу були відібрані останні 2 місяці значень з 25.10.2021 р. (рис. 4).

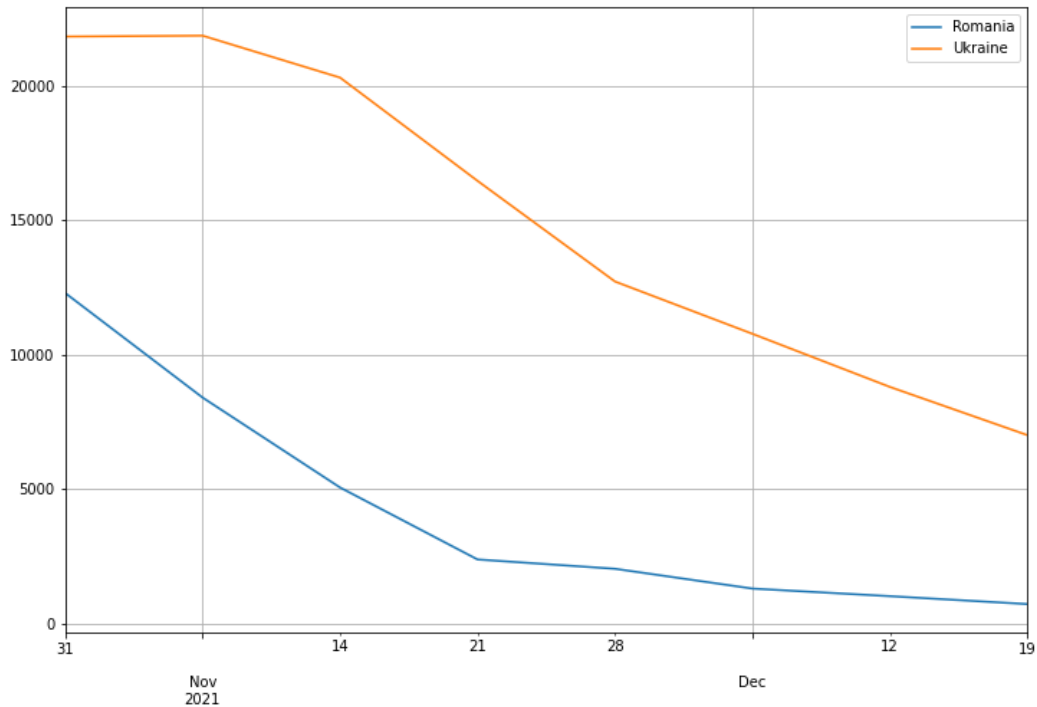


Рисунок 4 – Реальні дані середніх за тиждень значень щодобових приростів кількості нових підтверджених хворих в Україні та Румунії за 25.10-19.12.2021 рр. (завершення «дельта-хвилі»)

За даними, проілюстрованими на рис. 4, побудовано серію когнітивних карт за кожною парою дат. Їх значення ваг та найбільші власні числа проілюстровані на рис. 5.

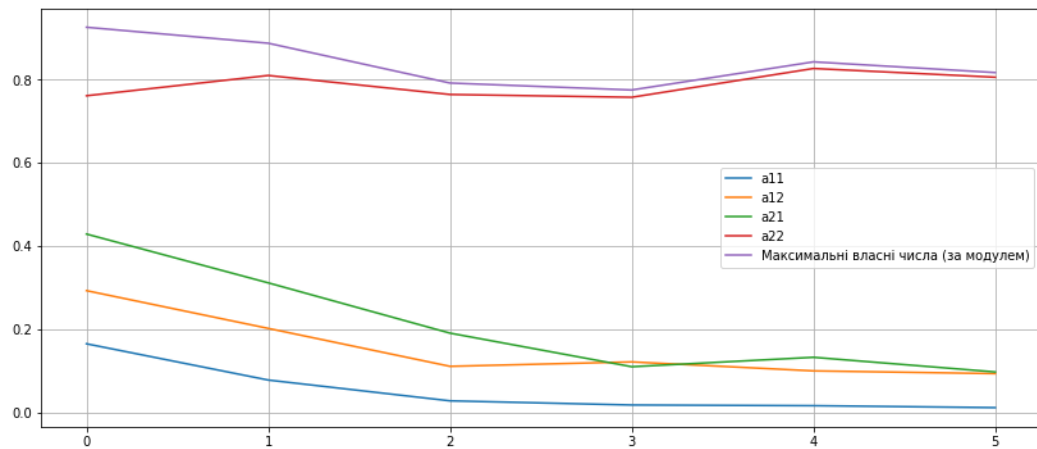


Рисунок 5 – Значення серії когнітивних карт, побудованих для пар послідовних тижнів зі значеннями з рис. 4, та максимальні значення власних чисел (за модулем)

Як видно з рис. 5, обидві вимоги етапу 6 виконуються — усі ваги є меншими за 1 і усі максимальні власні числа за модулем є теж меншими 1. Отже, усі когнітивні карти є коректними і стійкими. А тому, їх можна використати для моделювання, результат якого наведено на рис. 6.

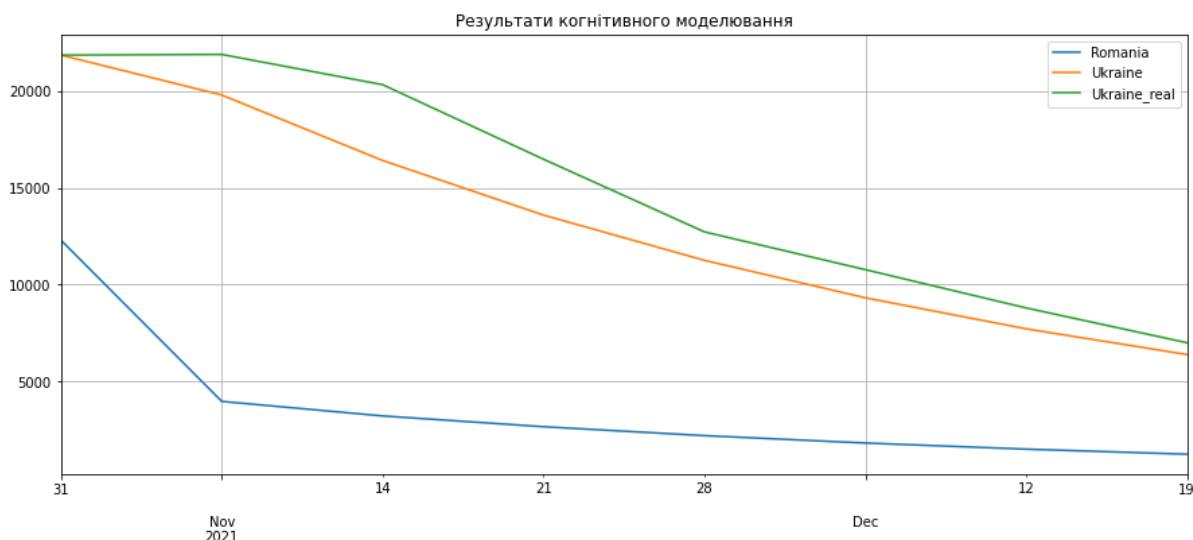


Рисунок 6 – Порівняння результатів моделювання з реальними даними з рис. 4

Як видно на рис. 6, збіг результатів моделювання з реальними даними – прийнятний. Отже, усі задачі розв'язані.

Висновки

У статті запропоновано прогнозувати хвилі кількості щодобових приростів кількості підтверджених хворих на коронавірус у заданому регіоні на основі когнітивної карти, яка враховує міжрегіональний вплив, тобто інших регіонів на заданий, і – навпаки. Розроблено метод відновлення ваг когнітивної карти на основі рядів даних щодо яких висловлена гіпотеза щодо того, що вони можуть бути результатом моделювання за цією когнітивною картою. Зазначено ситуації, коли ця гіпотеза не підтверджується і когнітивна карта або ідентифікується як нестійка, або з вагами, більшими за одиницю, та запропоновано які прийоми можна застосовувати за таких умов.

Запропоновано поетапний алгоритм застосування методу відновлення ваг когнітивної карти до прогнозування хвиль коронавірусу у заданих регіонах. Приділено увагу питання підготовки даних до моделювання і видобування параметрів хвиль (дата початку, піку та завершення) та автоматизації цих операцій на реальних даних з використанням Python.

Наведено приклад для перевірки працездатності запропонованих методу та алгоритму на прикладі аналізу взаємовпливу та прогнозування дати завершення хвилі коронавірусу в Україні за даними по Румунії на основі відновлених ваг когнітивної карти 2-го порядку.

Список літератури

- [1] В. Б. Мокін, А. В. Лосенко, і А. Р. Ящолт, «Інформаційна технологія аналізу та прогнозування кількості нових випадків захворювань на коронавірус SARS-COV-2 в Україні на основі моделі Prophet,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 5, с. 71–83. 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-152-5-71-83>.
- [2] В. Б. Мокін, А. В. Лосенко, і А. Р. Ящолт, «Інформаційна технологія аналізу та прогнозування багатохвильової кількості нових випадків захворювань на коронавірус COVID-19 на основі моделі Prophet,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 6, с. 65–75. 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-153-6-65-75>.
- [3] І. Бровченко, «Розробка математичної моделі поширення епідемії COVID-19 в Україні,» *Світосгляд*, №2 (82), с. 2-14. 2020.
- [4] C.L. Althaus, Real-time modeling and projections of the COVID-19 epidemic in Switzerland, Institute of Social and Preventive Medicine, University of Bern, Switzerland, 20 April 2020. [Online]. Available: <https://ispmbern.github.io/covid-19/swiss-epidemic-model>.
- [5] M.H.D.M. Ribeiro, R.G. da Silva, J.H.K. Larcher, V.C. Mariani, L.S. Coelho, “Ensemble Learning Models Coupled with Urban Mobility Information Applied to Predict COVID-19 Incidence Cases,» *Modeling, Control and Drug Development for COVID-19 Outbreak Prevention. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 366, pp. 821-858. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72834-2_24.
- [6] M. R. Farzanegan, H. F. Gholipour, M. Feizi, R Nunkoo., and A. E. Andargoli, “International tourism and outbreak of coronavirus (COVID-19): A cross-country analysis,» *Journal of Travel Research*, vol. 60, №3, p. 687-692, 2021. <https://doi.org/10.1177/0047287520931593>

- [7] P. Ssentongo et al., "Pan-African evolution of within-and between-country COVID-19 dynamics," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 118, №28. 2021. <https://doi.org/10.1073/pnas.2026664118>.
- [8] O. A. Adegbeye et al., "Change in outbreak epicentre and its impact on the importation risks of COVID-19 progression: A modelling study," *Travel Medicine and Infectious Disease*, vol. 40, 101988. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2021.101988>.
- [9] В. Б. Мокін, і А. В. Лосенко, «Картування тренду тижневих прогнозів за моделлю Facebook Prophet зміни кількості нових хворих на коронавірус у країнах Європи протягом січня-березня 2021 року,» *L науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 10-12 березня, 2021 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/12849>.
- [10] В. Б. Мокін, О. В. Бурдейна, К. О. Коваль, і А. Р. Ящолт, «Метод проектування когнітивної карти для оптимізації профорієнтаційної діяльності ЗВО,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №3, с. 89–99, Черв. 2018.
- [11] В. Д. Романенко, и Ю. Л. Милявский, «Синтез следящей системы управления неустойчивыми импульсными процессами в иерархических когнитивных картах сложных систем,» *Теоретичні та прикладні проблеми і методи системного аналізу*, №4, с.7-13. 2016. <http://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2016.4.01>.
- [12] В. Д. Романенко, и Ю. Л. Милявский, «Обеспечение устойчивости импульсных процессов в когнитивных картах на основе моделей в пространстве состояний,» *Теоретичні та прикладні проблеми і методи системного аналізу*, №1, с. 26-42. 2014.
- [13] O. Wahltinez et al., COVID-19 Open-Data: curating a fine-grained, global-scale data repository for SARS-CoV-2. [Online]. Available: <https://goo.gl/covid-19-open-data>.
- [14] Ensheng Dong, Hongru Du, and Lauren Gardner, "An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time," *The Lancet Infectious Diseases*, vol. 20, №5, p. 533–534. 2020. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1).

Стаття надійшла: 24.11.2021.

References

- [1] V. B. Mokin, A. V. Losenko, і А. R. Yashcholt, «Informatsiina tekhnolohiia analizu ta prohnozuvannia kilkosty novykh vypadkiv zakhvoriuvan na koronavirus SARS-COV-2 v Ukraini na osnovi modeli Prophet,» *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, vyp. 5, s. 71–83. 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-152-5-71-83> [in Ukrainian].
- [2] V. B. Mokin, A. V. Losenko, і А. R. Yashcholt, «Informatsiina tekhnolohiia analizu ta prohnozuvannia bahatokhvylovoi kilkosty novykh vypadkiv zakhvoriuvan na koronavirus COVID-19 na osnovi modeli Prophet,» *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, vyp. 6, s. 65–75. 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-153-6-65-75> [in Ukrainian].
- [3] I. Brovchenko, «Rozrobka matematychnoi modeli poshyrennia epidemii COVID-19 v Ukraini,» *Svitohliad*, №2 (82), s. 2-14. 2020 [in Ukrainian].
- [4] C.L. Althaus, Real-time modeling and projections of the COVID-19 epidemic in Switzerland, Institute of Social and Preventive Medicine, University of Bern, Switzerland, 20 April 2020. [Online]. Available: <https://ispmbern.github.io/covid-19/swiss-epidemic-model>.
- [5] M.H.D.M. Ribeiro, R.G. da Silva, J.H.K. Larcher, V.C. Mariani, L.S. Coelho, "Ensemble Learning Models Coupled with Urban Mobility Information Applied to Predict COVID-19 Incidence Cases," *Modeling, Control and Drug Development for COVID-19 Outbreak Prevention. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 366, pp. 821-858. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72834-2_24.
- [6] M. R. Farzanegan, H. F. Gholipour, M. Feizi, R Nunkoo., and A. E. Andargoli, "International tourism and outbreak of coronavirus (COVID-19): A cross-country analysis," *Journal of Travel Research*, vol. 60, №3, p. 687-692, 2021. <https://doi.org/10.1177/0047287520931593>
- [7] P. Ssentongo et al., "Pan-African evolution of within-and between-country COVID-19 dynamics," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 118, №28. 2021. <https://doi.org/10.1073/pnas.2026664118>.
- [8] O. A. Adegbeye et al., "Change in outbreak epicentre and its impact on the importation risks of COVID-19 progression: A modelling study," *Travel Medicine and Infectious Disease*, vol. 40, 101988, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2021.101988>.
- [9] V. B. Mokin, і А. V. Losenko, «Kartuvannia trendu tyzhnevnykh prohnoziv za modelliu Facebook Prophet zminy kilkosty novykh khvorykh na koronavirus u krainakh Yevropy protiahom sichnia-berезnia 2021 roku,» *L naukovo-tekhnichna konferentsiia pidrozdiliv VNTU*, Vinnytsia, 10-12 bereзnia, 2021 r. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/12849> [in Ukrainian].

- [10] V. B. Mokin, O. V. Burdeina, K. O. Koval, i A. R. Yashcholt, «Metod proektuvannia kohnityvnoi karty dlia optymizatsii proforiorientatsiinoi diialnosti ZVO,» *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, №3, s. 89–99, Cherv. 2018 [in Ukrainian].
- [11] V. D. Romanenko, i Ju. L. Miljavskij, «Sintez sledjashhej systemy upravlenija neustojchivymi impul'snymi processami v ierarhicheskikh kognitivnyh kartah slozhnyh sistem,» *Teoretichni ta prikladni problemi i metodi sistemnogo analizu*, №4, s.7-13. 2016. <http://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2016.4.01> [in Russian].
- [12] V. D. Romanenko, i Ju. L. Miljavskij, «Obespechenie ustojchivosti impul'snyh processov v kognitivnyh kartah na osnove modelej v prostranstve sostojanij,» *Teoretichni ta prikladni problemi i metodi sistemnogo analizu*, №1, s. 26-42. 2014 [in Russian].
- [13] O. Wahltinez et al., COVID-19 Open-Data: curating a fine-grained, global-scale data repository for SARS-CoV-2. [Online]. Available: <https://goo.gl/covid-19-open-data>.
- [14] Ensheng Dong, Hongru Du, and Lauren Gardner, "An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time," *The Lancet Infectious Diseases*, vol. 20, №5, p. 533–534. 2020. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1).

Відомості про авторів

Мокін Віталій Борисович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

Дратованій Михайло Володимирович – асистент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

Лосенко Арсен Володимирович – аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

Жуков Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

V. B. Mokin, M. V. Dratovanyj, A. V. Losenko, S. O. Zhukov

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЛН КОРОНАВИРУСА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕСОВ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ ДЛЯ УЧИТАНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ

Винницький національний технічний університет, Вінниця

V. B. Mokin, M. V. Dratovanyi, A. V. Losenko, S. O. Zhukov

PREDICTION OF CORONAVIRUS WAVES BASED ON THE METHOD OF WEIGHT RECOVERY OF THE COGNITIVE MAP TO TAKE INTO ACCOUNT FOR INTERREGIONAL INFLUENCE

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу
<http://itce.vntu.edu.ua/>