

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ТА ПРИЛАДИ
АВТОМАТИКИ**

Всеукраїнський міжвідомчий
науково-технічний збірник

Заснований у 1965 р.

Випуск 181

Харків
2024

У збірнику наведено результати досліджень, що стосуються використання моделей і методів інтелектуального управління підприємствами та організаціями. Запропоновано нові підходи та рішення в галузі управління страховими компаніями та медичними підприємствами, управління знаннями, створення рекомендаційних систем та управління IT-проектами.

Для викладачів університетів, науковців, фахівців, аспірантів.

The collection contains the results of research related to the use of models and methods of intelligent management of enterprises and organizations. New approaches and solutions in the field of management of insurance companies and medical enterprises, knowledge management, creation of recommendation systems and management of IT projects are proposed.

For university professors, researchers, specialists, graduate students.

Редакційна колегія:

В.В. Семенець, д-р техн. наук, проф. (гол. ред.), *В.М. Левикін*, д-р техн. наук, проф. (відпов. ред.), *М.В. Євланов*, д-р техн. наук, проф. (відпов. секр.), *Є.В. Бодянський*, д-р техн. наук, проф., *І.В. Гребеннік*, д-р техн. наук, проф., *А.Л. Єрохін*, д-р техн. наук, проф., *А.О. Каргін*, д-р техн. наук, проф., *Б.І. Мороз*, д-р техн. наук, проф., *І.Ш. Невлюдов*, д-р техн. наук, проф., *К.Е. Петров*, д-р техн. наук, проф., *І.В. Рубан*, д-р техн. наук, проф., *С.Г. Удовенко*, д-р техн. наук, проф., *О.Є. Федорович*, д-р техн. наук, проф., *В.О. Філатов*, д-р техн. наук, проф., *Г.З. Халімов*, д-р техн. наук, проф.

Рішення Національної ради про реєстрацію
Ідентифікатор медіа

№ 1410 від 25.04.2024 р.
R30-03874

Адреса редакційної колегії: Україна, 61166, Харків, просп. Науки, 14, Харківський національний університет радіоелектроніки, кімн. 254, тел. (057) 70-21-451

© Харківський національний університет
радіоелектроніки, 2024

ЗМІСТ

ПЕТРОВ К.Е., ІВАНЕНКО О.В., КОБЗЕВ І.В. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ УСР ДЛЯ ОЦІНКИ ТРУДОВИТРАТ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІТ-ПРОЄКТІВ.....	5
ЧАЛА О.В., ЄВДОКИМОВ Б.С. РОЗРОБКА МЕТОДУ УТОЧНЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЗНАНЬ В ЗАДАЧАХ ІНДИВІДУАЛЬНОГО СТРАХУВАННЯ.....	17
ЛЕВИКІН В.М., ПЕТРИЧЕНКО О.В., ЮР'ЄВ І.О., КУПЕНКО М.І. МОДЕЛЬ ТА МЕТОД ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ.....	25
BODYANSKIY YE.V., CHALA O.S. ENHANCED MULTIDIMENSIONAL NEO-FUZZY CLASSIFICATION SYSTEM AND ITS LEARNING FOR THE VIDEO CLASSIFICATION TASK.....	42
МАЛЬКОВА І.А., МАКЕЄНКО В.С. МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ.....	50
ЦВІРКУН О.А. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИРІШЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ «ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ ХІРУРГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ» У МЕДИЧНОМУ ЗАКЛАДІ.....	63
ЧАЛИЙ С.Ф., ЛЕЩИНСЬКА І.О. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕНТАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОГО КОРИСТУВАЧА В ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ ПОЯСНЕНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ СИСТЕМІ.....	82
ЧАЛИЙ С.Ф., ЛЕЩИНСЬКИЙ В.О. ТЕМПОРАЛЬНО-КАУЗАЛЬНІ МЕТОДИ ПОБУДОВИ ПОЯСНЕНЬ В СИСТЕМАХ ІШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	91
РЕФЕРАТИ.....	100

CONTENT

PETROV K.E., IVANENKO O.V., KOBZEV I.V. IMPROVEMENT OF THE UCP METHOD FOR ESTIMATING LABOR COSTS IN THE IMPLEMENTATION OF IT-PROJECTS.....	5
CHALA O.V., YEVDOKYMOV B.S. DEVELOPMENT OF A METHOD FOR REFINING RECOMMENDATIONS USING TEMPORAL KNOWLEDGE IN INDIVIDUAL INSURANCE TASKS.....	17
LEVYKIN V.M., PETRYCHENKO O.V., IURIEV I.O., KUPENKO M.I. CRITERIA DETERMINATION FOR SELECTING A PROJECTS MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM.....	25
BODYANSKIY YE.V., CHALA O.S. ENHANCED MULTIDIMENSIONAL NEO-FUZZY CLASSIFICATION SYSTEM AND ITS LEARNING FOR THE VIDEO CLASSIFICATION TASK.....	42
MALKOVA I.A., MAKEIENKO V.S. METHOD OF AUTOMATED KNOWLEDGE BASE CONSTRUCTION FOR BUSINESS PROCESS MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM.....	50
TSVIRKUN O.A. DEVELOPMENT OF A MODEL FOR SOLVING THE FUNCTIONAL TASK «FORMATION OF SURGICAL OPERATIONS SCHEDULE» IN A MEDICAL INSTITUTION	63
CHALY S.F., LESHCHYNSKA I.O. PRINCIPLES OF CONSTRUCTING MENTAL MODELS OF A SOLUTION FOR EXTERNAL USERS IN THE TASK OF GENERATING EXPLANATIONS IN AN INTELLIGENT SYSTEM.....	82
CHALY S.F., LESHCHYNSKYI V.O. TEMPORAL-CAUSAL METHODS FOR CONSTRUCTING EXPLANATIONS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS.....	91
ABSTRACTS.....	100

К. Е. ПЕТРОВ, О. В. ІВАНЕНКО, І. В. КОБЗЕВ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ UCP ДЛЯ ОЦІНКИ ТРУДОВИТРАТ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІТ-ПРОЄКТІВ

Проведено аналіз існуючих методів оцінки трудовитрат, необхідних для успішного виконання ІТ-проєкту. Запропоновано модифікований метод UCP, який дозволяє обчислювати оцінку обсягу програмного забезпечення проєкту на основі інтервальних оцінок факторів технічної складності та складності зовнішнього середовища. Це робить оцінку трудовитрат точнішою в порівнянні з оригінальними методом UCP, що, в свою чергу, підвищує ефективність процесів планування та управління проєктом. Наведено результати комп'ютерного моделювання, які демонструють працездатність та ефективність запропонованого методу.

1. Вступ

У сучасному світі, де інформаційні технології відіграють ключову роль в багатьох сферах життя, ефективне планування та управління ІТ-проєктами стає все важливішим. Одним з основних аспектів планування виконання ІТ-проєктів є оцінка трудомісткості розробки програмного забезпечення (ПЗ). Точна оцінка трудомісткості на ранньому етапі життєвого циклу проєкту може значно вплинути на успіх або провал проєкту, оскільки вона суттєво впливає на розподіл ресурсів, планування часу та бюджетних витрат.

Оцінка трудовитрат при виконанні ІТ-проєкту [1] є складним процесом, який залежить від багатьох чинників. Перш за все, це такі характеристики проєкту, як його обсяг і складність, які суттєво впливають на точність оцінки.

На теперішній час для оцінки трудомісткості розробки ПЗ використовується велика кількість різноманітних методів, які умовно можна розділити на: алгоритмічні; неалгоритмічні та методи, орієнтовані на навчання. Однак багато з цих методів мають обмеження щодо їх використання або не надають достатньої точності при оцінці трудомісткості, особливо на ранніх стадіях розробки ПЗ. Важливо розуміти, що від даних методів не слід очікувати абсолютної точності.

Одним з методів, який викликає особливий інтерес, є відомий метод Use Case Points (UCP), заснований на застосуванні варіантів використання (use cases). Він належить до алгоритмічних методів, що робить його достатньо надійним та передбачуваним у використанні. Цей метод також дозволяє врахувати функціональні вимоги до системи, що є особливо корисним на ранніх стадіях реалізації проєкту. Крім того, UCP не прив'язаний до конкретних технологій або мов програмування, що свідчить про його універсальність і гнучкість у використанні.

Актуальність даного дослідження обумовлена необхідністю вдосконалення існуючих методів оцінки трудомісткості розробки програмного забезпечення. Зокрема, методу UCP, який, незважаючи на свою надійність та універсальність, має деякі обмеження, які можуть впливати на точність оцінки. Тому виникає потреба в модифікації цього методу з метою покращення його точності та надійності.

2. Аналіз існуючих методів оцінки трудовитрат, необхідних для виконання ІТ-проєктів, та визначення проблеми дослідження

Для оцінки трудовитрат, необхідних для успішної реалізації ІТ-проєктів, використовується велика кількість моделей та методів, серед яких можна умовно виділити алгоритмічні (або параметричні), неалгоритмічні (непараметричні) та методи, орієнтовані на навчання.

Розглянемо ці методи детальніше.

Алгоритмічні моделі та методи використовують математичні моделі для оцінки трудовитрат на розробку проєкту, які ґрунтуються на дослідженнях історичних даних і використовують деякі вхідні дані, наприклад, кількість рядків коду, кількість функцій для виконання, а також деякі фактори витрат, такі як мова програмування, методологія дизайну, рівень кваліфікації, оцінки ризиків тощо.

Модель життєвого циклу програмного забезпечення (Software Life Cycle Management, SLIM) [2] є однією з перших алгоритмічних моделей оцінки трудовитрат на розробку ПЗ. Вона заснована на використанні функції Нордена-Рейлі [3] і відома як модель макрооцінки. SLIM може записувати та аналізувати дані з раніше завершених проєктів, які потім використовуються для калібрування. Після цього можна відповісти на низку питань, щоб отримати значення нарощування трудовитрат у існуючій базі даних. Модель SLIM не підходить для малих проєктів, оскільки вона передбачає використання лінійного програмування та інші складні методи оцінки, які можуть бути зайвими для малих обсягів робіт.

Модель COSOMO (Constructive Cost Model) [4] є математичною моделлю для оцінки вартості, трудовитрат та термінів виконання проєктів з розробки ПЗ. COSOMO II є покращеною версією моделі COSOMO 81 та створена для вирішення проблем масштабування, функціональності та передбачення нових вимог та технологій, що виникли після випуску COSOMO 81.

COSOMO II включає в себе три підмоделі: композиційну, ранньої розробки проєкту та постархітектурну і враховує 17 параметрів витрат [4]. Модель може бути застосована для оцінки різних типів проєктів та різних етапів їх життєвого циклу, але для отримання надійних оцінок необхідно мати точні дані щодо розміру та складності проєкту, які іноді доволі важко забезпечити.

Метод функціональних точок (Function point, FP) [4], [5] є методом оцінки розміру і складності ПЗ на основі аналізу його функціональних можливостей, що надаються користувачам. Оцінювання ПЗ здійснюється шляхом представлення кожної його функції як множини, елементи якої належать до п'яти таких типів: входи, виходи, запити, внутрішні та зовнішні інтерфейси. Кожну з цих функцій класифікують за складністю та присвоюють їм певну кількість функціональних балів на основі їх складності. Основними недоліками методу FP є те, що атрибути якості, час розробки та людські ресурси не враховуються. Він не здатен працювати з гібридними системами.

Метод COSYSMO (Constructive Systems Engineering Cost Model) [6] використовує параметричну модель оцінки вартості програмного забезпечення, яка оцінює трудовитрати та час, що необхідні для виконання завдань системної інженерії. Модель містить 14 мультиплікаторів трудовитрат та 4 коефіцієнти розміру, загалом 18 параметрів. COSYSMO може бути адаптований до різних типів проєктів шляхом коригування параметрів, однак точність моделі залежить від наявності достатньо надійних проєктних даних. Крім того, модель вимагає розуміння та оцінки численних факторів, що може бути складним завданням.

SEER-SEM (Software Evaluation and Estimation of Resources – Software Estimating Model) [4], [6] є моделлю оцінювання програмного проєкту, яка використовує підхід на основі параметрів і базується на використанні моделі Дженсена. SEER-SEM використовує параметри розміру, персоналу, складності, середовища та обмежень для оцінки вартості, ризиків та графіку проєкту. Вона охоплює весь життєвий цикл проєкту – від фази його планування до фази його реалізації, і працює з декількома конфігураціями середовища і додатків. До основних недоліків SEER-SEM можна віднести високу складність завдяки врахуванню великої кількості вхідних параметрів, пов'язаних з різними факторами проєкту, та специфічних деталей проєкту, особливо при ідентифікації нелінійних зв'язків між параметрами входу і виходу.

Метод Use Case Points (UCP) [7] призначений для специфічних впорядкованих систем і вимог до систем, що записані за допомогою варіантів використання (use cases), які є частиною систем Unified Modeling Language (UML). На основі компонентів варіантів використання системи визначається значення UCP, яке використовується для кількісного визначення обсягу ПЗ і яке потім використовується для оцінки трудовитрат проекту. Метод може бути використаний на ранній стадії життєвого циклу проекту і отримані оцінки будуть близькими до реальних, але лише для тих програмних проектів, специфікація яких може бути виражена через варіанти використання.

Неалгоритмічні методи використовують деяку інформацію про вже виконані проекти, схожі на поточний, і зазвичай процес оцінки вартості в цих методах здійснюється відповідно до аналізу попередніх наборів даних. У більшості випадків неалгоритмічні методи оцінки базуються на консенсусі, тобто на спроможності одного або групи експертів працювати разом для оцінки трудовитрат, необхідних для реалізації проекту.

Метод експертного оцінювання [8], [9] є одним з традиційних методів, які використовуються для оцінки трудовитрат на ранніх етапах розробки проекту. Він передбачає консультації з експертом або групою експертів, які мають значний досвід роботи з аналогічними проектами. Ці спеціалісти можуть надати цінну інформацію про потреби проекту, включаючи конкретні задачі та ресурси, необхідні для його успішного виконання. Такий підхід дозволяє враховувати практичний досвід і експертні знання для точнішої оцінки трудовитрат.

Розглянемо основні підходи, що використовуються для отримання експертних оцінок.

Процес оцінки трудовитрат згідно з методом Delphi починається з того, що керівник проекту надає експертам специфікацію та форму оцінки, які вони заповнюють анонімно. Потім проводиться групова зустріч для обговорення питань оцінки. Керівник проекту готує резюме оцінки трудовитрат та розсилає його експертам для повторного заповнення форм. Ці кроки повторюються до досягнення консенсусу щодо оцінки трудовитрат на виконання проекту [6].

Метод Planning Poker [10] формує оцінку трудовитрат шляхом об'єднання думок декількох експертів. На початку сесії планування команда представляє користувачі історії. Кожен учасник отримує колоду карток з оцінками та обирає ту, що відповідає його оцінці. Після цього всі одночасно відкривають свої картки, і якщо оцінки відрізняються, вони обговорюються. Цей процес повторюється до досягнення консенсусу.

Перевагою методів експертного оцінювання є те, що не потрібно витрачати час на складний аналіз або збір історичних даних, оскільки експерти можуть швидко надати кваліфіковані та обґрунтовані оцінки.

Однак отримані оцінки є суб'єктивними та обмеженими областю компетенції експертів, що може призвести до неоднозначних результатів та відсутності консенсусу.

Метод Top to Bottom [4], [5] або «згори вниз» передбачає, що спочатку визначається загальна вартість проекту на основі глобальних характеристик програмного продукту. Після цього проект розбивається на окремі компоненти і детально оцінюється кожна частина проекту. Отримана оцінка загальної вартості проекту пропорційно розподіляється між різними компонентами. Цей метод є особливо корисним, коли доступна лише обмежена інформація про проект і потрібно отримати приблизну оцінку. Основним недоліком цього методу є його відносна неточність.

Метод Bottom to Top [4] або «знизу вгору» передбачає оцінку трудовитрат всіх компонентів ПЗ для отримання загального кошторису проекту. Цей підхід направлений на формування оцінки системи на основі накопичених знань про окремі компоненти ПЗ та їх взаємодію. Для застосування цього методу необхідна наявність початкового проектного

дизайну, який чітко визначає структурне розбиття компонентів системи. Такий підхід дозволяє розглядати трудовитрати детальніше, що зазвичай робить оцінки точнішими, порівняно з іншими методами [10]. Однак процес оцінювання може зайняти багато часу, що здорожує отримання оцінки.

В методі Price-to-win або Cost-to-win [5] витрати на програмування оцінюються як найкраща запропонована вартість для перемоги у конкурсі на виконання проєкту. Недоліком такого підходу є те що, замість того, щоб зосередитися на функціональності ПЗ, він більше орієнтований на бюджет та можливості замовника. Точність оцінки значно варіюється залежно від бюджету клієнта, тому цей метод дає малу точність [5].

Метод оцінки за аналогіями [7] полягає в порівнянні проєкту з раніше завершеними схожими проєктами. Фактичні дані з завершених проєктів екстраполюються для оцінки трудовитрат запропонованого проєкту. Метод аналогії може бути використаний як на рівні системи, так і на рівні компонентів.

Цей метод є достатньо простим і швидким у використанні, але може бути ненадійним через обмежену кількість схожих проєктів та виникнення складностей у оцінці відмінностей між проєктами.

Методи, орієнтовані на навчання, використовують різноманітні моделі машинного навчання для оцінки трудовитрат. Ці методи стають все популярнішими через їхню здатність передбачати точні результати на основі аналізу даних, отриманих в ході виконання попередніх проєктів.

Наприклад, в [4] описується успішне застосування рекурентних та радіально-базисних штучних нейронних мереж (ШНМ) для оцінки вартості ПЗ.

Однак, варто враховувати, що ШНМ схильні до перенавчання, а також вимагають використання значних обчислювальних ресурсів та великих обсягів даних для свого навчання.

В [7] також розглядаються еволюційні методи оцінки трудовитрат, необхідні для розробки ПЗ, які базуються на використанні генетичних алгоритмів.

В [4], [7] представлені методи, в яких використовуються системи нечіткого логічного виведення для оцінки трудовитрат, необхідних для реалізації проєктів.

Нечітка логіка дозволяє лінгвістично представити вхідні та вихідні дані моделі, що є толерантними до неточності. Вона особливо підходить для оцінки трудовитрат, оскільки багато атрибутів ПЗ вимірюються за номінальною або порядковою шкалою, що є окремим випадком лінгвістичних змінних [7].

Методи оцінювання трудовитрат, засновані на використанні Bayesian networks (Байєсівських мереж) [6], базуються на застосуванні ймовірнісних орієнтованих ациклічних графових моделей для представлення залежностей між змінними.

Оцінка трудовитрат на ранніх стадіях розробки ПЗ відіграє критично важливу роль для успішного виконання проєкту. Втім, через недостатність наявної інформації, прогнози значення оцінки трудовитрат мають високий рівень невизначеності.

В ході аналізу існуючих методів оцінки трудовитрат при реалізації ІТ-проєктів було виявлено їх основні недоліки:

- алгоритмічні методи мають велику залежність від початкових даних, які важко отримати на початковому етапі, або вимагають великої кількості кроків для обчислення оцінки трудовитрат;
- неалгоритмічні методи обмежені рівнем кваліфікації експертів та суб'єктивністю їхніх оцінок, що суттєво впливає на остаточну оцінку трудовитрат, необхідних для успішного завершення проєкту;
- методи, орієнтовані на навчання, є складними у проєктуванні та мають обмеження

щодо використання даних недостатньої якості та обсягу, а також можливості надмірної адаптації до навчального набору даних, що може призвести до перенавчання та недооцінки нових даних.

Тому актуальним завданням є розробка нових або вдосконалення існуючих методів оцінки трудовитрат для успішного виконання проєктів з точки зору підвищення їх точності та універсальності використання.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є вдосконалення методу Use Case Points (UCP) оцінки трудовитрат, необхідних для успішного виконання ІТ-проєкту. Модифікація класичного методу UCP дозволить отримувати точніші прогнози оцінки трудовитрат при реалізації ІТ-проєктів, що суттєво підвищить ефективність процесів планування та управління проєктами.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- вдосконалити метод UCP оцінки трудовитрат, необхідних при реалізації ІТ-проєкту, що дозволить враховувати інтервальні оцінки факторів технічної складності та зовнішніх чинників, які впливають на оцінку обсягу ПЗ і, відповідно, на оцінку трудомісткості проєкту;

- провести експериментальну перевірку працездатності запропонованого методу та оцінити ефективність його використання.

4. Розробка модифікованого методу оцінки трудовитрат при реалізації ІТ-проєкту

4.1. Опис оригінального методу Use Case Points

Метод Use Case Points (UCP) [11]-[13] оцінки трудовитрат на розробку ПЗ базується на аналізі функціональних вимог системи через використання варіантів або прецедентів використання (use cases). За допомогою цього методу можна оцінити обсяг роботи, необхідної для розроблення програмного продукту, і використовувати цю інформацію при управлінні проєктами та плануванні ресурсів.

В основі методу лежить поняття «use case» – концепція, яку використовують при розробленні ПЗ, дизайні продукту тощо для опису можливих сценаріїв використання системи для досягнення конкретних цілей або завдань. У ньому описується взаємодія між користувачами або учасниками (акторами) та системою для досягнення конкретного результату [11].

Основне призначення варіанту використання – допомагати донести стратегію до зацікавлених сторін і усунути розрив між бізнес-обґрунтуванням і технічними вимогами.

Основними складовими прецедентів використання є актори, система, мета, базові та альтернативні потоки.

При використанні методу UCP можливі два основних підходи до представлення варіантів використання: візуальне представлення за допомогою відповідних діаграм або їх текстовий опис. Обидва підходи мають свої переваги, і вибір між ними залежить від конкретних потреб та обставин.

На основі компонентів варіантів використання системи обчислюється значення бальної оцінки UCP, яка використовується для кількісного визначення обсягу ПЗ, а потім це значення використовується для оцінки трудовитрат проєкту.

Загальна формула розрахунку значення оцінки UCP має вигляд:

$$UCP = UUCP \times TCF \times ECF, \quad (1)$$

де *UUCP* (Unadjusted Use Case Points) – нескориговані точки варіантів використання; *TCF* (Technical Complexity Factor) – фактор технічної складності; *ECF* (Environmental Complexity Factor) – фактор складності зовнішнього середовища.

В свою чергу, $UUCP$ розраховуються за формулою:

$$UUCP = UAW + UUCW, \quad (2)$$

де UAW (Unadjusted Actor Weight) – нескоригована вага актору; $UUCW$ (Unadjusted Use Case Weights) – нескориговані ваги варіантів використання.

Таким чином, можна виділити такі етапи розрахунку значення бальної оцінки обсягу проекту з використанням методу UCP.

Етап 1. Обчислення нескоригованої ваги актора (UAW). На цьому етапі визначають усіх акторів системи. Актори бувають трьох типів: прості, середні і складні. Після визначення для кожного актора встановлюється вага, у відповідності до його типу. Докладний опис типів акторів та значень відповідних вагових коефіцієнтів наведено у [11], [12].

Обчислення UAW відбувається за формулою:

$$UAW = \sum_{i=1}^3 a_i w_i, \quad (3)$$

де a_i – кількість акторів i -го типу; w_i – вага для кожного типу.

Етап 2. Обчислення нескоригованих ваг варіантів використання ($UUCW$). Кожен варіант використання класифікується як простий, середній або складний. Основою для цього рішення є кількість транзакцій у варіанті використання, включаючи альтернативні шляхи. Для цього транзакція визначається як атомарний набір дій, який або виконується повністю, або не виконується взагалі.

$UUCW$ розраховується за формулою:

$$UUCW = \sum_{i=1}^3 uc_i w_i, \quad (4)$$

де uc_i – кількість варіантів використання в i -му типі варіантів використання; w_i – вага для кожного типу.

Значимо, що відповідні значення вагових коефіцієнтів для варіантів використання на основі транзакцій детально розглянуті у [11], [12].

Етап 3. Обчислення нескоригованих точок варіантів використання ($UUCP$). Нескориговані ваги варіантів використання ($UUCW$) і нескоригована вага актора (UAW) разом дають нескоригований розмір (обсяг) системи, який називають нескоригованими точками варіанта використання. $UUCP$ розраховується за формулою (2).

Етап 4. Обчислення фактору технічної складності (TCF). Оцінка технічних чинників використовується для визначення складності архітектури застосунку. Кожен з тринадцяти факторів оцінюють за шкалою від 0 до 5. Оцінка «0» означає, що фактор не має значення для цього проекту, оцінка «5» означає, що він є важливим. Перелік технічних факторів та відповідних вагових коефіцієнтів детально описано у [11], [12].

Показник TCF в методі UCP обчислюється за формулою:

$$TCF = 0,6 + 0,01 \times \sum_{i=1}^{13} t_i w_i, \quad (5)$$

де t_i – точкове значення (бальна оцінка) i -го технічного фактору; w_i – вага i -го фактору.

Етап 5. Оцінка фактору зовнішніх чинників (ECF). Цей вид оцінки використовується для визначення коефіцієнту впливу організаційних ризиків на розробку. Кожен з восьми

факторів оцінюють за шкалою від 0 до 5. Оцінка «0» означає, що фактор не має значення для цього проєкту, оцінка «5» означає, що він є важливим. Обчислення проводяться аналогічно розрахунку оцінки фактору технічної складності. Перелік відповідних технічних факторів та їх відповідних вагових коефіцієнтів детально описані у [11], [12].

Показник ECF в методі UCP розраховується таким чином:

$$ECF = 1,4 - 0,03 \times \sum_{i=1}^8 e_i w_i, \quad (6)$$

де e_i – точкове значення(бальна оцінка) фактору зовнішнього чинника i ; w_i – вага фактору i .

Етап 6. Остаточний підрахунок значення UCP. На останньому етапі обчислень оцінюють загальну кількість варіантів за формулою (1) [13].

4.2. Модифікація оригінального методу Use Case Points

Модифікація оригінального методу UCP полягає у зміні підходу для розрахунків оцінок фактору технічної складності (TCF) та фактору зовнішніх чинників (ECF), тобто етапів 4 та 5 оригінального методу UCP.

Наведемо деякі міркування з цього приводу.

Як було відзначено вище, метод UCP відрізняється своєю алгоритмічною природою, що забезпечує стабільність та прогнозованість при оцінці трудовитрат. Він також враховує функціональні вимоги до системи, що робить його незамінним інструментом на початкових стадіях проєкту.

Слід зазначити, що метод UCP ідеально підходить для проєктів, що використовують об'єктно-орієнтоване програмування, завдяки його здатності до адаптації до різних мов програмування. Це свідчить про його універсальність і гнучкість у використанні.

Проте, не дивлячись на ці переваги, метод UCP має і певні обмеження, зокрема, не завжди дає високу точність при оцінці трудовитрат. Аналіз літературних джерел показав високу зацікавленість дослідників у розробці нових підходів, заснованих на використанні варіантів використання, які б давали точніші оцінки трудовитрат на виконання проєктів. З цієї причини було запропоновано багато методів, які є модифікаціями UCP. Більшість з них зосереджені лише на зміні значення нескоригованої точки використання ($UUCP$), яке є вагою, що присвоюється акторам і варіантам використання.

Однак, крім $UUCP$, як видно з формули (1), на точність оцінки впливають ще два інші коригувальні фактори – значення оцінок TCF та ECF . При визначенні значень цих коригувальних коефіцієнтів виникають певні труднощі, оскільки часто відсутній базовий рівень для порівняння. Керівники проєктів постійно стикаються з необхідністю інтерпретувати кожен фактор та згадувати інші проєкти для порівняння з поточним. Так деякі з коригувальних коефіцієнтів можуть бути неоднозначними. Наприклад, фактор «Паралельність» може включати в себе паралельну обробку, паралельне програмування або взаємодію системи з іншими додатками. Відсутність чітких вказівок в методі UCP щодо того, що саме цей фактор повинен вимірювати, може призвести до неточностей при його оцінці [13], [14].

Таким чином, можна зробити висновок, що TCF та ECF можуть значно впливати на точність оцінки і, отже, потребують додаткового аналізу. Незначна зміна їх значень може суттєво вплинути на оцінку обсягу ПЗ і, відповідно, на оцінку трудомісткості проєкту.

Слід зазначити, що бальна оцінка факторів TCF та ECF здійснюється керівником проєкту та відображає його суб'єктивну думку. У класичній реалізації методу UCP вона задається у вигляді точкового значення (константи від 0 до 5 балів).

Гнучкішим рішенням в цьому випадку є представлення цієї оцінки в інтервальної формі для ситуацій, коли оцінювання проводиться групою експертів або коли менеджер

проекту не достатньо впевнений у своїй оцінці.

Для отримання значення очікуваної оцінки важливості фактору при її завданні в інтервальній формі пропонується використати апроксимацію інтервальних значень за допомогою бета-розподілу, що дозволить дещо знизити суб'єктивізм оцінок, тобто їх невизначеність, завдяки врахуванню різних можливих сценаріїв оцінки впливу конкретного фактору на проєкт – оптимістичного, песимістичного та найімовірнішого. Це дозволить отримати точнішу і збалансованішу оцінку. Завдяки такому підходу, менеджери проєкту можуть визначити діапазон (інтервал) можливих оцінок для кожного фактора, що дозволяє обчислити очікувану оцінку, замість простого призначення оцінки (деякого детермінованого значення).

Аналогічний підхід успішно використовується в методі PERT (Project Evaluation and Review Technique) [15], [16] для врахування можливих ризиків при плануванні часу виконання окремих операцій, з яких складається проєкт.

Показник TCF в модифікованому методі UCP пропонується обчислювати за формулою:

$$TCF = 0,6 + 0,01 \times \sum_{i=1}^{13} t_i w_i, \quad (7)$$

де t_i – очікуване значення i -го технічного фактору; w_i – вага i -го фактору.

Очікуване значення технічного фактору t_i розраховується таким чином:

$$t_i = \frac{O_i + 4M_i + P_i}{6}, \quad (8)$$

де O_i – оптимістична оцінка i -го фактору; M_i – найімовірніша оцінка i -го фактору; P_i – песимістична оцінка i -го фактору.

Результати розрахунку очікуваних значень оцінки факторів технічної складності TCF з використанням формули (8) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку очікуваних значень оцінки TCF

Фактор	Назва	Ваговий коефіцієнт w_i	Оцінка фактору			
			O_i	M_i	P_i	t_i
T2	Висока продуктивність	2	3	4	5	4
T3	Ефективність роботи кінцевого користувача	1	2	3	5	3,17
T6	Легкість інсталяції	0,5	1	3	4	2,83

Показник ECF у модифікованому методі UCP обчислюється за формулою (6), в якій e_i – це очікуване значення i -го фактору зовнішнього чинника, що розраховується за формулою (8) аналогічно тому, як це зроблено для TCF .

Однак оцінка трудовитрат на цьому не закінчується. Правильний підхід до планування проєкту передбачає оцінку його обсягу та визначення тривалості на основі значення UCP (1). Точки варіантів використання застосовуються для оцінки обсягу проєкту, але їх недостатньо для безпосередньої відповіді на питання про трудовитрати проєкту. Виходячи з оцінки обсягу, необхідно визначити тривалість, враховуючи швидкість роботи команди над варіантами використання.

В різних дослідженнях пропонуються різні співвідношення кількості годин, що необхідно витратити на один варіант використання. Зазвичай це значення варіюється від

15 до 30 людино-годин на один варіант використання. Наприклад, для проекту з 500 варіантами використання необхідно від 7500 до 15000 людино-годин роботи.

Однак, замість використання загальних рекомендацій, доцільнішим є розрахунок власних історичних середніх значень для організації на основі даних попередніх проектів. Створення сховища проектних даних для збереження таких показників дозволить точніше оцінювати майбутні проекти.

Використовуючи діапазон годин та кількість варіантів використання, можна визначити очікувану оцінку трудовитрат проекту [13].

Таким чином, остаточно оцінка трудовитрат проекту оцінюється за формулою:

$$Effort = UCP \times ER, \quad (9)$$

де *Effort* – значення трудовитрат в людино-годинах; *ER* – коефіцієнт трудомісткості, який дорівнює кількості людино-годин, необхідної для виконання одного *UCP*.

5. Експериментальна перевірка результатів вдосконалення методу UCP

Для експериментальної перевірки працездатності та ефективності запропонованого модифікованого методу UCP було використано набір даних [17], який знаходиться у відкритому доступі і підтримується Університетом Томаша Баті (Чеська Республіка). Ці дані були отримані від з трьох компаній-розробників ПЗ та є реальним набором інформації. Для аналізу кількості кроків або акторів було використано метод UCP.

Датасет складається з 18 атрибутів:

- project_No – ідентифікатор проекту для цілей ідентифікації;
- simple actors – кількість акторів, класифікованих за UCP як прості;
- average actors – кількість акторів, класифікованих за UCP як середні;
- complex actors – кількість акторів, класифікованих за UCP як складні;
- uaw – нескоригована вага актора, обчислюється за формулою (3);
- simple UC – кількість варіантів використання, класифікованих як прості;
- average UC – кількість варіантів використання, класифікованих як середні;
- complex UC – кількість варіантів використання, класифікованих як складні;
- ucsw – нескоригована вага варіантів використання, обчислюється за формулою (4);
- tcf – фактор технічної складності;
- ecf – фактори складності зовнішнього середовища;
- real_p20 – трудовитрати) в людино-годинах, визначаються за допомогою коефіцієнта продуктивності (PF = 20);
- real_effort_person_hours – трудовитрати в людино-годинах;
- sector – проблемна область проекту;
- language – мова програмування, що використовується для проекту;
- methodology – методологія розробки, що використовується для розробки проекту;
- applicationtype – класифікація типу проекту, надається донором;
- datadonor – анонімізована аббревіатура для донора даних.

Всього в датасеті зібрана інформація про 71 проект.

Для тестування ефективності запропонованого модифікованого методу як ключові були відібрані такі атрибути: project_No, simple actors, average actors, complex actors, uaw, simple UC, average UC, complex UC, tcf, ecf, real_p20 та real_effort_person_hours.

Оскільки в запропонованій модифікації методу UCP передбачається використання інтервальних оцінок для розрахунку *TCF* та *ECF* за формулою (8), необхідно мати інформацію про кількість балів, яку присвоєно кожному конкретному фактору. Однак, зазначений масив даних не містить таких деталей, тому було вирішено розрахувати ці

значення вручну. Хоча ці розрахунки можуть не бути абсолютно точними, вони максимально наближені до реальних показників.

Для тестування було випадковим чином відібрано 21 проєкт з 71 і для кожного з них розраховано значення оцінки UCP за формулою (1).

Після цього проводилося оцінювання точності запропонованого методу та порівняння його із оригінальним UCP. Для цього використовувались такі метрики:

- *MMRE* (Mean Magnitude of Relative Error) – середня величина відносної похибки;
- *PRED(x)* (Percentage of Prediction within x %) – відсоток передбачення в межах x %;
- *MAE* (Mean Absolute Error) – середня абсолютна похибка.

Обчислення значень метрик *MMRE* та *PRED(x)* базується на розрахунку відносної похибки (*MRE*) за формулою:

$$MRE_i = |y_i - \tilde{y}_i| / y_i, \quad (10)$$

де y_i – реальне (фактичне) значення; \tilde{y}_i – прогнозоване значення.

Розрахувати *MMRE* можна за формулою:

$$MMRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n MRE_i, \quad (11)$$

де n – кількість спостережень.

Обчислення метрики *PRED(x)* відбувається за формулою:

$$PRED(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1, & \text{якщо } MRE_i \leq x \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (12)$$

де x – порогове значення, яке визначає допустимий рівень відносної похибки.

Ідеальною вважається модель, яка має низьке значення *MMRE* та високе значення *PRED(x)*. Ці величини допомагають визначити точність оцінки та стійкість моделі. Точна модель прогнозування трудовитрат повинна мати $MMRE \leq 0.25$ (щоб гарантувати, що середня помилка оцінки не перевищує 25 %) і $PRED(25) \geq 0.75$ (щонайменше 75 % прогнозованих значень повинні мати відносну похибку (*MRE*) менше 25 %) [13].

Середня абсолютна похибка (*MAE*) показує ступінь невідповідності між фактичними та прогнозованими значеннями та розраховується за формулою:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{y}_i|, \quad (13)$$

Чим ближче значення *MAE* до нуля, тим точніша модель.

В табл. 2 наводиться значення відповідних метрик (11)–(13) для порівняння точності оцінок трудовитрат на виконання IT-проєктів оригінального та модифікованого методів UCP.

Таблиця 2

Результати порівняння точності методів оцінки трудовитрат

Метод	<i>MMRE</i>	<i>PRED(25)</i>	<i>MAE</i>
Оригінальний UCP	0,22	63,64%	77,21
Модифікований UCP	0,17	86,36%	60,54

6. Обговорення результатів дослідження

Аналіз отриманих результатів показав, що модифікований метод UCP є точнішим, ніж оригінальний метод UCP. Це підтверджується значеннями метрик *MMRE*, *PRED(25)* і *MAE*

(табл. 2). Зокрема, збільшення точності на 22 % за показником *PRED* (25) може допомогти компаніям ефективніше здійснювати управління проєктами.

Для наочної демонстрації результатів дослідження було побудовано діаграму значень середньої абсолютної похибки (*MAE*) для двох методів оцінки трудовитрат: оригінального методу *UCP* та модифікованого методу *UCP* (позначається як *UCP_2*). Діаграму наведено на рис. 1. На горизонтальній осі діаграми відображені номери відповідних проєктів.

Побудована діаграма ясно демонструє, що модифікований метод *UCP* (стовпчики справа) забезпечує точніші передбачення оцінок трудовитрат порівняно з оригінальним методом *UCP* (стовпчики зліва). У більшості випадків модифікований метод *UCP* має меншу середню абсолютну похибку (*MAE*), що підтверджує його високу ефективність і надійність у прогнозуванні трудовитрат.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що модифікований метод *UCP* дає точніші значення оцінок прогнозованих трудовитрат, що позитивно впливає на успішність виконання проєктів.

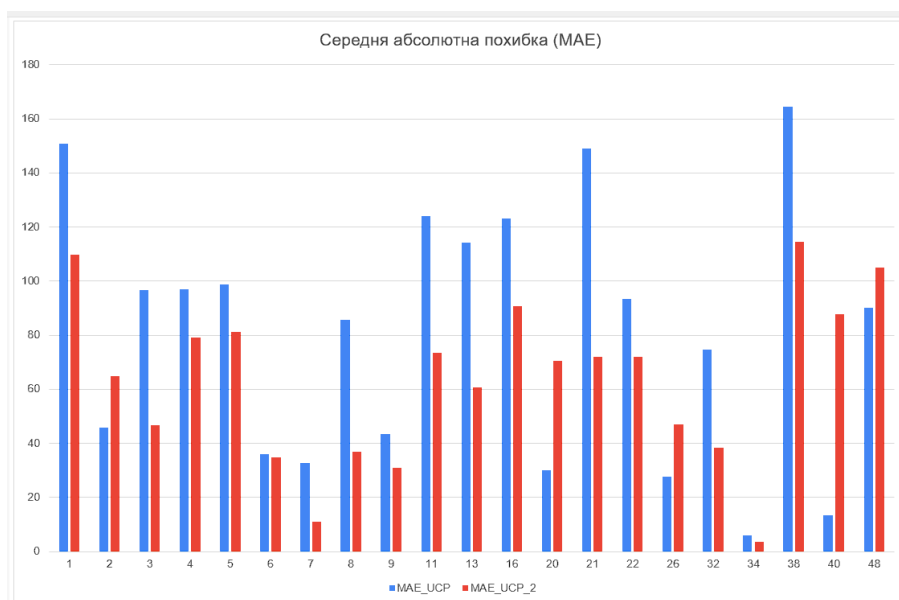


Рис. 1. Діаграма значень *MAE*

7. Висновки

У ході досліджень метод Use Case Points, який використовується для прогнозування трудовитрат, необхідних для успішного виконання ІТ-проєкту, було удосконалено шляхом врахування ризиків при оцінці факторів технічної складності (*TCF*) та зовнішнього середовища (*ECF*), які суттєво впливають на значення остаточної оцінки.

Під час вирішення цього завдання було здійснено:

- вдосконалення методу *UCP* для оцінки трудовитрат необхідних при реалізації ІТ-проєкту, яке дозволяє враховувати інтервальну природу оцінок факторів *TCF* та *ECF* завдяки використанню виразу (8);

- експериментальну перевірку працездатності і ефективності використання запропонованого методу та порівняння отриманих з його допомогою значень оцінки трудовитрат з оригінальним методом *UCP*.

На основі отриманих результатів, можна зробити висновок, що модифікований метод *UCP* може бути використано для підвищення точності прогнозування трудовитрат, що

суттєво підвищить ефективність процесів планування та управління майбутніми проектами.

Однак слід врахувати, що отримані результати базуються на аналізі лише одного набору даних. Тому, в перспективі, доцільно провести аналіз можливостей практичного застосування і точності запропонованого методу з використанням різних датасетів та більшого обсягу даних.

Перелік посилань:

1. Іваненко О. В. Дослідження моделей і методів оцінки трудовитрат при реалізації ІТ-проектів. *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 27-го Міжнар. молодіж. форуму, 10–12 травня 2023 р.* Харків: ХНУРЕ, 2023. Т. 6. Ч. 1. С. 188–189.
2. Ghafoory H., Sahnosh F.A. The review of software cost estimation model: SLIM. *Journal of Advanced Academic Research*. 2020. № 2(4). P. 511–515. <https://doi.org/10.33545/27068919.2020.v2.i4h.447>
3. Pillai K., Sukumaran Nair V. S. A Model for Software Development Effort and Cost Estimation. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1997. Vol. 23. Iss. 8. P. 485–497. <https://doi.org/10.1109/32.624305>
4. Chirra S.M.R., Reza H. A Survey on Software Cost Estimation Techniques. *Journal of Software Engineering and Applications*. 2019. № 12(06). P. 226–248. <https://doi.org/10.4236/jsea.2019.126014>
5. Rashid J., Nisar M. W., Mahmood T., Rehman A., Arafat S. Y. A Study of Software Development Cost Estimation Techniques and Models. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*. 2020. Vol. 39. No. 2. P. 413–431. <https://doi.org/10.22581/muet1982.2002.18>
6. Tripathi R., Rai Dr. P. K. Comparative Study of Software Cost Estimation Techniques. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2016. Vol. 6. P. 323–328.
7. Sinhal A., Bhupendra V. Software Development Effort Estimation: A Review. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2013. Vol. 3. P. 1120–1135.
8. Petrov K., Kobzev I., Orlov O., Kosenko V., Kosenko A., Vanina Y. Devising a Method for Identifying the Model of Multi-criteria Expert Estimation of Alternatives. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4 № 3 (112). P. 56–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238020>
9. Petrov K. E., Deineko A. O., Chala O. V., Panforova I. Y. The Method of Alternative Ranking for a Collective Expert Estimation Procedure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. № 2 (53). P. 84–94. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-9>
10. Gandamani T. J., Koh T. W., Binhamid A. A Case Study Research on Software Cost Estimation Using Experts. Estimates, Wideband Delphi, and Planning Poker Technique. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*. 2014. Vol. 8. № 11. P. 173–182.
11. What Is a Use Case? URL: <https://www.wrike.com/blog/what-is-a-use-case/> (дата звернення: 19.06.2024).
12. What Is a Use Case? How to Write One, Examples, + Template. URL: <https://www.figma.com/resource-library/what-is-a-use-case/> (дата звернення: 19.06.2024).
13. Le Thi Kim Nhung H., Hoc H. T., Van Hai V. An Evaluation of Technical and Environmental Complexity Factors for Improving Use Case. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds) *Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. CoMeSySo 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham, 2020. Vol 1294. P.757–768. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63322-6_64
14. Estimating With Use Case Points. URL: <https://www.mountaingoatsoftware.com/articles/estimating-with-use-case-points> (дата звернення: 25.06.2024).
15. PERT: Definition, PERT Formula, PERT Chart, Technique & Example. URL: <https://pmstudycircle.com/pert-program-evaluation-and-review-technique/> (дата звернення: 27.06.2024).
16. Program Evaluation and Review Technique (PERT) Analysis. URL: <https://acqnotes.com/acqnote/tasks/pert-analysis> (дата звернення: 27.06.2024).
17. Silhavy R. Use Case Points Benchmark Dataset. Mendeley Data, 2017. V1. <https://doi.org/10.17632/2rfkjh3cn.1>

Надійшла до редколегії 29.05.2024

Петров Костянтин Едуардович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: kostiantyn.petrov@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1973-711X> (науковий керівник здобувача вищої освіти Іваненко Ольги Валентинівни).

Іваненко Ольга Валентинівна, здобувач вищої освіти, група УППІТМ-22-2, факультет комп'ютерних наук, ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: olha.ivanenko@nure.ua

Кобзев Ігор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та комп'ютерної техніки ХНЕУ ім. Семе́на Кузне́ця, м. Харків, Україна, e-mail: ikobzev12@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7182-5814>

О.В. ЧАЛА, Б.С. ЄВДОКИМОВ

РОЗРОБКА МЕТОДУ УТОЧНЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЗНАНЬ В ЗАДАЧАХ ІНДИВІДУАЛЬНОГО СТРАХУВАННЯ

Проведено дослідження процесу побудови рекомендацій в задачах індивідуального страхування. Виконано структурування темпоральних правил як форми представлення темпоральних знань для задачі побудови рекомендацій при персоналізованому страхуванні. Розроблено метод уточнення рекомендацій у режимі онлайн з використанням темпоральних знань. Метод складається з фази формування темпоральних правил у офлайн-режимі та фази побудови рекомендацій у онлайн-режимі. Фаза побудови рекомендацій полягає у формуванні темпоральних залежностей щодо дій цільового користувача, а також уточненні рекомендацій на основі отриманих темпоральних знань.

1. Вступ

Рекомендаційні системи сьогодні знаходять широке застосування у різноманітних галузях, включаючи електронну комерцію, медіа-індустрію, охорону здоров'я та фінансовий сектор. Основна функція таких систем полягає у наданні допомоги користувачам у виборі товарів, послуг чи інформації, які найточніше відповідають їхнім перевагам та вимогам. У контексті індивідуального страхування такі системи орієнтовані на підтримку процесу вибору страхових продуктів та використовують комплексний аналіз історії клієнта, його профілю ризиків та інших релевантних факторів [1]. Персоналізація страхування сприяє підвищенню якості обслуговування та рівня задоволеності клієнтів. Останні є ключовими факторами успіху в умовах висококонкурентного страхового ринку [2]. Використання знання-орієнтованих підходів створює умови для розробки ефективних рекомендаційних систем, здатних забезпечити високий рівень індивідуалізації страхових продуктів.

Процес розробки рекомендаційних систем для індивідуального страхування пов'язаний із рядом специфічних викликів. Одним із ключових викликів є необхідність обробки великих обсягів даних, в тому числі історичних даних про страхові випадки, даних про профілі клієнтів та їхні поведінкові патерни. Ефективна обробка та аналіз цих даних потребують застосування алгоритмів обробки знань, а також моделей машинного навчання, здатних забезпечити високу точність рекомендацій [3]. Окрім того, рекомендації мають бути прозорими і зрозумілими, щоб клієнти розуміли логіку вибору тих чи інших страхових продуктів. Такий підхід не лише сприяє підвищенню довіри до системи, але й надає клієнтам можливість приймати обґрунтованіші та зваженіші рішення щодо вибору страхових послуг.

Зазначене свідчить про актуальність проблеми розробки знання-орієнтованих підходів до побудови персоналізованих рекомендацій.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

На сьогодні ряд досліджень присвячено застосуванню інтелектуальних підходів для персоналізованих рекомендацій клієнтам у страховій галузі [4]. Як базові використовуються підходи до побудови рекомендацій на основі колаборативної фільтрації, контентної фільтрації, а також гібридні підходи. Колаборативна фільтрація ґрунтується на порівняльному аналізі вподобань подібних користувачів. Контентна фільтрація враховує характеристики страхових продуктів та профілі клієнтів [5], [6]. Однак ці методи мають певні обмеження. Побудова рекомендацій за допомогою колаборативної фільтрації стикається з труднощами в ситуації «холодного старту», коли для нових користувачів або

продуктів бракує достатньої кількості даних для формування рекомендацій [7]. З іншого боку, контентна фільтрація може не враховувати всі нюанси взаємодії між користувачами та продуктами, оскільки вона використовує лише підмножину їх атрибутів [8]. Знання-орієнтовані методи побудови рекомендацій пропонують альтернативний підхід, який спирається на глибоке розуміння предметної області та використання експертних знань [9]. Ці методи дають можливість врахувати специфічні аспекти страхування, такі як ризики, ймовірності страхових випадків та історичні дані, що сприяє створенню точніших та релевантніших рекомендацій в офлайн-режимі.

Зважаючи динамічну зміну підходів до страхування в галузі, а також зміну клієнтів, необхідно враховувати темпоральні аспекти знань. Використання темпоральних знань дає можливість актуалізувати рекомендації і, відповідно, підвищити їх точність [10]. В роботах [11]-[14] розглянуто питання представлення, побудови та використання темпоральних знань у формі зважених темпоральних правил [11]. Такі знання розглядаються у відносному часі, тобто задається темпоральна упорядкованість подій [12]. Сформовані з використанням алгоритму [13] правила використовуються для підтримки нових варіантів процесу прийняття рішень [14]. Зв'язок темпоральних залежностей з каузальністю було досліджено в роботі [15]. Можливість опису змін вподобань користувачів з часом обґрунтовано в роботі [16], [17]. Підходи до вирішення задач побудови рекомендацій з використанням темпоральних знань, в тому числі в ситуації холодного старту, досліджувались в роботах [18]-[20].

Однак в розглянутих роботах не приділяється достатньо уваги вирішенню задач уточнення рекомендацій в онлайн-режимі, що є важливою в задачах персоналізованого страхування. Така задача може бути вирішена з використанням темпоральних знань.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розробка підходу до побудови рекомендацій в проєктах персоналізованого страхування з використанням темпоральних знань з тим, щоб адаптувати запропоновані плани страхування згідно з поведінкою клієнта на сторінках сайту страхової компанії.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі: виконати структурування темпоральних правил з урахуванням особливостей процесу побудови рекомендацій щодо страхування у режимі онлайн; розробити метод уточнення рекомендацій щодо вибору страхового продукту з використанням темпоральних знань.

4. Структуризація темпоральних правил для задачі побудови рекомендацій

Представлення темпоральних знань для побудови рекомендацій в задачах індивідуального страхування має враховувати ряд факторів, пов'язаних із властивостями темпоральних знань. По-перше, темпоральне представлення має відображати комбінацію явних та неявних персональних знань клієнтів системи персонального страхування, а також менеджерів страхової компанії. Така умова дозволяє при побудові рекомендацій врахувати практичний досвід щодо продажів страхових планів. По-друге, представлення має враховувати ймовірнісний характер темпоральних знань, що відображає невизначеність причинно-наслідкових зв'язків внаслідок застосування клієнтами та менеджерами неявних знань. По-третє, представлення темпоральних знань має забезпечити автоматизовану адаптацію рекомендацій при зміні поведінки користувача. Тобто темпоральні знання мають забезпечити формування впорядкованої у часі послідовності станів системи страхування, яка «підводить» клієнта до персоналізованої рекомендації щодо страхового плану. Така адаптація виконується з урахуванням ваг темпоральних правил. Тобто вага правил має відображати ступінь загальності даного елемента знань. Це дозволяє виділити ключові траєкторії прийняття рішень клієнтом страхової компанії. Крім того, темпоральні залежності можуть представляти знання про дані страхового клієнта з різним ступенем деталізації, що забезпечує можливість

використання різних рівнів абстракції при аналізі та прийнятті рішень. Форма представлення темпоральних залежностей повинна передбачати можливості їх автоматизованого або напівавтоматичного уточнення при вирішенні задач підтримки управлінських рішень, що дозволяє враховувати нову інформацію та динамічні зміни в проєкті.

Представлення темпоральних залежностей для задач побудови рекомендацій в проєктах індивідуального страхування поєднує в собі такі компоненти: інформація щодо станів процесу вибору страхового плану користувачем; відношення, що описують упорядкованість цих станів у часі.

Інформація щодо стану процесу вибору страхового плану містить дані щодо назви поточної сторінки платформи страхування, елементу на сторінці, з яким працює користувач, ідентифікатора користувача тощо. Кожен такий елемент даних представляється елементарним фактом $v_{i,k}$ (тобто фактом того, що k – та змінна містить відповідні дані). Кон'юнкція цих фактів описує i -й стан процесу v_i :

$$v_i = \bigwedge_k (v_{i,k}). \quad (1)$$

Факти виникнення станів (1) можуть бути істинними в різні моменти часу, однак для темпоральних знань використовується відносний час, тобто просто темпоральна упорядкованість цих фактів. Процес вибору страхового плану користувачем відображається послідовністю V фактів у часі:

$$V = \langle v_1, v_2, \dots, v_{|V|} \rangle. \quad (2)$$

Багаторазова імплементація процесу вибору страхового плану представляється множиною Π послідовностей V .

Тоді темпоральна залежність td_m визначає упорядкованість у часі для пари фактів $\langle v_{m-1}, v_m \rangle$ з однієї послідовності V :

$$td_m \equiv \langle v_{m-1}, v_m \rangle | (v_{m-1}, v_m) \in V. \quad (3)$$

Темпоральне правило tr_l визначає упорядкованість у часі для підмножини пар однакових фактів із множини Π із різних послідовностей V :

$$tr_l \equiv \{ \langle v_{l-1}, v_l \rangle \}. \quad (4)$$

Представлення темпоральних правил (4) дає можливість узагальнити знання про поведінку декількох користувачів, оскільки воно відображає спільні залежності між діями у процесі вибору страхового полісу. Наприклад, перехід між парою однакових сторінок, вибір однакових елементів на сторінці тощо.

5. Метод побудови рекомендацій з використанням темпоральних знань

Розроблений метод базується на інтеграції офлайн- та онлайн-підходів до побудови рекомендацій. Офлайн-режим формування рекомендацій передбачає наявність попередньо сформованої бази знань, що містить розраховані на основі даних про продажі залежності щодо вподобань схожих користувачів або ж латентні залежності щодо властивостей запропонованих товарів з точки зору цих користувачів. Цей підхід базується на обробці великих обсягів даних з використанням складних алгоритмів без жорстких обмежень щодо часу виконання. Однак побудовані рекомендації потенційно можуть бути неактуальними, оскільки не враховують можливі поточні зміни потреб клієнтів страхової компанії.

Онлайн-обчислення, особливо з використанням темпорального моделювання, забезпечують можливість швидкого реагування на поточні події, що виникають у процесі взаємодії користувача із системою страхування, уточнюючи рекомендації в режимі реального часу. Це дозволяє адаптувати рекомендації до змін у вподобаннях користувачів. Проте, онлайн-режим накладає обмеження на обчислювальну складність алгоритмів та обсяг даних, які можна обробити в реальному часі, що може вплинути на точність рекомендацій. Тому розроблений метод доповнює традиційні рекомендації, сформовані в офлайн-режимі, уточненими рекомендаціями, отриманими з використанням темпоральних правил. В результаті рекомендації адаптуються до поточного контексту дій користувача.

Удосконалений метод побудови рекомендацій з використанням темпоральних знань складається з двох основних фаз: формування темпоральних знань та побудови рекомендацій.

Фаза 1. Формування темпоральних знань.

Етап 1.1. Формування послідовностей фактів (2).

На цьому етапі відбувається збір та структурування даних про дії користувачів у хронологічному порядку. Кожен факт представляється у вигляді кортежу, що містить інформацію про час дії, користувача, дію користувача, а також контекст цієї дії. Результатом етапу є сформована послідовність фактів, де кожен факт v_i представляє дію a_i , виконану (завершену) користувачем u_i в контексті c_i в момент часу t_i .

Етап 1.2. Формування темпоральних залежностей (3).

На основі послідовності фактів виявляються темпоральні залежності між діями користувачів. Ці залежності відображають можливі причинно-наслідкові зв'язки між подіями. Результатом етапу є набір темпоральних залежностей $TD = \{td_m\}$, де кожна залежність d_m представляє зв'язок у часі (упорядкованість) між двома фактами для дій одного користувача.

Етап 1.3. Формування темпоральних правил (4):

На цьому етапі генеруються темпоральні правила, які описують типові послідовності дій користувачів з урахуванням часових аспектів. Ці правила узагальнюють темпоральні залежності, отримані на етапі 1.2. Результатом етапу є набір темпоральних правил $TR = \{tr_k\}$, де кожне правило tr_k представляє собою формалізований опис закономірності у часовому аспекті у поведінці користувачів.

Результатом першої фази є модель поведінки користувачів, представлена у вигляді темпоральних правил, що відображають ключові аспекти вибору користувачів у часовому контексті.

Фаза 2. Побудова рекомендацій.

Етап 2.1. Формування темпоральної залежності для поточного процесу:

На даному етапі виконується аналіз фактів, що відображають останні дії цільового користувача, та формується темпоральна залежність, що відображає поточну послідовність дій цільового користувача. Результатом етапу є темпоральна залежність $td_{current}$ для останньої пари фактів.

Етап 2.2. Пошук темпоральних правил, що включають темпоральну залежність:

Здійснюється пошук у наборі темпоральних правил TR тих правил, які відповідають поточній темпоральній залежності $td_{current}$. Результатом етапу є темпоральне правило $tr_{relevant} \in TR$, що узагальнює поточну темпоральну залежність $td_{current}$.

Етап 2.3. Пошук користувачів u_i , що використовували правила, отримані на етапі 2.2.

На даному етапі ідентифікуються користувачі, чия поведінка в минулому (за результатами етапу 1.3) відповідала правилу $tr_{relevant}$. Результатом етапу є набір

користувачів $U_{similar}$, чия поведінка корелює з поточною поведінкою цільового користувача.

Етап 2.4. Прогнозування поведінки цільового користувача на основі вибраних темпоральних правил для схожих користувачів.

На даному етапі виконується відбір темпоральних правил $TR_{similar}$, що були використані схожими користувачами $U_{similar}$. На основі цих темпоральних правил з використанням методу [14] здійснюється прогнозування майбутніх дій цільового користувача. Результатом етапу є прогнозована послідовність майбутніх дій цільового користувача з урахуванням темпоральних аспектів.

Етап 2.5. Уточнення офлайн-рекомендацій відповідно до результатів етапу 2.4.

Попередньо сформовані офлайн-рекомендації коригуються з урахуванням прогнозу Pforecast, отриманого на основі аналізу поточної поведінки користувача. На даному етапі враховується контекст c_i , що містить інформацію про вибір користувачем сторінки та елементу на сторінці з відповідним планом індивідуального страхування.

Результатом етапу є уточнені рекомендації, які враховують як офлайн-аналіз, так і поточну поведінку користувача в режимі реального часу.

Таким чином, розроблений метод дозволяє інтегрувати переваги офлайн- та онлайн-режимів побудови рекомендацій. Це підвищує релевантність та персоналізацію рекомендацій, враховуючи динамічні зміни в поведінці користувачів та контексті їхніх дій.

6. Експериментальна перевірка методу та обговорення отриманих результатів

Рисунок 1 ілюструє результат взаємодії рекомендаційної системи з існуючим веб-додатком для персоналізованого страхування. Для генерації персоналізованих рекомендацій, представлених на екранній формі, система використовує такі дані користувачів, як історія попередніх транзакцій, персональна інформація та дані про страхові поліси користувачів зі схожими характеристиками. За результатами аналізу поведінки користувача в системі рекомендаційний алгоритм пропонує три найраціональніші страхові тарифи, які відповідають потребам та профілю конкретного користувача. У рамках експериментальної перевірки методу побудови рекомендацій щодо персоналізованого страхування з використанням темпоральних знань було проведено оцінювання рівня задоволеності клієнтів. Для цього було реалізовано багатоетапний процес анкетування, що дозволив отримати детальний зворотний зв'язок щодо якості наданих рекомендацій та загального досвіду взаємодії з системою. Дослідження базувалося на репрезентативній вибірці клієнтів, які активно використовували рекомендаційну систему протягом визначеного періоду. Вибірка охоплювала різноманітні демографічні та соціально-економічні групи, а також клієнтів з різними страховими потребами, що забезпечило всебічне охоплення цільової аудиторії.

Розроблена анкета складалася з декількох тематичних блоків, спрямованих на оцінку різних аспектів задоволеності клієнтів. Зокрема, респонденти оцінювали релевантність рекомендованих страхових продуктів їхнім індивідуальним потребам та очікуванням, ергономічність інтерфейсу системи, інтуїтивність навігації та зрозумілість представлених рекомендацій. Додатково, клієнти висловлювали свою думку щодо оперативності генерації рекомендацій після введення вхідних даних, загального враження від користування системою та готовності рекомендувати її іншим потенційним користувачам.

Анкети були надані клієнтам з використанням електронної пошти. Після збору даних було проведено їх статистичний аналіз для визначення середніх показників задоволеності за кожним оцінюваним аспектом. Особлива увага приділялася якісному аналізу коментарів та пропозицій клієнтів для виявлення потенційних напрямків удосконалення системи.

Bitte geben Sie Ihre Daten ein. Pflichtfelder sind mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

Рис. 1. Результат впровадження методу побудови рекомендацій для індивідуального страхування

Результати експериментальної перевірки представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Середня оцінка задоволеності клієнтів

Розділ анкети	Опис	Середня оцінка
Відповідність рекомендацій	Оцінка відповідності рекомендованих страхових продуктів потребам та очікуванням клієнтів	9,6
Інтерфейс системи	Оцінка зручності та простоти користування інтерфейсом системи	8,3
Простота навігації	Оцінка простоти навігації в системі	7,8
Зрозумілість рекомендацій	Оцінка зрозумілості отриманих рекомендацій	9,1
Швидкість отримання рекомендацій	Оцінка задоволення швидкістю отримання рекомендацій після введення даних	9,6
Досвід користування	Оцінка загального досвіду користування системою	8,9
Готовність рекомендувати	Готовність клієнтів рекомендувати систему іншим	8,6

Результати дослідження продемонстрували високий рівень відповідності рекомендованих страхових продуктів потребам клієнтів, що свідчить про ефективність застосованого методу побудови рекомендацій з використанням темпоральних знань. Респонденти позитивно оцінили інтерфейс системи, відзначаючи його інтуїтивність та простоту використання. Більшість учасників опитування вказали, що час генерації рекомендацій відповідав їхнім очікуванням. Загальний рівень задоволеності клієнтів виявився високим, що підтверджує ефективність та зручність використання розробленої рекомендаційної системи.

Результати експериментальної перевірки свідчать про можливість практичного застосування темпоральних знань у рекомендаційних системах для підтримки індивідуального страхування.

Впровадження рекомендаційних алгоритмів у процеси страхування забезпечує можливість постійного удосконалення процесу страхування згідно з потребами клієнтів.

Тому при експериментальній перевірці методу було використано анкетування клієнтів.

Використання темпоральних знань у рекомендаційній системі створює умови для врахування змін вимог клієнтів страхової компанії з часом. Наприклад, рекомендація може включати модифікацію страхового плану на основі аналізу довгострокових тенденцій у медичних витратах клієнта. Якщо клієнт має високі медичні витрати, то рекомендація може полягати у переході на план страхування з меншими витратами. Такий підхід забезпечує формування персоналізованих рекомендацій, які не лише відповідають поточним потребам, але й враховують потенційні зміни в поведінці та обставинах страхування клієнта.

Автоматизація процесів аналізу даних та генерації рекомендацій на основі темпоральних знань створює умови значного скорочення часових та ресурсних витрат на підтримку процесу страхування за рахунок адаптації маршруту вибору страхового полісу у режимі онлайн відповідно до потреб користувача. Як наслідок, підвищується точність рекомендацій та задоволеність клієнтів, що може позитивно вплинути на прибутковість компанії.

Подальший розвиток даного підходу пов'язаний із наданням обґрунтованих пояснень щодо процесу формування запропонованих рекомендацій. Це досягається шляхом інтеграції експертних знань, які враховують специфіку страхової галузі. Використання пояснень сприяє підвищенню довіри клієнтів за рахунок кращого розуміння процесу прийняття рішень щодо страхування.

8. Висновки

Виконано структурування темпоральних правил для задачі побудови рекомендацій в проектах персоналізованого страхування. Показано, що факти у складі правил мають відображати результат взаємодії користувача із платформою електронного страхування. Темпоральні залежності відображають упорядкованість фактів у часі для одного користувача при одноразовому виборі страхового плану. Темпоральні правила узагальнюють поведінку декількох користувачів. Правила використовують відносний час, що дає можливість зробити узагальнення дій декількох користувачів.

Розроблено метод побудови рекомендацій у режимі онлайн з використанням темпоральних знань. Метод складається з двох фаз: формування темпоральних знань та побудови рекомендацій. Перша фаза виконується в офлайн-режимі і призначена для формування бази темпоральних правил, що узагальнюють поведінку користувачів. Друга фаза виконується в режимі онлайн і полягає у формуванні темпоральних залежностей щодо дій цільового користувача, підборі темпоральних правил, що відповідають цій залежності, а також уточненні рекомендацій з урахуванням визначених правил. Метод дає можливість оперативно адаптувати рекомендації з урахуванням поточних дій користувача, що створює умови для підвищення довіри користувачів до пропозицій рекомендаційної системи.

Перелік посилань:

1. Zhang, J. (2022). Design and Implementation of Insurance Product Recommendation System. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 1(2), 63-66. doi: <https://doi.org/10.54097/fcis.v1i2.1774>
2. Zanke, P. (2024). Transforming customer experience with personalized analytics and AI. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 12, 2320-2882.
3. Zheng, L., & Guo, L. (2020). Application of Big Data Technology in Insurance Innovation. doi: <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200401.061>
4. Adeoye, O., Okoye, C., Ofodile, O., Odeyemi, O., Addy, W., & Ajayi-Nifise, A. (2024). Integrating artificial intelligence in personalized insurance products: A pathway to enhanced customer engagement. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(3), 502-511. doi: <https://doi.org/10.51594/ijmer.v6i3.840>
5. Smith, B., & Linden, G. (2017). Two decades of recommender systems at Amazon.com. *IEEE Internet Computing*, 21(3), 12-18. doi: <https://doi.org/10.1109/MIC.2017.72>

6. Ricci, F., Rokach, L., & Shapira, B. (2022). *Recommender Systems Handbook*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7637-6>
7. Schein, A. I., Popescul, A., Ungar, L. H., & Pennock, D. M. (2002). Methods and metrics for cold-start recommendations. *Proceedings of the 25th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 253-260. doi: <https://doi.org/10.1145/564376.564421>
8. Lops, P., De Gemmis, M., & Semeraro, G. (2011). Content-based recommender systems: State of the art and trends. *Recommender Systems Handbook*, 73-105. doi: https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3_3
9. Aggarwal, C. C. (2016). *Recommender Systems: The Textbook*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29659-3>
10. Campos, P. G., Díez, F., & Cantador, I. (2014). Time-aware recommender systems: A comprehensive survey and analysis of existing evaluation protocols. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 24(1-2), 67-119. doi: <https://doi.org/10.1007/s11257-012-9136-x>
11. Levykin, V., & Chala, O. (2018). Method of determining weights of temporal rules in Markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 3-10. doi: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>
12. Чала, О.В. (2018). Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах. *Сучасні інформаційні системи*, 2(3), 54-59. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.09>
13. Levykin, V., & Chala, O. (2018). Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3(95), 16-24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142664>
14. Левикін, В. М., & Чала, О. В. (2018). Підтримка прийняття рішень в інформаційно-управляючих системах з використанням темпоральної бази знань. *Сучасні інформаційні системи*, 2(4), 101-107. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.17>
15. Chalyi, S., & Leshchynskiy, V. (2020). Temporal representation of causality in the construction of explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 4(3), 113-117.
16. Чалий, С. Ф., & Лещинський, В. О. (2020). Темпоральні патерни вподобань користувачів в задачах формування пояснень в рекомендаційній системі. *Бионика интеллекта*, 2 (95), 21-27.
17. Chalyi, S., & Pribylnova, I. (2019). The method of constructing recommendations online on the temporal dynamics of user interests using multilayer graph. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 13-19.
18. Chalyi, S., Leshchynskiy, V., & Leshchynska, I. (2020). Detailing explanations in the recommender system based on matching temporal knowledge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2 (106)), 6-13.
19. Чалий, С. Ф., Лещинський, В. О., & Лещинська, І. О. (2019). Доповнення вхідних даних рекомендаційної системи в ситуації циклічного холодного старту з використанням темпоральних обмежень типу «NEXT». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 4(56), 105-109.
20. Chalyi, S., Leshchynskiy, V., & Leshchynska, I. (2020). Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 34-40.

Надійшла до редколегії 25.04.2024 р.

Чала Оксана Вікторівна, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: oksana.chala@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8265-2480> (науковий керівник здобувача вищої освіти Євдокимова Богдана Сергійовича).

Євдокимов Богдан Сергійович, здобувач вищої освіти, група УПГІТм-22-2, факультет комп'ютерних наук, ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: bohdan.ievdokymov@nure.ua

МОДЕЛЬ ТА МЕТОД ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ

Розглянуто основні особливості використання інформаційних систем управління проектами, які забезпечують централізований доступ до інформації, автоматизують процеси управління ресурсами та дозволяють здійснювати прийняття обґрунтованих стратегічних рішень. Проведено аналіз моделей та методів, які застосовуються для вибору інформаційних систем управління проектами. На основі проведеного аналізу вимог до подібних систем, обґрунтовано вибір чотирьох критеріїв та тринадцяти підкритеріїв для подальшого їх використання під час вирішення задачі вибору інформаційної системи управління проектами. Розроблено категорно-множинну модель оцінювання альтернатив інформаційних систем управління проектами та метод вирішення задачі вибору цих систем на основі методу аналізу ієрархій та сформованих критеріїв. Розглянуто особливості програмної реалізації розробленої моделі та методу і проведено їх експериментальну перевірку на прикладі вибору інформаційної системи управління проектом згідно з вимогами замовника.

1. Вступ

Правильне планування, контроль та оцінка виконання сучасних проєктів на всіх етапах відіграло величезну роль в успішності і витратоефективності кінцевого продукту. Інформаційні системи управління проектами (ІС УП) є невід'ємною частиною сучасного бізнесу і відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного планування, контролю та виконання проєктів. Ці системи забезпечують централізований доступ до інформації та автоматизацію процесів управління ресурсами, а також дозволяють здійснювати прийняття обґрунтованих стратегічних рішень. При використанні ІС УП спостерігається підвищення ефективності управління проєктами [1].

Сучасні проєкти стають все складнішими, зокрема, за рахунок участі міжнародних команд та необхідності дотримання складних технічних вимог. Це потребує високого рівня координації та управління, який можуть забезпечити лише сучасні ІС УП. Такі системи потребують сучасних засобів інтенсифікації управління, зокрема, новітніх технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, великі дані та хмарні обчислення. Ці технології інтегруються в ІС УП, підвищуючи їх ефективність і можливості [2]. Наприклад, штучний інтелект може допомогти у прогнозуванні ризиків і управлінні ресурсами, що є критичним для успішного виконання проєктів [3].

Сучасні ІС УП автоматизують рутинні завдання, зменшуючи ймовірність людських помилок. Цифровізація процесів управління проектами дозволяє зберігати, обробляти і аналізувати великі обсяги даних, що допомагає у прийнятті обґрунтованих рішень. Окрім того, залучення концепцій «великих даних» в сучасних ІС УП допомагає в вирішенні вже згаданої проблеми збільшення обсягу та складності проєктів з кожним роком [4].

Використання сучасних ІС УП дозволяє значно підвищити ефективність управління ресурсами, продуктивність команди та загальну якість виконання проєктів. Ці системи забезпечують доступ до даних в реальному часі, полегшуючи моніторинг та контроль проєктних показників.

У контексті глобалізації багато компаній працюють з міжнародними проєктами, які потребують злагодженого управління та комунікації між географічно розділеними командами. Сучасні ІС УП забезпечують необхідні інструменти для віддаленої співпраці, підтримки багатомовності та врахування різних часових поясів, а хмарні обчислення та

напрямки їх розвитку впливають на ефективність сучасних ІС УП, особливо в кризових умовах, таких як пандемії та збройні конфлікти [5].

ІС УП надають інструменти для управління ризиками, моніторингу у відповідності до нормативних вимог та забезпечення безпеки даних. Це особливо важливо в умовах постійно зростаючих вимог до конфіденційності та захисту інформації.

Отже, вибір ІС УП з точки зору застосування в них новітніх технологій є важливою та актуальною темою, яка вимагає комплексного підходу та глибокого аналізу для забезпечення успіху проєктів і підвищення конкурентоспроможності організацій.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

2.1. Аналіз сучасних моделей та методів, використовуваних для вибору інформаційної системи управління проєктами

Проблема вибору ІС УП стає актуальною в умовах стрімкого розвитку технологій та зростаючої складності проєктів, коли вірний вибір такої системи може визначити успішність управління проєктами та досягнення поставлених цілей. ІС УП необхідність при реалізації проєктів різної направленості, як в багатомільйонному будівництві так і в розвитку сільської місцевості регіонів [6].

Основними проблемами, які виникають при виборі ІС УП, є: різноманітність пропозицій на ринку; недостатнє розуміння потреб організації; складність оцінки функціональних можливостей; висока вартість та фінансові ризики; інтеграція з існуючими системами; складності адаптації персоналу; безпека даних тощо.

Сучасний ринок пропонує велику кількість різноманітних ІС УП, і кожна система має свої унікальні функції, переваги та недоліки, що ускладнює їх вибір. Часто замовники не мають чіткого розуміння своїх специфічних потреб і вимог до ІС УП, що призводить до неправильного вибору системи, яка не відповідає їхнім реальним вимогам.

Оцінка функціональних можливостей різних ІС УП може бути складною через різноманітність функцій та їх реалізації. Це вимагає детального аналізу та тестування кожної подібної системи, що впливає на час її адаптації. Вартість впровадження та експлуатації ІС УП може бути значною. Помилковий вибір системи може призвести до фінансових втрат та невиправданих витрат, особливо якщо не враховувати рівень кваліфікації наявного в організації персоналу. Не всі ІС УП легко інтегруються з існуючими інформаційними системами організації і це може створювати проблеми з обміном даними та злагодженою роботою різних систем. Впровадження нової ІС УП вимагає навчання персоналу, що може бути тривалим і складним процесом. Недостатня підтримка та тренінги можуть знизити ефективність використання системи. Забезпечення безпеки даних є критично важливим аспектом, тому невідповідність системи вимогам безпеки може призвести до втрати даних або витоку конфіденційної інформації.

Застосування методів багатокритеріального аналізу, таких як метод аналізу ієрархій (МАІ), допомагає формалізувати процес вибору подібної системи, врахувати важливість різних критеріїв і забезпечити обґрунтованість прийнятого рішення на їх основі. Врахування відгуків та досвіду користувачів при виборі ІС УП дозволяє виявити потенційні проблеми на ранніх етапах та зробити більш обґрунтоване рішення.

Необхідність вдосконалення процесу вибору ІС УП обумовлена зростанням складності проєктів, вимог до інтеграції, безпеки та ефективності. Використання інноваційних підходів та сучасних технологій дозволяє зробити процес вибору обґрунтованішим, прозорішим та ефективнішим, що, в свою чергу, забезпечить успіх управління проєктами в організації.

Аналіз існуючих методів вибору ІС УП дозволяє встановити можливість їх використання, переваги та недоліки. Звичайне порівняння характеристик, при якому різні

ІС УП порівнюються за задалегідь визначеними критеріями, є легким в застосуванні та не потребує окремих інструментів, обчислень та програмного забезпечення, але характеризується надзвичайно високим рівнем суб'єктивності оцінки та через відсутність формалізації цих процесів може враховувати не важливість різних критеріїв, а лише їх наявність. Таке порівняння розглядається в [7].

Метод анкетування та експертної оцінки, застосування якого забезпечує збирання думок експертів через їх анкетування або інтерв'ювання для оцінки різних ІС УП, враховує досвід та характеризується гнучким підходом до оцінки, але також доволі суб'єктивний та потребує значних часових витрат [8].

Метод бальних оцінок [9] визначає вагу та бали для кожного критерію, що можна використати для обчислення загальної оцінки для кожної ІС УП. Цей метод характеризується формалізованим підходом та можливістю врахування ваги критеріїв, але не враховує взаємозалежності між вагами критеріїв та є доволі суб'єктивним.

Популярний метод SWOT-аналізу дозволяє проводити всебічний погляд на систему її слабкі і сильні сторони, можливості та загрози. Він також враховує зовнішні та внутрішні фактори, але має складність у кількісному вимірюванні результатів та може бути занадто загальним [10].

Метод аналізу ієрархій (MAI) для багатокритеріального прийняття рішень, який включає розбиття проблеми на ієрархії критеріїв та підкритеріїв, є доволі популярним і зарекомендованим методом [11]. Він має формалізований і структурований підхід, враховує ваги критеріїв та підкритеріїв, а також має можливість їх парного порівняння. Серед недоліків застосування методу можна зазначити необхідність великих обчислювальних ресурсів та часу [12]. MAI є особливо корисним для вирішення складних багатокритеріальних задач, таких як вибір ІС УП. Цей метод дозволяє: формалізувати процес прийняття рішення; врахувати важливість кожного критерію через ваги; проводити детальний аналіз за допомогою парних порівнянь, що зменшує суб'єктивність оцінок; забезпечити прозорість та обґрунтованість вибору ІС УП. MAI дозволяє побудувати чітку ієрархію критеріїв, врахувати взаємозалежності між ними та провести комплексний аналіз, що робить його вибір оптимальним для даного дослідження.

2.2. Аналіз та обґрунтування критеріїв вибору інформаційних систем управління проектами

При аналізі існуючих методів вирішення поставленої проблеми можна виявити безліч підходів до класифікації та оцінки ІС УП. Особливо важливо знайти недоліки в запропонованих моделях та методах для їх вдосконалення. Це дозволить створити пристосованіший до сучасних вимог та викликів метод вибору ІС УП. При цьому найбільшу увагу під час такого пристосування слід приділяти критеріям та їх вибору.

В [13] пропонується здійснення оцінювання та вибору програмних засобів сучасних ІС УП в галузі інформаційних технологій на основі обґрунтування та дослідження критеріїв, таких як кросплатформеність, надійність, універсальність, інтуїтивність інтерфейсу та ціна. Але ця множина критеріїв викликає сумнів з точки зору сучасних умов. Так кросплатформеність в сучасному світі стала стандартом, тому застосування цього критерію не є актуальним. Критерій «Надійність» та «універсальність» можна зараз розглядати не відокремлено один від одного. Критерій «Інтуїтивність інтерфейсу» є доволі проблематичним для оцінювання, оскільки він доволі суб'єктивний. Було б справедливіше розглядати цей критерій з точки зору імплементації ІС УП замінивши його такими критеріями, як «Вартість» та «Тривалість імплементації» ІС УП. Це доволі логічно, оскільки чим менш інтуїтивний інтерфейс, тим більша вартість та тривалість імплементації ІС УП.

У [14] оцінювання ІС УП на основі застосування MAI реалізовано з урахуванням основних функціональних можливостей ІС УП на прикладі 18 комерційних програмних

застосунків. При цьому визначені та використовуються 8 критеріїв, 28 підкритеріїв і 44 підпідкритерії, відносна важливість яких оцінюється за допомогою МАІ. В даному випадку кількість критеріїв доволі велика, але вони сфокусовані на оцінюванні ІС УП з точки зору функціональності та не розглядають інші важливі критерії, які можуть вплинути на вибір ІС УП з інших точок зору, наприклад, вартості. Навіть глибший аналіз в роботі представників Палермського університету не розширює набір критеріїв і продовжує фокусуватися на функціональних критеріях вибору ІС УП [15].

У [16] розглядається метод оцінювання ІС УП, який враховує критерії не тільки функціональності, але й вартості. Критерії вартості є зрозумілими і ефективними для оцінки, але їх кількість, запропонована у [16] замала, тому треба додати до них ще декілька критеріїв та розширити метод. Це може бути основою для подальшого дослідження.

Таким чином, додавання таких критеріїв, «Тривалість адаптації» та «Наявність необхідних кінцевих документів» (ці документи повинні додавати саме ІС УП згідно з вимогами керівного персоналу) зможе вдосконалити метод. Ці додаткові критерії вибрані на основі аналізу існуючих досліджень. Так при аналізі досліджень впливу підготовленості персоналу до імплементації ІС УП при будівництві в Саудівській Аравії [17] було підтверджено, що тривалість адаптації ІС УП є важливим показником, оскільки саме вона опосередковано впливала на швидкість розвитку регіону.

Критерій «Наявність необхідних кінцевих документів» був вибраний на основі двох незалежних досліджень. Одне з них проведене в Ірані шляхом анкетування керівників проектів в трьох компаніях Тегерану. На основі цього дослідження було розроблено комплексну модель для оцінки впливу ІС УП на функції управління проектом. Ця модель враховувала вплив п'яти факторів, а саме: якість ІС УП, якість вихідної інформації ІС УП, застосування ІС УП, вплив ІС УП на управління проектом і вплив ІС УП на успіх проекту.

Друге дослідження [18] показало, що постійне покращення якості звіту про стан проекту, який формується із застосуванням ІС УП, є ефективним заходом щодо підвищення якості вихідної інформації. Такі заходи допомогли менеджерам у прийнятті рішень, плануванні, організації та контролі проекту.

Нідерландські дослідники провели опитування 101 керівника проекту і зробили висновки [19], що якість інформації, яку надає ІС УП, позитивно пов'язана з якістю рішень та задоволеністю керівників проектів.

Проведений аналіз сучасних публікацій в галузі вибору ІС УП дозволяє зробити такі висновки:

а) МАІ залишається одним з основних методів, які рекомендується застосовувати для вибору інформаційних систем і, зокрема, ІС УП в умовах багатокритеріального оцінювання подібних систем;

б) не існує єдиного погляду на множину критеріїв вибору ІС УП;

в) сучасні дослідження визнають необхідність застосування під час вибору ІС УП не тільки розповсюджених критеріїв функціональності та вартості, а й критеріїв, що характеризують ступінь імплементації та якість експлуатації ІС УП.

Виходячи з цих висновків, слід сформулювати проблему даного дослідження як проблему розробки формального апарату вирішення задачі вибору ІС УП на замовлення організації, яка бажає використовувати в подальшому цю систему у своїй бізнес-діяльності.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є вирішення задачі вибору ІС УП. При цьому як формальну основу процесу вибору ІС УП пропонується використати МАІ, що дозволить

– формалізувати процес вибору ІС УП шляхом створення чіткої ієрархічної структури критеріїв та підкритеріїв;

– забезпечити об'єктивність і прозорість прийняття рішень, зменшуючи суб'єктивні впливи та помилки;

– підвищити ефективність управління проектами в організації, яка виступає замовником ІС УП, завдяки вибору системи, яка найповніше відповідає специфічним потребам цієї організації;

– підвищити рівень конкурентоспроможності та адаптації до змін процесів організації, яка виступає замовником ІС УП, за рахунок інтеграції у процес вибору ІС УП інноваційних підходів та сучасних технологій.

Для досягнення мети дослідження пропонується вирішити такі задачі:

– обґрунтувати вибір критеріїв та підкритеріїв вибору ІС УП;

– розробити модель оцінювання ІС УП на основі запропонованих критеріїв та підкритеріїв вибору ІС УП;

– розробити метод вибору ІС УП на основі МАІ;

– провести експериментальну перевірку отриманих результатів.

4. Матеріали і методи дослідження

Об'єктом дослідження виступає процес вибору ІС УП для організацій, які використовують управління окремими проектами в своїй бізнес-діяльності. Предметом дослідження виступають критерії, підкритерії, модель і метод вибору ІС УП.

Для формального опису критеріїв та підкритеріїв пропонується застосувати стандартну атрибутивну модель опису кількісних та якісних показників, яка застосована, наприклад, у бібліотеці ІПЛ, починаючи з версії v. 2 [20]. Ця модель базується на формальному апараті теорії множин і розглядає кожен критерій та підкритерій як множину атрибутів, що визначають найменування, діапазон можливих значень, цільові та порогові значення окремого критерію чи підкритерію тощо. Застосування цієї моделі дозволяє розглядати кожен критерій та підкритерій як окрему структуровану множину.

Використання стандартної моделі опису кількісних та якісних показників, розглянутої у [20], дозволяє використовувати для розробки моделі оцінювання ІС УП формальний апарат теорії категорій структурованих множин. Застосування цього апарату дозволить розробити уніфіковану модель, яка може бути використана, наприклад, для випадків, коли необхідно описати кілька рівнів деталізації похідних критеріїв вибору ІС УП за однаковими формальними правилами.

За результатами проведеного аналізу пропонується покласти до основи процесу вибору ІС УП такий формальний метод, як МАІ. Це метод прийняття рішень, розроблений Томасом Сааті, який допомагає приймати комплексні рішення в умовах багатьох критеріїв та альтернатив. МАІ використовує ієрархічну структуру для розбиття проблеми на простіші компоненти та послідовного оцінювання їх за допомогою парних порівнянь [21].

Основні етапи МАІ включають:

– створення ієрархічної структури: проблема розбивається на головний критерій, підкритерії та альтернативи;

– парні порівняння: експерти порівнюють кожен елемент з іншими елементами у парах та визначають їхню відносну важливість;

– створення матриць порівнянь: оцінки експертів використовуються для створення матриць парних порівнянь для кожного рівня ієрархії;

– розрахунок ваг критеріїв: застосовується метод власних векторів для визначення ваг кожного критерію на основі матриці парних порівнянь;

– контроль консистентності: проводиться перевірка консистентності оцінок експертів для визначення їхньої надійності та уникнення суперечностей.

Варто зауважити, що МАІ не вибирає найкращий варіант серед представлених, він лише

дозволяє структурувати та формалізувати процес прийняття рішень, забезпечуючи об'єктивність та консистентність у визначенні ваг критеріїв та виборі найкращої з альтернатив.

5. Вирішення задачі вибору інформаційної системи управління проєктами

5.1. Обґрунтування критеріїв та підкритеріїв вибору інформаційних систем управління проєктами

Як свідчить практика, замовник перш за все орієнтується на таку ІС УП, яка б забезпечила підвищення ефективності діяльності підприємства або компанії, отримання швидких результатів від цієї системи при не дуже значній її вартості. Тому як основні критерії вибору конкретної ІС УП, згідно з вимогами замовника, пропонуються такі критерії:

- F – «Функціональність» (F – max);
- C – «Вартість» (C – min);
- T – «Тривалість адаптації» (T – min);
- D – «Наявність необхідних кінцевих документів» (D – max).

Критерій «Функціональність» пропонується декомпонувати на такі підкритерії:

- F_s – «Відповідність специфікаціям проєкту»;
- F_i – «Інтегрованість»;
- F_m – «Масштабованість»;
- F_{sc} – «Безпека».

Підкритерій «Відповідність специфікаціям проєкту» характеризує ступінь підтримки процесів, необхідних для конкретної організації, засобами ІС УП, а також гнучкість налаштувань системи. Тобто мова йде про наявність всіх необхідних для роботи інструментів та можливості налаштування робочих процесів під особисті уподобання, підтримка користувацьких полів, гнучкість у налаштуванні звітів та інформаційних панелей проєктів.

Підкритерій «Інтегрованість» характеризує ступінь використання в межах ІС УП інструментів, необхідних для конкретної організації, таких як інструменти для співпраці команди майбутніх проєктів та інструменти для управління ризиками. Цей підкритерій характеризує також ступінь інтеграції ІС УП з іншими інформаційними системами. Мається на увазі, наприклад, інтеграція з ERP-системами такими як SAP, Oracle, з CRM-системами, наприклад Salesforce, з системами управління документацією, такими як SharePoint, Google Drive або інтеграція з фінансовими системами.

Підкритерій «Масштабованість» можливо розглядати у двох аспектах. Одним з цих аспектів є можливість розширення функціональності та підтримка зростання кількості користувачів та обсягу даних. Мається на увазі доступність API для розробки додаткових модулів або підтримка плагінів та розширень для додавання в ІС УП в ході використання. Другий аспект передбачає застосування підкритерію «Масштабованість» для характеристики можливості збільшення кількості нових користувачів системи без значних додаткових витрат та обробки великих обсягів додаткових даних без зниження продуктивності системи. Тобто підкритерій «Масштабованість» пропонується застосовувати для оцінювання можливості розширення функціональних можливостей ІС УП як в плані фізичному, так і організаційному.

Підкритерій «Безпека» характеризує ступінь відповідності ІС УП стандартам безпеки, а також рівень захисту даних. Ця відповідність забезпечується такими механізмами і функціями ІС УП, як шифрування даних при їх передачі та зберіганні; регулярні оновлення інструментів безпеки в середовищі ІС УП, механізм автентифікації та авторизації, механізм двофакторної автентифікації, засоби визначення ролей та прав доступу до проєктів в рамках їх виконання в ІС УП; технологія єдиного входу для легшого переходу між ІС УП та системами, вже наявними і використовуваними в організації; механізм відновлення після

збоїв. Під стандартами безпеки розуміємо такі стандарти, як, наприклад, ISO/IEC 27001.

Критерій «Вартість», в свою чергу, пропонується декомпонувати на декілька підкритеріїв, кожен з яких буде відповідати за свою сферу витрат. Наприклад, можна виділити такі три підкритерії:

- *Cs* – «Початкова вартість»;
- *Ce* – «Експлуатаційні витрати»;
- *Ch* – «Приховані витрати».

Підкритерій «Початкова вартість» характеризує ступінь важливості суми вартості ліцензій ІС УП, обладнання та програмного забезпечення, необхідних для використання майбутньої ІС УП в порівнянні з іншими витратами. Іншими витратами є експлуатаційні витрати, які експерти також мають порівняти.

Підкритерій «Експлуатаційні витрати» характеризує витрати на обслуговування та підтримку системи в ході її майбутньої експлуатації (ними можуть бути, наприклад, витрати на майбутню модернізацію і оновлення ІС УП).

Підкритерій «Приховані витрати» характеризує вартість навчання персоналу та вартість адаптації та впровадження ІС УП.

Критерій «Тривалість адаптації» пропонується декомпонувати на такі підкритерії:

- *Ti* – «Час на впровадження»;
- *Tt* – «Час на навчання персоналу»;
- *Te* – «Час на підготовку до експлуатації».

Підкритерій «Час на впровадження» характеризує час на встановлення системи та її інтеграцію з існуючими в компанії системами. Цей підкритерій важливий, оскільки враховує час, необхідний для інтеграції ІС УП в загальну систему конкретного підприємства.

Підкритерій «Час на навчання персоналу» характеризує час, потрібний співробітникам для опанування базового функціоналу ІС УП. Час, необхідний для навчання персоналу, залежить від багатьох факторів, таких як складність матеріалу, кількість персоналу, доступність ресурсів тощо. Зазвичай процес навчання може займати від кількох годин до кількох тижнів.

Підкритерій «Час на підготовку до експлуатації» характеризує час, потрібний на повноцінну інтеграцію ІС УП. Цей час може залежати як від складності системи, так і від якості підтримки від виробника ІС УП.

Критерій «Наявність необхідних кінцевих документів» пропонується декомпонувати на такі підкритерії:

- *Du* – «Наявність документації користувача»;
- *Dt* – «Наявність технічної документації»;
- *Dra* – «Наявність звітів та аналітики».

Підкритерій «Наявність документації користувача» характеризує наявність та якість навчальних матеріалів для користувача ІС УП, наданих її розробниками (такими матеріалами можуть бути посібники, відеоролики, які наглядно пояснюють певні аспекти використання системи, тощо).

Підкритерій «Наявність технічної документації» характеризує наявність більш спеціалізованої інформаційної бази (наприклад, наявність інструкцій для адміністраторів майбутньої ІС УП, технічної специфікації тощо).

Підкритерій «Наявність звітів та аналітики» характеризує ступінь можливості підтримки ІС УП процесів створення стандартних та користувацьких звітів. При цьому системою можуть бути надані як аналітика щодо проєктів, так і можливість створення гнучкіших звітів відповідно до потреб конкретної організації.

5.2. Результати розробки моделі оцінювання інформаційних систем управління проектами

Під час розробки моделі оцінювання ІС УП слід брати до уваги особливості застосування цієї моделі у методі вибору ІС УП на основі МАІ, а саме:

- з одного боку, модель повинна відображувати ієрархію належності множин підкритеріїв до базових критеріїв вибору ІС УП;
- з іншого боку, модель повинна відображати ієрархію використання для опису кожної з альтернатив ІС УП множин значень підкритеріїв вибору цих систем.

Тому пропонується представити модель оцінювання ІС УП як категорію L_o , яка в загальному випадку має вигляд:

$$L_o = [CR, SC, IS, H_{SC}^{CR}, H_{SC}^{IS}], \quad (1)$$

де CR – підмножина об'єктів категорії L_o , яка одночасно є множиною критеріїв вибору ІС УП; SC – підмножина об'єктів категорії L_o , яка одночасно є множиною підкритеріїв вибору ІС УП; IS – підмножина об'єктів категорії L_o , яка одночасно є множиною альтернатив ІС УП, серед яких здійснюється вибір; H_{SC}^{CR} – підмножина морфізмів категорії L_o , яка встановлює між підмножинами CR та SC бінарне відношення еквівалентності; H_{SC}^{IS} – підмножина морфізмів категорії L_o , яка встановлює між підмножинами S та SC бінарне відношення еквівалентності.

Слід зазначити, що кожен критерій $cr_i \in CR$ є фактор-об'єктом для підмножини підкритеріїв $SC_i = (sc_x, \dots, sc_y) \in SC$, а кожен підкритерій $sc_j \in (sc_x, \dots, sc_y)$ є, у свою чергу, підоб'єктом критерія $cr_i \in CR$. Кожен елемент множини H_{SC}^{CR} є коконусом морфізмів, який описує еквівалентність підмножини підкритеріїв SC_i кожному конкретному критерію вибору ІС УП $cr_i \equiv SC_i$. Цей коконус морфізмів пропонується описати як підмножину морфізмів

$$H_{SC_i=(sc_x, \dots, sc_y)}^{cr_i} = (h_{sc_x}^{cr_i}, \dots, h_{sc_j}^{cr_i}, \dots, h_{sc_y}^{cr_i}), \quad (2)$$

де кожен елемент $h_{sc_j}^{cr_i} \in H_{SC_i}^{cr_i}$ визначає факт використання підкритерію sc_j як одного з результатів декомпозиції критерію cr_i на підмножину підкритеріїв SC_i .

Кожна альтернатива $is_k \in IS$ ІС УП є фактор-об'єктом для множини підкритеріїв SC , а кожен підкритерій $sc_j \in SC$ є, у свою чергу, підоб'єктом для альтернативи $is_k \in IS$. Це дозволяє представляти будь яку ІС УП, що бере участь у процесі вибору як одна з можливих альтернатив, як сукупність значень підкритеріїв з множини SC , яка, в свою чергу, є еквівалентною усій множині встановлених критеріїв оцінювання ІС УП CR . Тоді кожен елемент множини H_{SC}^{IS} є коконусом морфізмів, який описує еквівалентність множини підкритеріїв SC кожній конкретній альтернативі ІС УП $is_i \equiv IS$. Цей коконус морфізмів пропонується описати як підмножину морфізмів

$$H_{SC}^{is_i} = (h_{sc_a}^{is_i}, \dots, h_{sc_j}^{is_i}, \dots, h_{sc_z}^{is_i}), \quad (3)$$

де кожен елемент $h_{sc_j}^{is_i} \in H_{SC}^{is_i}$ визначає факт використання значення підкритерію sc_j як одного з результатів оцінювання альтернативи is_i .

Для запропонованих у підрозділі 5.1 критеріїв підмножина об'єктів CR буде мати вигляд

$$CR = (F, C, T, D), \quad (4)$$

де F – критерій «Функціональність»; C – критерій «Вартість»; T – критерій «Тривалість адаптації»; D – критерій «Наявність необхідних кінцевих документів».

Підмножина об'єктів SC для запропонованих у підрозділі 5.1 підкритеріїв буде мати вигляд

$$SC = (Fs, Fi, Fm, Fsc, Cs, Ce, Ch, Ti, Tt, Te, Du, Dt, Dra), \quad (5)$$

де Fs – підкритерій «Відповідність специфікаціям проєкту»; Fi – підкритерій «Інтегрованість»; Fm – підкритерій «Масштабованість»; Fsc – підкритерій «Безпека»; Cs – підкритерій «Початкова вартість»; Ce – підкритерій «Експлуатаційні витрати»; Ch – підкритерій «Приховані витрати»; Ti – підкритерій «Час на впровадження»; Tt – підкритерій «Час на навчання персоналу»; Te – підкритерій «Час на підготовку до експлуатації»; Du – підкритерій «Наявність документації користувача»; Dt – підкритерій «Наявність технічної документації»; Dra – підкритерій «Наявність звітів та аналітики».

Для критерію F коконус морфізмів $H_{SC_i}^F$, буде описувати таку еквівалентність

$$F \equiv (Fs, Fi, Fm, Fsc). \quad (6)$$

Для критерію C коконус морфізмів $H_{SC_i}^C$, буде описувати таку еквівалентність

$$C \equiv (Cs, Ce, Ch). \quad (7)$$

Для критерію T коконус морфізмів $H_{SC_i}^T$, буде описувати таку еквівалентність

$$T \equiv (Ti, Tt, Te). \quad (8)$$

Для критерію D коконус морфізмів $H_{SC_i}^D$, буде описувати таку еквівалентність

$$D \equiv (Du, Dt, Dra). \quad (9)$$

Для будь-якої альтернативи ІС УП, яка буде брати участь у процесі вибору, коконус морфізмів $H_{SC}^{is_i}$ буде описувати таку еквівалентність

$$H_{SC}^{is_i} = \left(\begin{array}{ccccccccc} h_{val_{Fs}}^{is_i}, h_{val_{Fi}}^{is_i}, h_{val_{Fm}}^{is_i}, h_{val_{Fsc}}^{is_i}, h_{val_{Cs}}^{is_i}, h_{val_{Ce}}^{is_i}, h_{val_{Ch}}^{is_i}, h_{val_{Ti}}^{is_i}, \\ h_{val_{Tt}}^{is_i}, h_{val_{Te}}^{is_i}, h_{val_{Du}}^{is_i}, h_{val_{Dt}}^{is_i}, h_{val_{Dra}}^{is_i} \end{array} \right), \quad (10)$$

де val_{Fs} – значення підкритерію Fs ; val_{Fi} – значення підкритерію Fi ; val_{Fm} – значення підкритерію Fm ; val_{Fsc} – значення підкритерію Fsc ; val_{Cs} – значення підкритерію Cs ; val_{Ce} – значення підкритерію Ce ; val_{Ch} – значення підкритерію Ch ; val_{Ti} – значення підкритерію Ti ; val_{Tt} – значення підкритерію Tt ; val_{Te} – значення підкритерію Te ; val_{Du} – значення підкритерію Du ; val_{Dt} – значення підкритерію Dt ; val_{Dra} – значення підкритерію Dra .

Існування коконуса морфізмів (10) стає можливим завдяки застосуванню для опису кожного з підкритеріїв, як сказано у розділі 4, стандартної атрибутивної моделі опису кількісних та якісних показників [20]. Ця модель дає змогу встановлювати ізоморфне відображення між атрибутом «Найменування підкритерію» та атрибутом «Значення підкритерію» для кожної конкретної альтернативи ІС УП.

Схема ієрархічної структури моделі (1) для випадку (4)-(10) та трьох можливих альтернатив ІС УП буде мати вигляд, показаний на рис. 1. Використання подібної ієрархічної схеми як візуального представлення екземплярів моделі (1) під час вирішення задачі оцінювання ІС УП дозволяє краще зрозуміти зв'язки між критеріями та підкритеріями в процесі вибору ІС УП.

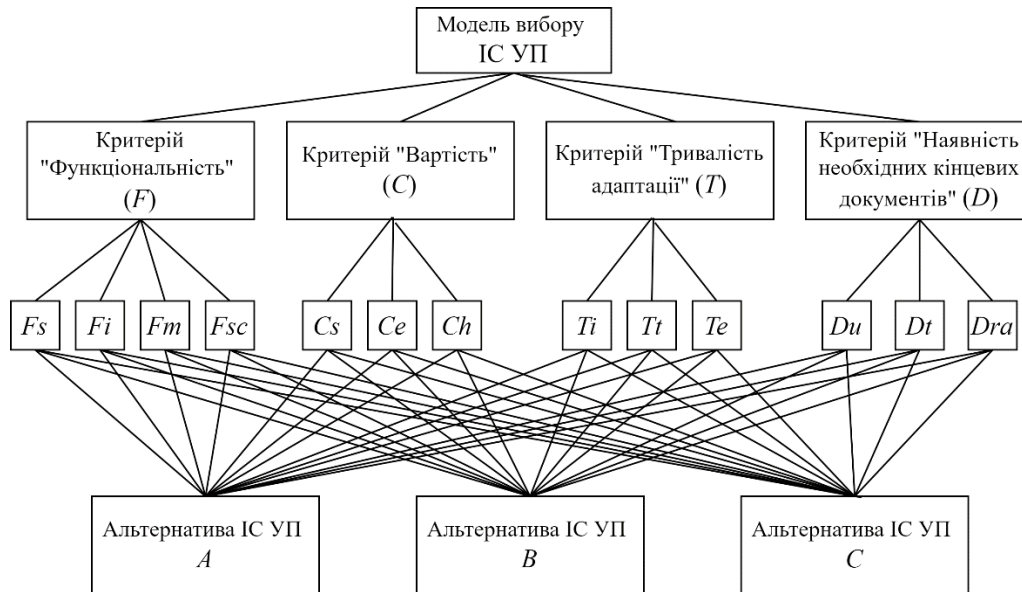


Рис. 1. Схема ієрархічної структури моделі

5.3. Розробка методу вибору інформаційної системи управління проектами

Для реалізації моделі (2) розробимо метод оцінки та вибору ІС УП, спираючись на сформовані критерії та підкритерії, МАІ та спосіб формування подібного методу [22], [23]. Цей метод включає такі етапи.

Етап 1. Визначення за допомогою експертів базових оцінок критеріїв ІС УП та їх ваг.

Крок 1.1. Збір оцінок експертів для кожного критерію. Експерти порівнюють критерії «Функціональність» (F), «Вартість» (C), «Тривалість адаптації» (T) та «Наявність необхідних кінцевих документів» (D) попарно, формуючи матрицю попарних порівнянь

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{FC} & x_{FT} & x_{FD} \\ \frac{1}{x_{FC}} & 1 & x_{CT} & x_{CD} \\ \frac{1}{x_{FT}} & \frac{1}{x_{CT}} & 1 & x_{TD} \\ \frac{1}{x_{FD}} & \frac{1}{x_{CD}} & \frac{1}{x_{TD}} & 1 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

Крок 1.2. Обчислення середніх геометричних значень для кожного рядка

$$G_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_{ij}}, \quad (12)$$

де G_i – середнє геометричне значення для i -го рядка; x_{ij} – значення елемента у i -му рядку j -го стовбця матриці (11).

Крок 1.3. Знаходження суми всіх середніх геометричних значень.

$$S = \sum_{i=1}^n G_i, \quad (13)$$

де S – сума всіх середніх геометричних значень на основі (12).

Крок 1.4. Кожне середнє геометричне значення нормалізується шляхом ділення на суму, щоб отримати вагу критерію

$$w_i = \frac{G_i}{S}, \quad (14)$$

де w_i – вага критерію.

Це дозволяє представити ваги критеріїв у вигляді вектору значень

$$W_K = (w_F, w_C, w_T, w_D), \quad (15)$$

де W_K – вектор ваг для критеріїв; w_i – вага кожного критерію, обчислена в (14).

Етап 2. Визначення оцінки підкритеріїв ІС УП. Кроки Етапу 2 співпадають з кроками Етапу 1, але обчислюються ваги для підкритеріїв кожного критерію шляхом порівняння їх між собою. Це дозволяє сформувати вектор локальних ваг підкритеріїв

$$W_{SK} = (w_{FS}, w_{Fi}, w_{Fm}, w_{Fsc}, w_{Cs}, w_{Ce}, w_{Ch}, w_{Ti}, w_{Tt}, w_{Te}, w_{Du}, w_{Dt}, w_{Tra}), \quad (16)$$

де W_{SK} – вектор ваг для підкритеріїв; $w_{Si}, w_{Ci}, w_{Ti}, w_{Di}$ – ваги підкритеріїв для кожного критерію.

Етап 3. Визначення глобальної ваги підкритеріїв

$$W_k * W_{sk} = W_{gk}, \quad (17)$$

де W_k – вага критерію (7); W_{sk} – локальна вага підкритерію (8); W_{gk} – глобальна вага підкритерію.

Етап 4. Оцінка альтернатив за кожним з підкритеріїв.

Крок 4.1. Збір оцінок альтернатив згідно з визначеними підкритеріями.

Крок 4.2. Визначення ваги кожної альтернативи згідно з підкритерієм. Цей процес відбувається шляхом ділення середнього геометричного значення рядка матриці парних порівнянь на суму всіх середніх геометричних

$$A_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n G_i}, \quad (18)$$

де A_i – вага альтернативи за підкритерієм. Наприклад, A_{Ce} – вага альтернативи за підкритерієм експлуатаційних витрат; a_{ij} – значення оцінки при парному порівнянні альтернатив за підкритеріями для i -го рядка та j -го стовбця.

Етап 5. Визначення найкращої з альтернатив та її вибір. Загальна оцінка для кожної альтернативи визначається шляхом сумування додатків глобальних ваг критеріїв та ваг альтернатив за відповідними критеріями

$$A_{evaluation} = \sum_j (W_{gk_j} * A_{i_j}), \quad (19)$$

де $A_{evaluation}$ – кінцева вага альтернативи; W_{gk} – глобальна вага підкритеріїв; A_i – ваги альтернатив за підкритеріями (18).

5.4. Експериментальна перевірка результатів реалізації методу вирішення задачі вибору інформаційної системи управління проєктами зі створенням веб-додатку

Для реалізації запропонованих моделі і методу було використано мову Python та бібліотеки Strimlit та АНРу. Дані бібліотеки дозволяють швидко створити веб-додаток. Особливу увагу приділялося бібліотеці АНРу, яка є засобом реалізації МАІ. Її використання спростить створення додатку та надасть можливість оцінки запропонованих критеріїв та підкритеріїв. На рис. 2 наведено приклад реалізації відносин між критеріями та підкритеріями.

На відміну від кількості критеріїв та підкритеріїв, які були визначені у підрозділі 5.1, кількість альтернатив ІС УП для різних замовників під час вирішення задачі може змінюватися. Тому під час реалізації було визнано необхідною розробку додаткової функції для введення даних щодо цих альтернатив представниками замовника. Приклад реалізації цієї функції наведено на рис. 3.

```

1 import ahpy
2
3
4 def create_pairwise_matrix(items, key_prefix=""):
5     comparisons = {}
6     weights = [
7         "1/9", "1/8", "1/7", "1/6", "1/5", "1/4", "1/3", "1/2",
8         "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9"
9     ]
10    for i in range(len(items)):
11        for j in range(i + 1, len(items)):
12            key = f"{key_prefix}_{i}_{j}"
13            weight_str = st.selectbox(f"Введіть порівняння для {items[i]} проти {items[j]}:", weights, key=key)
14            weight = eval(weight_str)
15            comparisons[(items[i], items[j])] = weight
16    return comparisons
17
18 st.header("Введення критеріїв для методу аналізу ієрархій")
19 criteria = ['Функціональність', 'Вартість', 'Тривалість адаптації', 'Нааяність необхідних документів']
20 criteria_comparisons = create_pairwise_matrix(criteria, key_prefix="criteria")
21
22 st.header("Введення підкритеріїв для кожного критерію")
23 subcriteria = {
24     'Функціональність': ['Відповідність специфікаціям проєкту', 'Масштабованість', 'Інтегрованість', 'Безпека'],
25     'Вартість': ['Початкова вартість', 'Експлуатаційні витрати', 'Приховані витрати'],
26     'Тривалість адаптації': ['Час на впровадження', 'Час на навчання персоналу', 'Готовність до експлуатації'],
27     'Нааяність необхідних документів керівному персоналу': ['Документація користувача', 'Технічна документація', 'Звіти та аналітика']
28 }
29

```

Рис. 2. Приклад реалізації відносин між критеріями та підкритеріями в рамках розробленої моделі

```

35 st.header("Введення альтернатив (ІС УП)")
36 alternatives_input = st.text_input("Введіть назви альтернатив через кому (наприклад: Basecamp, Jira, Trello)")
37 alternatives = [alt.strip() for alt in alternatives_input.split(",") if alt.strip()]
38 alternative_comparisons = {}
39
40 if alternatives and len(alternatives) > 1:
41     for criterion in subcriteria:
42         for subcriterion in subcriteria[criterion]:
43             st.subheader(f"Порівняння альтернатив для підкритерію {subcriterion}")
44             alternative_comparisons[subcriterion] = create_pairwise_matrix(alternatives, key_prefix=subcriterion)
45
46 st.header("Обчислення кінцевих ваг альтернатив")
47
48 criteria_ahp = ahpy.Compare(name='Критерії', criteria_comparisons, precision=3)
49 subcriteria_ahp = {}
50 for criterion, comparisons in subcriteria_comparisons.items():
51     subcriteria_ahp[criterion] = ahpy.Compare(criterion, comparisons, precision=3)
52
53 criteria_ahp.add_children([subcriteria_ahp[criterion] for criterion in subcriteria])

```

Рис. 3. Приклад реалізації введення даних щодо альтернатив

Експериментальна перевірка розроблених моделей і методу проводилася на прикладі однієї з українських організацій, яка планує використовувати ІС УП для автоматизації своєї діяльності. Представниками цієї організації в ході виконання Кроку 1.1 методу було задано оцінки важливості критеріїв, визначених в розробленій моделі. Ці оцінки наведені в табл. 1.

Результати виконання Кроків 1.2-1.4 для визначених експертами значень критеріїв (табл. 1) наведено у табл. 2.

Під час виконання Етапу 2 розробленого методу експертами на основі варіанту (5)-(9) моделі (1), запропонованого для оцінювання ІС УП, було визначено оцінки важливості підкритеріїв (16). Приклад проміжних результатів виконання Етапу 2 для підкритерію критерію «Функціональність» наведено у табл. 3 та табл. 4.

Результати виконання Етапу 3 розробленого методу наведено у табл. 5.

Таблиця 1

Оцінки важливості критеріїв, визначених в розробленій моделі

Критерії	Функціональність	Вартість	Тривалість адаптації	Наявність необхідних кінцевих документів
Функціональність	1	3	5	7
Вартість	1/3	1	3	5
Тривалість адаптації	1/5	1/3	1	3
Наявність необхідних кінцевих документів	1/7	1/5	1/3	1

Таблиця 2

Результати виконання Етапу 1 розробленого методу

Критерії	Добуток	Корінь з добутку	Вага
Функціональність	140	3,44	0,58
Вартість	5	1,50	0,25
Тривалість адаптації	0,2	0,67	0,11
Наявність необхідних кінцевих документів	0,0095	0,31	0,05
Сума коренів		5,92	

Таблиця 3

Оцінки важливості підкритеріїв критерію «Функціональність», визначених в розробленій моделі

Підкритерії	Відповідність специфікаціям проекту	Масштабованість	Інтегрованість	Безпека
Відповідність специфікаціям проекту	1	4	3	5
Масштабованість	1/4	1	2	4
Інтегрованість	1/3	1/2	1	3
Безпека	1/5	1/4	1/3	1

Таблиця 4

Результати виконання Етапу 2 розробленого методу для підкритеріїв критерію «Функціональність»

Критерії	Добуток	Корінь з добутку	Вага
Відповідність специфікаціям проекту	60	2,78	0,54
Масштабованість	2	1,19	0,23
Інтегрованість	0,5	0,84	0,16
Безпека	0,0167	0,36	0,07
Сума коренів		5,17	

Під час виконання Етапу 4 розробленого методу як можливі альтернативи ІС УП представниками замовника розглядалися системи Basecamp, Jira і Trello. Для кожної з цих альтернатив експертами в ході виконання Кроку 4.1 були визначені оцінки за встановленими на попередніх етапах методу підкритеріями. За цими оцінками було розраховано ваги альтернатив за кожним з підкритеріїв. Як приклад результатів виконання Етапу 4 у табл. 6 наведено оцінки альтернатив за підкритерієм F_3 («Відповідність специфікаціям проекту»).

Таблиця 5

Результати визначення глобальної ваги підкритеріїв, які використані у розробленій моделі

Критерії	Підкритерії	Глобальна вага
Функціональність	Відповідність специфікаціям проекту	0,313
	Масштабованість	0,133
	Інтегрованість	0,093
	Безпека	0,041
Вартість	Початкова вартість	0,14
Вартість	Експлуатаційні витрати	0,078
	Приховані витрати	0,033
Тривалість адаптації	Час на впровадження	0,061
	Час на навчання персоналу	0,035
	Час на підготовку до експлуатації	0,015
Наявність необхідних кінцевих документів	Наявність документації користувача	0,031
	Наявність технічної документації	0,013
	Наявність звітів та аналітики	0,007
Загальна сума		0,993

Таблиця 6

Результати виконання Етапу 4 розробленого методу за підкритерієм «Відповідність специфікаціям проекту»

Відповідність специфікаціям проекту	Basecamp	Jira	Trello	Добуток	Корінь з добутку	Вага
Basecamp	1	1/3	1/2	0,167	0,64	0,20
Jira	3	1	2	6	1,57	0,49
Trello	2	1/2	1	1,00	1,00	0,31
Сума коренів					3,21	

Під час виконання Етапу 5 розробленого методу було розраховано кінцеву вагу кожної альтернативи за виразом (19). Кількісні результати виконання Етапу 5 наведено у табл. 7.

Таблиця 7

Кількісні результати виконання Етапу 5 розробленого методу

	Глобальні ваги	Basecamp, ваги	Jira, ваги	Trello, ваги
Fs	0,313	0,2	0,49	0,31
Fm	0,133	0,16	0,51	0,33
Fi	0,093	0,19	0,47	0,33
Fsc	0,041	0,16	0,33	0,15
Cs	0,14	0,2	0,31	0,49
Ce	0,078	0,16	0,51	0,33
Ch	0,033	0,2	0,49	0,31
Ti	0,061	0,2	0,45	0,35
Tt	0,035	0,16	0,51	0,33
Te	0,015	0,16	0,48	0,36
Du	0,031	0,16	0,51	0,33
Dt	0,013	0,19	0,47	0,33
Dra	0,007	0,2	0,53	0,28
Оцінка		0,18	0,46	0,35

Отримані результати дозволяють стверджувати, що в результаті вирішення задачі оцінювання ІС УП Basecamp, Jira і Trello експертами підприємства-замовника за запропонованими критеріями та підкритеріями із використанням розроблених моделі і методу як найкращу альтернативу рекомендовано обрати ІС УП Jira.

6. Обговорення результатів дослідження

В ході проведення дослідження було проведено аналіз сучасних методів та критеріїв, які пропонувалося використовувати для вирішення задачі вибору інформаційних систем і, зокрема, ІС УП. За результатами цього аналізу було обґрунтовано вибір критеріїв та підкритеріїв, які пропонується використовувати для вирішення задачі вибору ІС УП за вимогами організації, які планують застосовувати ці системи у своїй бізнес-діяльності. Ці критерії та підкритерії, а також набутий досвід використання МАІ як одного з основних методів вирішення задачі багатокритеріального вибору систем, було покладено в основу розробленої категорно-множинної моделі оцінювання ІС УП (1)-(3). Було також розглянуто особливості варіанту розробленої моделі для вирішення задачі оцінювання ІС УП (4)-(10).

Розроблену категорно-множинну модель разом із базовим МАІ було покладено до основи розробленого методу вибору ІС УП. Цей метод дозволяє кількісно обґрунтувати вибір найкращої альтернативи ІС УП з множини існуючих альтернатив на вимоги організації-замовника такої системи з використанням запропонованих критеріїв та підкритеріїв. Розглянуто елементи програмної реалізації і проведено експериментальну перевірку розроблених моделі та методу.

Спираючись на результати розробки моделі та методу, було сформовано веб-додаток для пришвидшення обрахунків. Він значно спрощує використання розглянутих критеріїв та підкритеріїв, моделі та методу під час вирішення задачі вибору ІС УП. Даний додаток можна використовувати для пришвидшення збору даних від замовника, що, в свою чергу, спростить використання моделі та методу при виборі ІС УП. Додаток також дозволить зібрати більший об'єм даних для остаточного рішення замовника та оптимізує сам процес вирішення задачі вибору.

На відміну від переважної кількості сучасних досліджень [13], [15]-[17], [19], використання під час вибору ІС УП не тільки критеріїв, а й підкритеріїв (як і в [14]), надало гарний та однозначний результат вирішення задачі вибору ІС УП. Як було помічено в ході дослідження, під час аналізу альтернатив ІС УП за підкритеріями доволі часто альтернативи мали надзвичайно малу різницю за результатами парних порівнянь Сааті (наприклад, див. табл. 6). Під час експериментальної перевірки розроблених моделі і методу жодна з альтернатив ІС УП не мала оцінки 5 («Сильна перевага»). Це підтверджує необхідність застосування обґрунтованих підкритеріїв, оскільки різниця у оцінках альтернатив настільки мала, що вирішення задачі оцінювання за допомогою лише чотирьох основних критеріїв призвело б до отримання необ'єктивних результатів.

Але отримані результати дослідження мають і окремі недоліки. Одним з таких недоліків є досить значний обсяг обчислень, які доводиться робити під час застосування розробленого методу для вирішення задачі вибору ІС УП. Як інший недолік, який може виникнути під час вирішення задачі вибору ІС УП, слід вказати можливу суб'єктивність результатів при недостатній кількості експертів. Для зменшення впливу суб'єктивності можна залучити більшу кількість експертів і використовувати середні оцінки. Але таке залучення може викликати проблему узгодженості оцінок. Для вирішення цієї проблеми можна запропонувати використовувати коефіцієнт узгодженості для перевірки ступеня узгодженості оцінок експертів та коригувати оцінки у випадку виявлення значних розбіжностей.

7. Висновки

У процесі дослідження було проведено аналіз сучасних підходів та методів вирішення задачі вибору ІС УП. Результати аналізу підтвердили, що у випадках необхідності

вирішення задачі багатокритеріального вибору ІС УП як базовий метод вирішення рекомендується МАІ. При цьому для вирішення задачі вибору ІС УП рекомендується використовувати не тільки базові критерії, а й декомпонувати ці критерії на підмножини підкритеріїв, що підвищує точність та об'єктивність рішення.

Базуючись на результатах проведеного аналізу, було обґрунтовано вибір чотирьох базових критеріїв (4) та тринадцяти підкритеріїв (5) вибору ІС УП. Ці критерії та підкритерії було покладено в основу розробленої категорно-множинної моделі оцінювання (1)-(3) та використано під час розробки варіанту моделі, адаптованого для оцінювання саме ІС УП за обраними критеріями та підкритеріями (4)-(10). Результати розробки моделі (1)-(3) та її варіанту для оцінювання ІС УП (4)-(10) було покладено до основи розробленого методу вибору ІС УП.

Для експериментальної перевірки моделі та базованого на ній методу було створено веб-додаток для збору та обробки оцінок експертів. Використання цього додатку довело свою доцільність завдяки скороченню витрат часу на введення та обробку даних, скорочуючи час прийняття рішень замовниками.

В рамках перспектив подальших досліджень було рекомендовано збільшити кількість експертів, але використати коефіцієнт узгодженості для більшої точності моделі та методу.

Перелік посилань:

1. Retnowardhani A., Suroso J. S. Project Management Information Systems (PMIS) for Project Management Effectiveness: Comparison of Case Studies. *2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE), Jember, Indonesia, 16–17 October 2019*. 2019. <https://doi.org/10.1109/icomitee.2019.8921046> (дата звернення: 21.03.2024).
2. Marchewka J. T. Information technology project management: Providing measurable organizational value. 2015. 341 p.
3. Skinner L. J. How Will AI Transform Project Management? *ITNOW*. 2022. Vol. 64, No. 2. P. 14–15. <https://doi.org/10.1093/itnow/bwac040> (дата звернення: 19.05.2024).
4. Tokuç A. A., Uran Z. E., Tekin A. T. Management of Big Data Projects: PMI Approach for Success. *Research Anthology on Big Data Analytics, Architectures, and Applications*. 2022. P. 1786–1800. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-3662-2.ch087>
5. Słoniec J. Use of Cloud Computing in Project Management. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 791. P. 49–55. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.791.49> (дата звернення: 19.05.2024).
6. Purohit A., Chopra G., Dangwal P. G. Measuring the Effectiveness of the Project Management Information System (PMIS) on the Financial Wellness of Rural Households in the Hill Districts of Uttarakhand, India: An IS-FW Model. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 21. P. 13862. doi: <https://doi.org/10.3390/su142113862> (дата звернення: 21.03.2024).
7. Cicibaş, Halil & Unal, Omer & Demir, Kadir. A Comparison of Project Management Software Tools (PMST). 2010. P. 560-565.
8. Szwed P. S. Expert Judgment in Project Management: Narrowing the Theory-Practice Gap. Project Management Institute, 2016. 128 p.
9. Kerzner H. Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2013. 448 p.
10. Balamuralikrishna R., Dugger J. C. SWOT Analysis: A Management Tool for Initiating New Programs in Vocational Schools. *Journal of Career and Technical Education*. 1995. Vol. 12, No. 1. doi: <https://doi.org/10.21061/jcte.v12i1.498> (дата звернення: 19.05.2024).
11. Saaty R., Mu E. T.L. Saaty Decision Making for Leaders Hackathon. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*. 2022. Vol. 14, No. 1. doi: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v14i1.987> (дата звернення: 19.05.2024)..
12. Belton V., Stewart T. J. Outranking Methods. Multiple Criteria Decision Analysis. Boston, MA, 2002. P. 233–259. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4_8 (дата звернення: 19.05.2024).
13. Поволоцький Я. О., Усенко Р. Р. Оцінювання та вибір програмних засобів сучасних систем управління ІТ-проектами. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. Т. 1, № 3. С. 50–55. doi: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2018.162735> (дата звернення: 20.03.2024).
14. Enea M., Muriana C. An AHP-based approach to PMISs assessment. *International Journal of Business Environment*. 2015. Vol. 7, No. 1. P. 32. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbe.2015.065995> (дата звернення: 20.03.2024).
15. R. Micale et al. Project Management Information Systems (PMISs): A Statistical-Based Analysis for the

Evaluation of Software Packages Features. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 23. P. 11233. doi: <https://doi.org/10.3390/app112311233> (дата звернення: 21.03.2024).

16. Левыкин И.В. Метод выбора аналога информационной системы управления полиграфическим предприятием. *Вісник Академії митної служби України. Серія : Технічні науки*. 2015. № 1. С. 56–64.

17. Alfawaz K. M., Aljedani F. M. Construction of Project Management Using Information System. *Communications in Mathematics and Applications*. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 823–833. doi: <https://doi.org/10.26713/cma.v13i2.2036> (дата звернення: 20.03.2024).

18. Taniguchi A., Onosato M. Effect of Continuous Improvement on the Reporting Quality of Project Management Information System for Project Management Success. *International Journal of Information Technology and Computer Science*. 2018. Vol. 10, No. 1. P. 1–15. doi: <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2018.01.01> (дата звернення: 21.03.2024).

19. Caniëls M. C. J., Bakens R. J. J. M. The effects of Project Management Information Systems on decision making in a multi project environment. *International Journal of Project Management*. 2012. Vol. 30, No. 2. P. 162–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.05.005> (дата звернення: 20.03.2024).

20. Brooks P. Metrics for IT Service Management. Van Haren Publishing, 2006. 202 p.

21. Saaty T. L. Decision making for leaders. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1985. SMC-15, No. 3. P. 450–452. doi: <https://doi.org/10.1109/tsmc.1985.6313384> (дата звернення: 19.05.2024).

22. Левикін В.М., Юр'єв І.О. Модель вибору набору ІТ-сервісів для кінцевих користувачів. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Х.: НТУ «ХПІ», 2016. № 45 (1217). С. 78–84.

23. Левикін В.М., Діденко Д.О., Альошкін А.О. Метод формування заявок природною мовою на основі вдосконаленої моделі BERT. *АСУ та прилади автоматики*. 2024. № 180. С. 55-71.

Надійшла до редколегії 02.07.2024 р.

Левикін Віктор Макарович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: viktor.levykin@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7929-515X> (науковий керівник здобувача вищої освіти Купенка Максима Ігоровича).

Петриченко Олександр Вячеславович, кандидат технічних наук, докторант кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: petrichenko.alexander@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1319-5041>

Юр'єв Іван Олексійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: ivan.iuriev@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-519X>.

Купенко Максим Ігорович, здобувач вищої освіти, група УПГІТм-22-3, факультет комп'ютерних наук, ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: maksym.kupenko@nure.ua.

YE.V. BODYANSKIY, O.S. CHALA

ENHANCED MULTIDIMENSIONAL NEO-FUZZY CLASSIFICATION SYSTEM AND ITS LEARNING FOR THE VIDEO CLASSIFICATION TASK

A novel hybrid neo-fuzzy system for video classification, which includes multidimensional neo-fuzzy components with adjustable synaptic weights and kernel membership functions, is proposed. This system combines the strengths of extended neo-fuzzy neurons (ENFN) and neo-fuzzy units (NFU) with nonlinear activation functions. By integrating extended nonlinear synapses (ENS) and leveraging the neuro-fuzzy Takagi-Sugeno-Kang inference system, proposed architecture enhances the approximating capabilities of traditional models. This allows the system to effectively address the task of image recognition, including real-time video stream classification, while maintaining a high level of accuracy, as demonstrated by computational experiment.

An optimization algorithm that introduces a novel approach to learning in the advanced neo-fuzzy system for video classification is proposed. Using the cross-entropy learning criterion with one-hot encoding, the algorithm precisely adjusts synaptic weights through the δ -rule, enhanced by adaptive learning rates. Incorporating a forgetting factor, it dynamically adjusts parameters for either stochastic approximation or rapid convergence. This dual capability ensures robustness and efficiency, significantly improving learning speed and accuracy in complex video classification tasks.

1. Introduction

Data stream mining [1]-[4], particularly in video classification, is increasingly vital in the digital age, where the proliferation of video data necessitates efficient processing and analysis methods. Video classification involves identifying and categorizing the content of video sequences, which are essentially streams of images. The challenge is amplified by the often low quality of images, especially when capturing moving objects, leading to the need for advanced techniques to ensure accuracy and efficiency.

Handling data stream mining in video classification is inherently complex due to several factors. The volume and velocity of video data are extremely high, particularly with the widespread use of digital video recorders (DVRs), video servers, and IP cameras. This results in massive amounts of data that need to be processed in real-time or near real-time, which is computationally intensive and requires robust data handling capabilities.

The quality and resolution of video streams often vary. The Main Stream typically provides high-quality video, while the Sub Stream and Third Stream offer lower resolutions to reduce the load on networks and devices. This variability complicates the extraction of consistent features across different streams and impacts the accuracy of classification algorithms. Moreover, videos, especially those capturing moving objects, often suffer from low image quality due to motion blur, occlusions, and varying lighting conditions. These factors make it challenging to accurately identify and classify objects, necessitating the use of advanced techniques such as motion estimation, image enhancement, and noise reduction.

Advanced IP cameras and DVRs support Triple Streaming, enabling simultaneous transmission of three different streams. Integrating data from these streams requires balancing different resolution, frame rate, bitrate, and compression settings, adding to the complexity of the task. Given the varying quality and resolution of video streams, especially under low-quality conditions, traditional image processing techniques may fall short.

In summary, the complexity of handling data stream mining for video classification lies in

managing the high volume and velocity of data, dealing with varying quality and resolution, requiring significant computational resources, and employing advanced techniques to ensure accurate and efficient processing.

2. Analysis of literary data and formulation of the research problem

In the rapidly evolving field of video classification, various methods [2], [5]–[7] have been developed to handle the complex task of accurately identifying and categorizing video content. Each method offers unique advantages but also encounters significant challenges, especially in dynamic and intricate scenarios. This overview examines several key video classification methods such as Frame-Based CNN [8], [9], Two-Stream Approaches [10]–[12], 3D Convolutional Neural Networks (3D CNNs) [13], Recurrent Neural Networks (RNNs) and Long Short-Term Memory (LSTM) [14], Attention-Based Models [15], and Hybrid Approaches.

While these systems provide a range of benefits including comprehensive feature extraction, high accuracy, effective sequential data processing, and efficient handling of large datasets, they also present notable disadvantages in complex video classification scenarios. General challenges include high computational and resource demands, difficulty in capturing long-term and complex dependencies, and complexity in implementation and integration.

Fuzzy Systems [16]–[18] excel in these areas by efficiently handling imprecision, integrating contextual information, and dynamically adjusting to varying conditions. This makes them a more robust and adaptable solution for complex video classification tasks, providing an edge in scenarios where traditional methods fall short.

Introduced in [19] Takagi-Sugeno-Kang (TSK) algorithm forms the backbone of many fuzzy logic systems. It enhances video classification by modeling the system with rules that handle nonlinear relationships efficiently. The arbitrary order system properties of the TSK algorithm allow it to manage complex, multidimensional data more effectively than traditional linear models. This flexibility is crucial in video classification, where data often exhibit nonlinear and intricate patterns.

Even though classical neuro-fuzzy systems such as TSK have plenty of the advantages, still maintaining a complex structure that can become increasingly intricate as the number of input variables grows. This complexity makes them less scalable and harder to manage, particularly in applications involving large datasets or high-dimensional data. Another point to take into account is that these systems often rely on predefined fuzzy rules and membership functions that can be difficult to adapt and optimize.

Computational efficiency also is incredibly important side of the problem to look into, and speaking about classical neuro-fuzzy systems, due to their complexity, can be computationally intensive, requiring significant processing power and memory. This can limit their applicability in real-time or resource-constrained environments.

Meanwhile neo-fuzzy systems, such as extended neo-fuzzy neurons (ENFN) [20], [21] and neo-fuzzy units (NFU) [22], [23], are designed to be simpler and more scalable. They incorporate extended nonlinear synapses and advanced inference mechanisms, which allow them to manage larger and more complex datasets more efficiently.

Neo-fuzzy systems employ adaptive learning algorithms that automatically adjust the synaptic weights and membership functions. This adaptability improves the system's performance over time and reduces the need for extensive manual intervention.

Neo-fuzzy systems are designed to be more computationally more efficient. By leveraging advanced techniques like the Takagi-Sugeno-Kang (TSK) model of arbitrary order, they can perform complex calculations more efficiently, making them suitable for real-time applications.

In summary, while classical neuro-fuzzy systems provide a foundational framework for integrating neural networks and fuzzy logic, they face several limitations related to complexity, scalability, adaptability, computational efficiency, and handling of nonlinearity and variability.

Neo-fuzzy systems address these limitations by incorporating advanced features such as extended nonlinear synapses, adaptive learning algorithms, and higher-order inference models, making them more efficient, flexible, and robust for complex video classification tasks and other applications.

3. Goal and tasks of the research

The goal of the research is to develop and optimize a novel hybrid neo-fuzzy system for video classification that effectively addresses the task of image recognition, including real-time video streams classification, while maintaining a high level of accuracy. Therefore there are the following tasks to solve in the article:

a) design a novel hybrid neo-fuzzy system:

1) develop multidimensional neo-fuzzy components with adjustable synaptic weights and specialized membership functions, that are usually used in the neuro-fuzzy systems also called kernel activation functions (includes triangular function, Gaussian, Cauchian etc., here we used Gaussian membership function);

2) integrate extended neo-fuzzy neurons (ENFN) and neo-fuzzy units (NFU) with nonlinear activation functions;

3) incorporate extended nonlinear synapses (ENS) and leverage the neuro-fuzzy Takagi-Sugeno-Kang inference system to enhance the approximating capabilities of traditional models;

b) propose and implement an optimization algorithm:

1) introduce a novel approach to learning using the cross-entropy learning criterion with one-hot encoding;

2) precisely adjust synaptic weights through the δ -rule, enhanced by adaptive learning rates;

3) incorporate a forgetting factor to dynamically adjust parameters for either stochastic approximation or rapid convergence, ensuring robustness and efficiency.

4. Architecture of the enhanced multidimensional neo-fuzzy classification system

This study proposes a novel hybrid neo-fuzzy system for video classification, combining the strengths of extended neo-fuzzy neurons (ENFN) and neo-fuzzy units (NFU) with nonlinear activation functions. By integrating extended nonlinear synapses (ENS) and leveraging the neuro-fuzzy Takagi-Sugeno-Kang inference system, proposed architecture enhances the approximating capabilities of traditional models. The proposed enhanced multidimensional neo-fuzzy classification system (EMNFCS) effectively processes vector signals from images, utilizing two information processing layers to deliver precise fuzzy membership levels for classification. This approach addresses challenges in handling high-volume, variable-quality video data, ensuring robust and efficient performance. The proposed system has four layers and its architecture presented in Fig. 1.

The system, in short, works as following:

1. Input signal processing: the system receives a vector signal of images to be classified.

2. First hidden layer is formed with Extended Nonlinear Synapses (ENS), producing fuzzy signal.

3. Second hidden layer is formed with combination of Extended Neo-Fuzzy Neurons (ENFN) and summation blocks. These neurons aggregate the processed signals from multiple ENS.

4. Third hidden (output) layer is formed with nonlinear softmax activation functions. These functions generalize traditional sigmoidal activation functions for classification systems with many outputs.

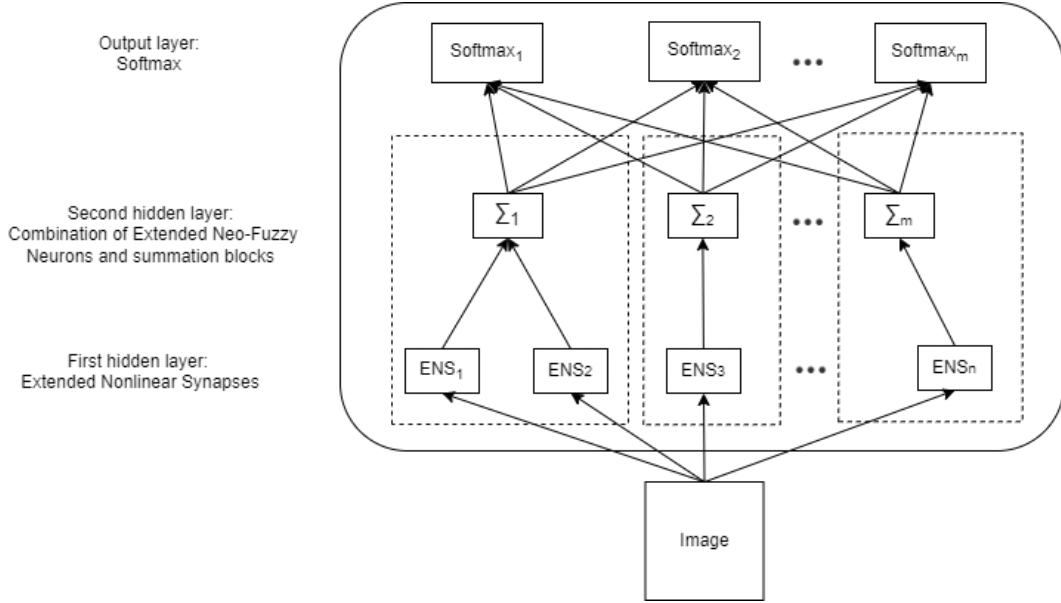


Fig. 1. Architecture of the enhanced multidimensional neo-fuzzy classification system

On the input signal processing stage, the input signal is presented in the form of vector-image $x_n(t)$, here t is a point in a discrete time, and this instance from the training set feeds to the first hidden layer. As it was previously mentioned, the first hidden layer is formed by extended nonlinear synapses $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in}$, that is defined as a multiplication between synaptic vector weights and fuzzified with membership function signal. Here $i = 1, 2, \dots, m$, and m is equal to the number of classes and the number of synapses corresponds to the number of observations in the sample which is n .

As established in prior research [16]–[18] a standard neo-fuzzy neuron is constructed from nonlinear synapses. Each synapse executes the fuzzy inference based on the Takagi-Sugeno-Kang model of zero order, commonly referred to as Wang-Mendel reasoning. This research influenced the reasoning of the second hidden layer. The output of the first hidden layer passes to the second hidden layer in the form $\varphi_m^{(1)}(x_n(t))$, that includes extended nonlinear synapse, to the summation blocks producing general membership levels per each class.

$$\varphi_i^{(2)}(x_n(t)) = \sum_{j=1}^n \varphi_{ij}^{(1)}(x_j(t)) = \sum_{j=1}^n w_j^T S_j(x_j(t)), \quad (1)$$

where w_j is synaptic weight; $i = 1, 2, \dots, n$ is number of the synapse.

Eventually they are defuzzified with the softmax activation function, producing output signals of the system:

$$\begin{aligned} y_i(t) &= \text{soft max } \varphi_i^{(2)} = \exp(\varphi_i^{(2)}) \sum_{i=1}^m \exp(\varphi_i^{(2)}) = \\ &= \text{soft max}(w_i^T(t-1)S_i(x(t))), \end{aligned} \quad (2)$$

where $t-1$ is the previous point in time, obtaining adjusted weights through a learning process based on previously observed data, and the sum of all output signals are equal to one.

5. Optimization of the enhanced multidimensional neo-fuzzy classification system

In optimizing complex neural systems, leveraging efficient learning criteria and encoding techniques is crucial for achieving high performance and accurate classification. The proposed system employs the cross-entropy learning criterion coupled with one-hot encoding of the reference signal. This combination facilitates precise adjustments of synaptic weights based on prior data, enhancing the system's adaptability and convergence speed.

The proposed optimization method involves using cross-entropy as the learning criterion, paired with one-hot encoding for the reference signal. This approach generates an external reference signal vector with zeros and a single one to denote the correct class. By minimizing this criterion through standard gradient procedures, the synaptic weights of each extended neo-fuzzy unit are adjusted according to the delta rule:

$$w_i(t) = w_i(t-1) - \eta_i(t) \nabla_{w_i} E(t) = w_i(t-1) + \eta_i(t) e(t) S_i(x(t)), \quad (3)$$

where η is the learning rate; e is the learning error.

This method can exhibit both filtering and tracking properties by adjusting the learning rate η follows:

$$\eta_i^{-1}(t) = r_i(t) = \alpha r_i(t-1) + \|S_i(x(t))\|^2, \quad (4)$$

where α is the forgetting factor, and it is defined in the interval between 0 and 1. For $\alpha=1$, the process adopts properties akin to the Goodwin-Ramadge-Caines algorithm (stochastic approximation), while for $\alpha=0$, it aligns with the Kaczmarz-Widrow-Hoff [24] algorithm, ensuring rapid convergence to the optimal solution.

By leveraging these advanced learning techniques, the proposed system achieves high performance, robust adaptability, and efficient processing, thereby presenting a powerful solution for complex classification tasks in dynamic environments.

6. Results of the computer experiments

The computational experiment aims to validate the effectiveness and efficiency of the proposed enhanced multidimensional neo-fuzzy classification system for video classification tasks. This experiment involves several key steps to demonstrate how the system handles real-time video data processing and classification. Also several criteria were chosen which is to show the effectiveness of the proposed approach in comparison to the alternative methods to solve the task described below.

The mentioned criteria include accuracy, precision, recall, computational efficiency and scalability. First three describe the proportion of correctly classified instances out of the total instances, accuracy of the positive predictions made by the model, and model's ability to identify all relevant positive instances within the dataset accordingly.

The computational efficiency refers to the time and resources required to process and classify data. In the context of video classification, it is typically measured in milliseconds per frame (ms/frame). High computational efficiency indicates that the system can process each frame quickly and with minimal computational overhead, making it suitable for real-time applications.

Scalability is the system's ability to handle increasing amounts of data or larger datasets effectively, meaning that the system will give response to the user within 0.5 second. It evaluates whether the system can maintain its performance levels as the data size grows. High scalability means the system can process large volumes of video data without significant degradation in performance. This includes not only size of the dataset but also quality of the video and frames per millisecond. Within this experiment we took into consideration video with the average value 25 fps and standard of feedback CIF that has resolution 352x288. In other words, the system can

effectively handle large datasets and therefore has high scalability.

The computational experiments for this research were conducted on a Dell Latitude 7420, a high-performance laptop equipped with an Intel Core i7-1185G7 processor, 16 GB of DDR4 RAM, and a 512 GB NVMe SSD. The system's integrated Intel Iris Xe Graphics and Windows 11 Pro (64-bit) OS supported the graphical and computational demands of video classification tasks.

The development environment included PyCharm Professional 2021.2, Git 2.33, and Anaconda 3 (v2021.11). Python 3.9 was used alongside libraries such as NumPy, SciPy, Scikit-learn, TensorFlow, and Keras for numerical operations, scientific computations, machine learning, and neural network development.

For data visualization and manipulation, Matplotlib, Seaborn, and Pandas were employed, while SQLite 3.36 managed data storage. An agile methodology and Pytest 6.2.4 ensured iterative development, testing, and code reliability. This setup facilitated efficient experiments, yielding insights into the hybrid neo-fuzzy system's performance for video classification.

The HMDB51 dataset is a crucial resource for action recognition research, comprising 6,766 video clips categorized into 51 action classes sourced from movies and YouTube. It offers a diverse range of actions from simple gestures to complex activities, making it ideal for testing the generalizability of video classification systems. The varied video quality and settings mirror real-world conditions, challenging systems to be robust and adaptable. This dataset is particularly beneficial for evaluating the proposed enhanced multidimensional neo-fuzzy classification system, enabling comprehensive performance benchmarking.

This dataset was modified by exporting frames from videos, forming a part of the overall data set. In other words, a dataset was created from frames of the original videos, where the object changed its position over time. All these videos have a declared quality of 352x288 and a specified frame rate. The videos were up to 6 minutes long, with an average length of 4 minutes. The newly formed dataset was subsequently divided into training, validation, and testing sets to ensure robust model development. The training set comprised 70 % of the data, providing ample examples for learning. The validation set, at 15 %, was used to fine-tune hyperparameters and prevent overfitting. Finally, the testing set also made up 15 % of the data, reserved for unbiased final evaluation. This approach ensured the hybrid neo-fuzzy system's effectiveness and reliability in video classification.

In the process of the proposed system development, the hyperparameter α of the training method that was described in the Section 5, was manually chosen with the discrete value of $\alpha=0.5$. This value represents a balanced approach, allowing the system to maintain a balance between rapid adaptation to new data and stable convergence. This intermediate value ensures that the system can dynamically adjust and perform well in the complex and variable conditions typical of real-time video classification tasks. Also, it is important to mention that by taking different values of the α system showed worse performance therefore the initial value 0.5 maintained.

To evaluate the proposed system, it was compared with several baseline systems:

- Frame-Based CNN that treat video frames independently and combine features using temporal modeling. Simple but struggle with long-term dependencies and computational expense;
- 3D Convolutional Neural Networks (3D CNNs), that extend 2D CNNs by adding a temporal dimension to learn spatiotemporal features. Effective for action recognition but require large datasets and high computational power;
- Recurrent Neural Networks (RNNs) with Long Short-Term Memory (LSTM) Units;
- Two-Stream Convolutional Neural Network.

The results of the computational modelling are represented in the Table 1. For the performance evaluation the accuracy, precision, recall, time consumption, and computational efficiency metrics were chosen. The last one is measured by analysing the resource usage,

including CPU and GPU requirements, to determine the system’s efficiency in handling video data without excessive computational overhead.

Table 1

Results of the computational experiment

Method	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	Computational Efficiency (ms/frame)	Scalability (Dataset Size)
EMNFCS	92.5	93	92	10	High (10K+ video frames)
Frame-Based CNN	85.0	84	85	20	Medium (5K video frames)
Two-Stream CNN	88.5	89	88	25	High (8K video frames)
3D CNNs	90.0	91	90	30	Medium (7K video frames)
RNNs with LSTM	87.0	86	87	35	Medium (6K video frames)

The EMNFCS demonstrates superior accuracy at 92.5 %, with high precision (93 %) and recall (92 %). This indicates its robustness in correctly identifying and categorizing video content, outperforming traditional methods such as Frame-Based CNN (85.0 %) and Two-Stream Approaches (88.5 %).

The EMNFCS excels in computational efficiency, processing video frames at an average of 10 ms per frame. This is significantly faster than the traditional methods, with Frame-Based CNN at 20 ms/frame and 3D CNNs at 30 ms/frame. The reduced processing time highlights the EMNFCS's capability to handle real-time video classification tasks efficiently.

The scalability of the EMNFCS is another notable advantage. It can effectively manage large datasets with over 10,000 videos, demonstrating high scalability. In contrast, traditional methods like Frame-Based CNN and RNNs with LSTM struggle with medium-sized datasets (5K-7K videos), showcasing the EMNFCS's ability to handle extensive video data without compromising performance.

The adaptability of the EMNFCS in real-time performance is rated as excellent, indicating its ability to adjust to varying conditions and data inputs dynamically. Traditional methods, while good, do not reach the same level of adaptability. For instance, the Two-Stream Approaches and 3D CNNs are rated as good, while Frame-Based CNN and RNNs with LSTM are only moderate.

The EMNFCS outperforms traditional video classification methods across several key metrics. Its high accuracy, superior computational efficiency, excellent scalability, and outstanding adaptability make it a robust and effective solution for complex video classification tasks. The EMNFCS sets a new standard in video classification, showcasing its ability to handle large-scale, high-variability video data with exceptional performance and efficiency.

In conclusion, the proposed system performs very well with low-quality videos, which is a big advantage for recognizing footage from CCTV cameras. As mentioned earlier, CCTV cameras often produce low-quality video, making this system particularly useful for such applications. Being able to accurately process and analyze low-resolution footage ensures that important details are not missed, which is essential for effective surveillance and security operations.

Additionally, the system's ability to handle different lighting conditions and motion artifacts makes it even more suitable for real-world use. This adaptability is crucial because CCTV cameras are used in various environments, from dimly lit indoor spaces to outdoor areas with

changing light levels.

The hybrid neo-fuzzy approach that this system uses not only improves classification accuracy but also provides a scalable solution that can be easily integrated into existing surveillance systems. This potential for easy integration, along with the system's proven effectiveness, makes it a valuable tool for improving security and monitoring in different settings.

Overall, the proposed system offers a strong solution to the challenges of low-quality video footage, highlighting its importance and usefulness in modern surveillance practices.

8. Conclusion

In the course of the research, it was successfully developed a novel hybrid neo-fuzzy system for video classification, incorporating multidimensional neo-fuzzy components with adjustable synaptic weights and Gaussian membership function. By combining extended neo-fuzzy neurons (ENFN), neo-fuzzy units (NFU), and extended nonlinear synapses (ENS) with the neuro-fuzzy Takagi-Sugeno-Kang inference system, the proposed architecture significantly enhances the approximating capabilities of traditional models. This enables the system to effectively address image recognition tasks, including real-time video stream classification, while maintaining high accuracy.

Additionally, the introduction of a new optimization method, utilizing the cross-entropy learning criterion with one-hot encoding and the δ -rule for synaptic weight adjustment, further boosts the system's performance. The incorporation of adaptive learning rates and a forgetting factor allows dynamic parameter adjustment, ensuring both robustness and efficiency. This dual capability markedly improves the learning speed and accuracy in complex video classification tasks, as demonstrated by the computational experiments.

References:

1. Aggarwal, C. C. (Ed.). (2014). *Data classification: Algorithms and applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
2. Ramzan, F., & Ayyaz, M. (2023). A comprehensive review on data stream mining techniques for data classification and future trends. *EPH - International Journal of Science And Engineering*, 9(3), 1–29. <https://doi.org/10.53555/epijse.v9i3.201>
3. Rutkowski, L., Jaworski, M., & Duda, P. (2020). *Stream Data Mining: Algorithms and Their Probabilistic Properties* (Vol. 56). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-13962-9>
4. Zheng, X., Li, P., & Wu, X. (2022). Data Stream Classification Based on Extreme Learning Machine: A Review. *Big Data Research*, 30, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2022.100356>
5. *Video Classification using Spatio Temporal Features* (1. Aufl) (with Das, R., & Geetha, M. K.). (2015). LAP LAMBERT Academic Publishing.
6. Candela, F., Giordano, A., Zagaria, C. F., & Morabito, F. C. (2024). Effectiveness of deep learning techniques in TV programs classification: A comparative analysis. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 1–15. <https://doi.org/10.3233/ICA-240740>
7. Islam, M. S., Sultana, M. S., Roy, U. K., & Mahmud, J. A. (2021). A review on Video Classification with Methods, Findings, Performance, Challenges, Limitations and Future Work. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 6(2), 47. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v6i2.18978>
8. Jeong, E.-R., Lee, E.-S., Joung, J., & Oh, H. (2020). Convolutional Neural Network (CNN)-Based Frame Synchronization Method. *Applied Sciences*, 10(20), 7267. <https://doi.org/10.3390/app10207267>
9. Elwarfalli, H., & Hardie, R. C. (2021). FIFNET: A convolutional neural network for motion-based multiframe super-resolution using fusion of interpolated frames. *Computer Vision and Image Understanding*, 202, 103097. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2020.103097>
10. El-Assal, M., Tirilly, P., & Bilasco, I. M. (2023). *Spiking Two-Stream Methods with Unsupervised STDP-based Learning for Action Recognition* (arXiv:2306.13783). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2306.13783>
11. Han, Q., Zhao, H., Min, W., Cui, H., Zhou, X., Zuo, K., & Liu, R. (2020). A Two-Stream Approach to Fall Detection With MobileVGG. *IEEE Access*, 8, 17556–17566. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2962778>
12. Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). *Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos* (arXiv:1406.2199). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1406.2199>
13. Wang, C. (2023). A Review on 3D Convolutional Neural Network. *2023 IEEE 3rd International Conference on Power, Electronics and Computer Applications (ICPECA)*, 1204–1208.

<https://doi.org/10.1109/ICPECA56706.2023.10075760>

14. Sherstinsky, A. (2020). Fundamentals of Recurrent Neural Network (RNN) and Long Short-Term Memory (LSTM) Network. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 404, 132306. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2019.132306>
15. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2015, December). *Deep Residual Learning for Image Recognition*. arXiv. <http://arxiv.org/abs/1512.03385>
16. Miki, T. (1999). *Analog Implementation of Neo-Fuzzy Neuron and Its On-board Learning*.
17. Uchino, E., & Yamakawa, T. (1997). Soft Computing Based Signal Prediction, Restoration, and Filtering. In D. Ruan (Ed.), *Intelligent Hybrid Systems* (pp. 331–351). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6191-0_14
18. Yamakawa, J., Uchino, E., Miki, J., & Kusanagi, H. (1992, July). A neo-fuzzy neuron and its application to system identification and prediction of the system behavior. *Proceedings of the 2nd International Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks*.
19. Zhang, Y., Wang, G., Zhou, T., Huang, X., Lam, S., Sheng, J., Choi, K. S., Cai, J., & Ding, W. (2024). Takagi-Sugeno-Kang fuzzy system fusion: A survey at hierarchical, wide and stacked levels. *Information Fusion*, 101, 101977. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.101977>
20. Bodyanskiy, Ye. V., & Kulishova, N. E. (2014). Extended neo-fuzzy neuron in the task of images filtering. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 0(1). <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2014-1-16>
21. Bodyanskiy, Y., Popov, S., & Titov, M. (2010). Robust Learning Algorithm for Networks of Neuro-Fuzzy Units. In T. Sobh (Ed.), *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering* (pp. 343–346). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3658-2_59
22. Haykin, S. S. (1999). *Neural networks: A comprehensive foundation* (2nd ed). Prentice Hall.
23. Goodwin, G. C., Ramadge, P. J., & Caines, P. E. (1981). Discrete Time Stochastic Adaptive Control. *SIAM J. Control Optim.*, 19(6), 829–853. <https://doi.org/10.1137/0319052>
24. Widrow, B., & Hoff, M. E. (1960). *Adaptive Switching Circuits*. IRE WESCON Convention Record.

Надійшла до редколегії 07.08.2024 р.

Бодяньський Євген Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ШІ ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: yevgeniy.bodyanskiy@nure.ua; ORCID: 0000-0001-5418-2143
Чала Ольга Сергіївна, старший викладач кафедри ШІ ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: olha.chala@nure.ua; ORCID: 0000-0002-7603-1247

УДК 004.891.3

DOI: 10.30837/0135-1710.2024.181.050

I.A. МАЛЬКОВА, В.С. МАКЕШКО

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ

Запропоновано метод автоматизованої побудови та поповнення бази знань системи процесного управління. Для вдосконалення методу використано модифіковані предикатні моделі. Модифікацію предикатних моделей здійснено за рахунок використання традиційного повного циклу розробки моделі гнучкого багатоваріантного процесу. Наведено опис особливостей системи автоматизованої побудови бази знань при вирішенні задач прийняття рішень на ІТ-підприємстві. Проведено апробацію запропонованих рішень у ході автоматизованої побудови бази знань у ІТ-проекті.

1. Вступ

У сучасному світі будь-які знання є стратегічним ресурсом, тому розробка методів і технологій управління знаннями, зокрема, базами знань (БЗ), залишається актуальною.

Зазвичай під управлінням знаннями, у першу чергу, розуміють систематичний збір та використання корпоративних знань з метою максимальної ефективності їх застосування.

Найважливішими роботами, які виконують у процесі управління знаннями, є їх видобуток, структурування та формалізація.

Складність і трудомісткість виконання цих робіт обумовлена складністю процесу створення систем, заснованих на знаннях [1]-[3].

Увагу розробників програмного забезпечення (ПЗ) вже давно привертає питання, як віднайти ефективний спосіб доставки до користувача інформації, якою традиційно володіють експерти-спеціалісти. Однією зі складових вирішення цього питання є створення БЗ для вирішення прикладних задач.

У наш час БЗ поступово стають невід'ємною частиною різних систем і технологій. Проте більшість розробок у даному напрямку присвячена створенню електронних архівів і каталогів. Зазвичай при такому підході визначення критеріїв пошуку необхідної інформації лягає на користувача, який може не мати жодного уявлення про предметну область, а отже, і не в змозі самостійно здійснювати цілеспрямований пошук.

Розробка нових методів і підходів до створення інформаційних систем (ІС) і програмних компонентів для них залишається перспективною галуззю наукових досліджень. Основним елементом ІС є БЗ, яка забезпечує введення, зберігання та обробку знань, закономірностей і взаємозв'язків будь-якої предметної області за запитами користувачів.

Процес формування БЗ під час розробки ІС традиційно вважають достатньо складним і пов'язують з задачами моделювання предметної області, ідентифікації (отримання), концептуалізації (структурування) і формалізації (представлення) знань з подальшою програмною реалізацією [4]. Ще більшої складності ці задачі набувають за необхідністю забезпечення віддаленого і розподіленого доступу, узгодження висновків експертів (фахівців), а також використання інформації, представлення її в різних формах, у тому числі у формі концептуальних моделей.

Зазвичай концептуальні моделі предметних областей формують у процесі розробки ПЗ, у процесі цілеспрямованого моделювання предметної області, у процесі побудови онтології або бізнес-моделі тощо. Під час створення моделей використовують різні нотації, мови і програмні засоби (системи концептуального, когнітивного, онтологічного моделювання, CASE-засоби). Більшість з них забезпечують створення концептуальних моделей і генерацію документації, проте передбачають обмежені можливості з перетворення побудованих моделей у структурі мови програмування (часткове/скелетне перетворення). А це ускладнює практичне використання побудованих моделей для формування БЗ при розробці ІС.

У зв'язку з цим проблема розробки ПЗ сервіс-орієнтованої ІС з можливостями розширення є актуальною. При цьому під можливістю розширення розуміють можливість створення користувачем нових програмних компонентів, які реалізують функції аналізу концептуальних моделей і генерації коду БЗ для інших форматів.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

Традиційні підходи до побудови БЗ не є придатними для систем, які функціонують у реальному часі, через те, що формалізація експертного досвіду у вигляді причинно-наслідкових залежностей вимагає значних витрат часу та участі кваліфікованих фахівців. Останнім часом набули поширення методи, підходи і технології автоматизованої побудови БЗ [5]-[7]. Загальний метод автоматизованої побудови БЗ на основі аналізу журналів подій запропонований в [7]. Згадувані у [5]-[7] методи призначені для виявлення знань у великих базах даних (БД), доступних у мережі Інтернет. Проте підходи, на яких базуються зазначені методи, мають істотний недолік, що звужує сферу їх використання: вони орієнтуються на статичний опис залежностей у предметній області.

У той самий час, при використанні БЗ для підтримки прийняття рішень у системі процесного управління необхідно постійно, синхронно з ходом виконання відповідних бізнес-процесів (БП), оновлювати бази фактів про предметну область. Необхідно також представляти багатоваріантність таких фактів і зв'язків між ними. Для вирішення цієї задачі використовують представлення знань на основі знаходження ймовірностей за допомогою марковських логічних мереж. В [8] запропонований метод автоматизованої побудови БЗ, що

використовує представлення знань на основі марковських логічних мереж. Методи імовірнісного виведення на базі марковських логічних мереж надано в [9]. Основна ідея таких мереж полягає у використанні шаблонів логічних залежностей для побудови набору зв'язаних предикатів, що відображають знання про предметну область [10].

Проте під час побудови такого представлення для систем процесного управління необхідно враховувати особливості логів подій як вихідних даних для виявлення знань [11]. Урахування цих особливостей дозволяє спростити побудову та розширити БЗ.

Таким чином, розробка методу автоматизованої побудови і поповнення БЗ ІС, який забезпечував би безперервну актуалізацію знань на основі аналізу логів, є актуальною.

3. Мета і задачі дослідження

Основною метою дослідження є вдосконалення методу автоматизованої побудови та поповнення БЗ ІС управління ІТ-проєктами (зокрема, проєктами розробки ІС), що дозволить ефективно використовувати всі можливості БЗ під час вирішення основних задач управління проєктами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- вдосконалення методу автоматизованої побудови і поповнення БЗ ІС на основі модифікованих предикатних моделей;
- дослідження особливостей визначення вихідних транзакцій під час планування та управління ІТ-проєктом;
- апробація запропонованих рішень у ході автоматизованої побудови БЗ у ІС управління ІТ-проєктом.

4. Дослідження моделей та методів автоматизованої побудови бази знань інформаційної системи процесного управління

На даний час для створення БЗ існує велика кількість підходів, які, у свою чергу, можна поділити на автоматизовані та неавтоматизовані. Слід зазначити, що під час застосування обох підходів людина (експерт) тією чи іншою мірою буде брати участь у формуванні та супроводі БЗ.

Автоматизоване формування та супровід БЗ ІС передбачає такі етапи.

Етап 1. Підготовка вхідного набору даних. На цьому етапі відбувається перенесення даних з БД (за умови наявності), створення набору даних з різних джерел інформації (фахівці, література, нормативні документи, Internet тощо). Автоматизація відбувається за рахунок застосування пошуку та сканування текстів, діалогу експерта та спеціальної програми, обробки протоколів інтерв'ю тощо.

Етап 2. Попередня обробка даних. Дані можуть містити помилки, аномальні значення або бути непридатними для автоматизованої обробки. На даному етапі також відбувається створення словників з предметної області та правил. Автоматизація цього етапу передбачає використання засобів оперативного аналізу OLAP, інтелектуального аналізу Data Mining і статистичного аналізу.

Етап 3. Нормалізація даних. Цей етап необхідний для методів, які працюють з тільки з даними визначеного виду (наприклад, нейронні мережі працюють тільки з числовими даними). На цьому етапі можуть бути використані як програмні, так і аналітичні методи перетворення типів даних.

Етап 4. Застосування методів формування знань. Ці методи обираються залежно від складності та архітектури ІС. Автоматизація формування знань відбувається за допомогою програм навчання, побудованих на нейронних мережах, генетичних алгоритмах тощо, за наявності репрезентативної вибірки прикладів прийняття рішень у визначеній предметній області.

Етап 5. Подальша обробка даних. Цей етап передбачає безпосередню обробку даних відповідно до запитів, інтерпретацію результатів і застосування отриманих знань засобами самої ІС.

Етап 6. Підтримка даних у актуальному стані. Існує багато предметних областей, у яких дані швидко застарівають, тому їх необхідно періодично оновлювати, підтримуючи у актуальному стані. Автоматизація на цьому етапі передбачає застосування таких самих засобів, як і на етапах 1 і 2.

Метод автоматичної побудови і використання БЗ використовує логіко-імовірнісне представлення знань на основі марковських логічних мереж. Зазначене представлення враховує такі особливості логів подій ІС:

- лог відображає властивості артефактів БП, тобто об'єктів, з якими цей процес взаємодіє;
- з кожною подією логів пов'язана часова мітка (timestamp), а також набір значень атрибутів;
- атрибути подій логів відповідають атрибутам артефактів БП;
- сукупність окремих атрибутів та властивостей артефактів описує контекст виконання дій БП.

Представлення знань має вигляд:

$$KB_{L,P} = (Af, \{ (f_i(Af), w_i) \}, \{ (r_j(F), w_j) \}, P(A = \{ \alpha_k^\tau \} | C)), \quad (1)$$

де Af – множина артефактів; F – множина логічних фактів f_i ; w_i – вага логічного факту f_i ; r_j – логічне правило, яке оперує логічними фактами; w_j – вага логічного правила r_j ; α_k^τ – значення властивості артефакту в момент τ запису події до логу БП; $P(A = \{ \alpha_k^\tau \})$ – ймовірність виконання правил за умови відомих на поточний момент значень властивостей артефактів; C – апріорно відомі каузальні залежності, які виступають як обмеження предметної області.

Зазначене представлення знань враховує послідовність розгортання БП у часі. Статичний аспект задається фактами і правилами з аргументами з логу подій, а динамічний – у вигляді поточного розподілу ймовірностей виконання правил відповідно внесених до логу подій.

Це дозволяє вирішувати задачу прогнозування найімовірнішої поведінки БП в тому випадку, якщо поточний стан раптово змінився внаслідок того, що виконавці змінили задану у моделі послідовність дій.

Імовірнісний розподіл можливих реалізацій БП враховує зважену суму правил і має традиційний для марковських мереж вигляд:

$$P(A = \alpha) = \frac{1}{Z} \exp(\sum_j w_j r_j(\{f_i\})). \quad (2)$$

Метод складається з таких етапів.

Етап 1. Побудова шаблону представлення даних і знань шляхом визначення класів артефактів (властивостей артефактів), типових фактів f_i і правил r_j відповідно до структури логу. Шаблони логічних фактів відображають атрибути подій. Шаблони правил відповідають послідовності подій і відображають зв'язок між контекстом і діями (станом дій) БП. Результат цього етапу: підмножина предикатів, які встановлюють логічні факти; підмножина предикатів, які встановлюють логічні правила. Кількість таких предикатів обмежена через те, що всі події логів мають однакову структуру. Підхід передбачає використання мінімального набору з трьох предикатів: предикат, який встановлює значення властивості артефакту; предикат, що задає набір властивостей для подій; предикат, який визначає правила переходу між подіями.

Етап 2. Побудова/доповнення опису контексту предметної області. На даному етапі визначається приналежність атрибутів подій логів до класів артефактів та їхніх властивостей. Відзначимо, що під час побудови БЗ засобами реляційної системи управління базою даних (СУБД) перелік властивостей артефактів і унікальних значень цих властивостей формується з логу процесу у табличній формі шляхом SQL-запитів.

Етап 3. Побудова логічних фактів шляхом підстановки до предикатів-шаблонів аргументів у вигляді значень атрибутів подій. Такі аргументи характеризують поточний стан БП. Результатом етапу є БЗ у вигляді набору логічних фактів, які відображають нормальну поведінку БП.

Етап 4. Розрахунок ваг логічних фактів. Ваги розраховуються таким чином, щоб їхні значення відповідали ймовірності виконання правил на множині подій логів БП. Традиційно такий розрахунок у марковських логічних мережах виконують методами на основі градієнтного спуску. У результаті виконання даного етапу правила адаптуються з урахуванням додаткової інформації про нові події логів.

Етап 5. Побудова правил, аргументами яких є отримані на етапі 3 логічні факти. Правила формуються на основі предиката-шаблону підстановкою значень аргументів.

Етап 6. Розрахунок ймовірностей для правил на основі логічних фактів, аргументами яких є атрибути подій логів БП. У результаті виконання даного етапу може бути використана інформація про найімовірніші дії БП з прив'язкою до контексту. Додатковим результатом етапу може бути інформація про аномальну поведінку БП.

Етапи 2-6 повторюються протягом виконання БП і появи нових подій в логах.

У ході дослідження було запропоновано використовувати предикатні моделі, що описують артефакти ІТ-проєкту.

Для вирішення задачі побудови моделі гнучкого процесу відомі традиційні методи інтелектуального аналізу процесів вимагають доопрацювання. Тому вдосконалений метод повинен забезпечувати врахування додаткового аспекту процесу – ієрархії його дій, а також можливість ефективного відсікання непотрібних дій під час конфігурування моделі процесу. Як математичний апарат цього вдосконалення доцільно використати алгебру кінцевих предикатів [10]. Отримана з використанням цього апарату вдосконалена предикатна моделі процесу дозволяє:

- забезпечити додаткові можливості за рахунок появи моделей гнучких процесів;
- полегшити загальне розуміння моделі за рахунок ієрархічного представлення моделі гнучкого процесу
- використати як елементи моделі існуючі формалізовані підпроцеси;
- побудувати моделі реально виконаних процесів обробки ресурсів на основі логів методами інтелектуального аналізу процесів.

Аналіз досліджень у галузі побудови моделей гнучких процесів показав, що повна модель такого процесу може бути отримана за допомогою традиційного повного циклу розробки моделі гнучкого багатоваріантного процесу, зокрема злиття моделей декількох «жорстких» процесів, які реалізують ідентичну функціональність різними способами.

5. Вирішення задачі автоматичної побудови бази знань інформаційної системи процесного управління

5.1. Вдосконалення методу автоматизованої побудови та поповнення бази знань інформаційної системи процесного управління на основі модифікованих предикатних моделей

В умовах поточної роботи підприємства неявні знання становлять найбільший інтерес. Проте саме ці знання найважче отримати.

У кожній організації, незалежно від сфери її діяльності, здійснюється безперервний процес руху знань, тобто здійснюється певний процес виробництва, узагальнення та

поширення знань. Моделювання процесів можна виконувати із застосуванням різних підходів і інструментальних засобів, залежно від вимог до моделі у кожному конкретному випадку. Зазвичай таке моделювання починається з ідентифікації процесу. Метою цієї ідентифікації стосовно предметної області є виявлення в діяльності організації процесів управління знаннями, їх описи та використання цих описів для управління процесами і їх поліпшення, а також встановлення єдиних вимог до правил і способу опису процесів організації.

Під час ідентифікації процесу на верхньому рівні обов'язково повинні бути визначені: назва процесу; входи процесу; виходи процесу; виконавець; структурні підрозділи; окремі працівники, зовнішні виконавці; керуючі входи процесу; нормативні, організаційно розпорядчі та методичні документи, що визначають вимоги до процесу.

Після ідентифікації відбувається декомпозиція процесу, яка передбачає представлення основного процесу у вигляді підпроцесів, тобто основних робіт, що слідують один за одним у певній послідовності протягом реалізації основного процесу. Вихід кожного підпроцесу одночасно є входом для наступного.

Усі знання ІТ-підприємства можна представити як розподілену БЗ, що проявляє себе у середовищі БП у формі об'єктів знань. До таких об'єктів належать агенти (працівники і групи працівників) та артефакти (документи, книги, комп'ютерні системи тощо).

Знання, які містять агенти, є суб'єктивними, тобто прихованими, у той час як знання, які містяться в артефактах, є об'єктивними, представленими у формі явних, закодованих лінгвістичних виразів [12].

Об'єкти знань можуть розглядатися як інтерфейс між результатами обробки знань і середовищем виконання БП, в якому рішення і дії здійснюються співробітниками організації під час виконання виробничих завдань.

Таким чином, метод, описаний у розділі 4, доцільно удосконалити. Це удосконалення ґрунтується на припущенні, за яким таблиці реляційної або об'єктно-реляційної БД ІС управління ІТ-проєктами, які по суті є предикатами, можуть містити такі об'єкти знань:

- знання, які описують властивості артефактів;
- знання, які описують властивості подій;
- знання, які описують правила переходів між подіями.

Шаблон представлення даних на етапі 1 розглянутого методу доцільно розширити за рахунок додавання предикату, який задає множину припустимих для подальшого аналізу артефактів. Тобто для розглянутої предметної області необхідні артефакти, які описують методологію роботи над ІТ-проєктами (наприклад, Scrum/Agile або планове виконання проєктів). У випадку зі Scrum/Agile необхідно описувати такі артефакти як план спринту, беклог, щоденні скрами, ретроспектива тощо. Необхідно також зробити висновки щодо цих артефактів на предмет доцільності їх використання під час аналізу. Наприклад, щоденні скрами можна вилучити зі списку артефактів для аналізу через те, що вони ніяк не впливають на успішність виконання проєкту.

На етапі 2 необхідно узгодити логи подій, взяті з системи управління ІТ-проєктом, з класами артефактів та їх властивостей. Тобто одного тільки опису недостатньо, потрібна відповідність вмісту логів визначеним артефактам.

Таким чином, для кожного виконаного проєкту вміст логів запропоновано записувати до БД, а під час побудови плану поточного проєкту виконувати порівняння накопичених таким чином знань з описами відповідного проєкту. Наприклад, можна сформулювати опис нульового спринту на основі логів нульових спринтів попередніх ідентичних проєктів. Застосування цих пропозицій дозволить оцінити успішність початку та просування поточного ІТ-проєкту.

Ґрунтуючись на використанні БЗ, доцільно виділити предикати, додані до запропонованих у розглянутому методі:

- предикати, які описують усі можливі артефакти;
- предикати, які описують клас артефактів проекту;
- предикати, які описують артефакти, відібрані для формування БЗ.

Таким чином, модернізований метод автоматизованої побудови та поповнення БЗ системи процесного управління містить такі етапи:

Етап 1. Побудова шаблону представлення даних і знань шляхом визначення класів артефактів (властивостей артефактів), типових фактів f_i і правил r_j відповідно до структури логу.

Етап 2. Доповнення опису контексту предметної області.

Етап 3. Побудова логічних фактів шляхом підстановки до предикатів-шаблонів аргументів у вигляді значень атрибутів подій.

Етап 4. Побудова правил, аргументами яких є отримані на етапі 3 логічні факти.

Етап 5. Розрахунок ймовірностей для правил на основі логічних фактів, аргументами яких є атрибути подій логів БП.

Розрахунок ймовірностей для правил визначається у такий спосіб.

Правило r_j визначається парою подій

$$r_j = (e_{ij}, e_{ij+1}), \quad (3)$$

де r_j – правило пар подій.

З урахуванням особливостей вхідних даних (журналів подій) запропоновано розраховувати ваги правил таким чином:

$$k = |\{trace_i: (e_{ij}, e_{ij+1}) \in trace_i\}|, \quad (4)$$

де k – кількість трас; $trace_i$ – траса; e_{ij} – подія.

Ймовірність для правила $j(r_j)$ розраховується за формулою:

$$j(r_j) = \frac{k}{K}, \quad (5)$$

де K – загальна кількість трас.

Таким чином, модернізація методу автоматизованої побудови та поповнення БЗ ІС процесного управління відбувається шляхом додавання нових предикатів та узгодження логів подій з класами артефактів та їх властивостей.

Подальшим розвитком модернізованого методу може бути аналіз успішності виконання прогнозів за допомогою БЗ і корегування вихідного набору предикатів на основі результатів цього аналізу.

5.2. Експериментальна перевірка виявлення вторгнень у комп'ютерну мережу

Основною метою експерименту була перевірка можливості застосування запропонованого методу під час вирішення задач підтримки прийняття рішень за умови виявлення вторгнень для процесів у комп'ютерних системах.

Під час проведення експерименту був використаний лог комп'ютерної системи CIDDS-002. У CIDDS-002 містяться логи з тижневими послідовностями подій. Кожна подія логів характеризується множиною атрибутів (Source IP Address, Source Port, Destination IP Address, Destination Port, Transport Protocol, Duration of the flow, Duration of the flow, Number of transmitted bytes тощо).

Логічні факти представлені у вигляді кон'юнкції значень атрибутів, наприклад, для логу з двох рядків факт f_1 має вигляд:

$$f_1(\text{SourceIPAddress} = \langle 192.168.220.51 \rangle \wedge \text{SourcePort} = \langle 51144 \rangle \wedge \text{DestinationIPAddress} = \langle 192.168.100.20 \rangle \wedge \dots) = \text{true}. \quad (6)$$

Логічні факти можуть бути узагальнені. Узагальнення логічних фактів полягає у виборі такої кількості атрибутів, яка б дозволила досягти заданої спільності факту без його спрощення. Іншими словами, під час побудови шаблону логічних фактів слід прибирати несуттєві атрибути. Зокрема, у наведеному прикладі не використано timestamp.

Логічні правила є супутніми для переходу між подіями, наприклад для фактів f_1 і f_2 з наведеного фрагмента логу, загальне правило переходу має вигляд $r_1(f_1 \wedge f_2)$.

З зазначеного логу відфільтровано послідовності подій, відповідні процесам нормального функціонування, а також відповідні процесам зовнішніх вторгнень. Ці послідовності представлено у вигляді окремих трас. Траса процесу нормального функціонування містить 1011427 подій, а траса процесу зовнішніх вторгнень – 37148 подій.

Ваги логічних фактів розраховуються окремо для обох трас. Це дозволяє реалізувати порівняння ймовірностей виконання правил для нормального функціонування і для зовнішніх вторгнень.

Спочатку виявляємо аномальну поведінку процесу. Проте аномальна поведінка не завжди свідчить про помилки або зовнішні вторгнення. Можливий варіант, що опис такої поведінки процесу просто не міститься у БЗ. Тому потім виконується порівняння з шаблонною поведінкою процесу під час вторгнення. У результаті відсікаються явні процеси вторгнення. Решта описів поведінки процесу, яка залишається після такого відсікання, вимагає подальшого розгляду.

Правило r_j визначається парою подій за формулою (3). Ваги правил розраховуються з використанням формули (4). Для розрахунку ймовірності правила використовується формула (5).

Під час експериментальної перевірки було запропоновано спростити визначення ваг логічних фактів порівняно з традиційними методами внаслідок необхідності роботи в реальному часі. Традиційні методи є вкрай ресурсоємними. Тому ваги фактів і правил визначаються на основі частоти появи значень атрибутів.

Було розраховано ваги переходів між атрибутами подій для кожної пари атрибутів. Ці ваги розраховано для нормальної роботи і для вторгнення. Ваги атрибутів підсумовуються при визначенні ваг логічного факту і правила.

Порівняння значень ваг переходів для випадку нормального процесу та для випадку зовнішнього вторгнення можна здійснити за даними, представленими у табл. 1.

Під час прийняття рішень щодо виявлення зовнішніх вторгнень виконується розрахунок ймовірності для правил переходу між подіями з урахуванням ймовірності логічного факту, який описує стан. Потім виконуються порівняння отриманих ймовірностей для процесу нормальної роботи і процесу вторгнень. За результатами порівняння приймається рішення про виявлені зовнішні вторгнення у ІС.

Таблиця 1
Ваги значень атрибутів для переходів між подіями

Ваги значень атрибутів події	
Нормальна обробка	Вторгнення
1,58192E-05	1,47835E-01
1,68079E-05	1,22064E-03
0,001384183	0,012473248
3,46046E-05	1,257432E-05
0,000375707	0,0
0,059390347	1,056037 E-05

5.3. Опис основних особливостей системи автоматизованої побудови бази знань

Основним ресурсом знань ІТ-підприємств є розроблене ПЗ та документація на нього. Ці знання використовують у всіх основних технологічних процесах ІТ-підприємства:

розробці проєктної документації, розробці програмних продуктів, документуванні, тестуванні, впровадженні і супроводі, а також у процесі побудови плану робіт ІТ-проєкту.

Для виявлення цих знань запропоновано застосовувати систему автоматизованої побудови (САП) БЗ. Головна концепція такої системи полягає у можливості управління знаннями про створені програмні продукти, документацію, процес розробки планів та самого ПЗ, тестування, впровадження, організаційні питання та знаннями з інших ІТ-проєктів та процесів, які надходять у БЗ під час діяльності підприємства.

Складові САП БЗ побудовані з використанням різних компонентів та рішень. Одним з ключових компонентів, який здійснює пошук, організацію знань у вигляді БЗ, забезпечує оперативний відбір і видачу релевантної інформації за запитами та виконує багато інших дій, є система Jira [13].

Таким чином, пошук інформації проводиться не у сховищі документів, а у БЗ, яка дозволяє врахувати семантику інформації, що знаходиться у документації на ПЗ, описах спринтів та беклогів, планах роботи тощо, і тим самим підвищити якість пошуку. Для здійснення такого пошуку запропоновано використовувати комбінацію синтаксичного і семантичного пошуку, тобто пошук повинен виконуватися у примірниках БЗ з урахуванням їх семантичних властивостей і зв'язків.

Основними компонентами САП БЗ є:

- БЗ ІС (використовується для опису інформаційних ресурсів з урахуванням семантики оброблюваної інформації);
- підсистема пошуку (виконує пошук інформації за запитами, навігацію, розташування інформації за рубриками і візуалізацію примірників БЗ ІС, забезпечує обмін знаннями між користувачами системи за допомогою механізмів коментування та тегів);
- підсистема компонування документів (виконує формування необхідних цілісних документів у визначених форматах);
- підсистема розмежування доступу (забезпечує розмежування доступу до інформаційних ресурсів);
- підсистема забезпечення цілісності БЗ.

Методика створення САП БЗ та її перевірки складається з таких етапів.

Передпроєктний етап. Відбувається дослідження предметної області та ідентичних розробок, обстеження документації на ПЗ та інших ресурсів знань підприємства, обґрунтування необхідності створення САП БЗ, розробка технічного завдання.

Етап проєктування та розробки. Відбувається:

- проєктування продукційних БЗ ІС;
- розробка автоматизованих продукційних БЗ ІС (визначення понять і відносин між ними);
- наповнення БЗ (модульне структурування документації на ПЗ, створення примірників, заповнення властивостей і формування відносин між екземплярами);
- програмна реалізація (організація автоматизованої обробки і пошуку інформації за запитом, розробка шаблонів документів);
- розробка документації на САП БЗ;
- розробка стандарту, який регламентує правила роботи з САП БЗ, і пропозицій щодо зміни існуючих стандартів ІТ-підприємства у зв'язку з впровадженням системи.

Етап впровадження. Відбувається:

- проведення дослідних випробувань;
- навчання персоналу;
- введення в дію розроблених та модифікованих стандартів;
- введення САП БЗ у промислову експлуатацію.

Етап супроводу. Виконується аналіз функціонування, виявлення проблем, внесення змін до САП БЗ та стандартів організації.

Запропонована методика пройшла перевірку на одному з українських ІТ-підприємств. Під час перевірки було використано документацію на ПЗ, яка містить близько 90 % від усієї інформації підприємства. Обсяг документації становив понад 40000 сторінок тексту.

Технологічною платформою САП БЗ є сполучення продуктів Confluence та Jira. Систему реалізовано у вигляді Інтернет-порталу. БЗ документації на ПЗ реалізовано на основі бібліотеки документів Jira.

Для кожного концепту БЗ документації на ПЗ створений тип контенту (Content Type) зі своїм набором стовпців (атрибутів). Під час перевірки у БЗ документації на ПЗ було виділено близько 100 концептів і 7 типів відносин, створено близько 52000 примірників. Обсяг реструктурованої документації на ПЗ становить приблизно 60 % від походного (понад 23000 сторінок текстової інформації).

В основі БЗ функціональних можливостей лежить карта БП моделі eТОМ (enhanced Telecom Operations Map) [14]. БЗ функціональних можливостей реалізовано на основі набору термінів керованих метаданих Jira. У БЗ функціональних можливостей створено близько 600 екземплярів.

БЗ продукції реалізовано на основі списків Jira, вона містить близько 5000 примірників.

5.4. Опис основних рішень за видами забезпечення інформаційної системи для ІТ-підприємства

При створенні ІС для ІТ-підприємства має місце проблема часті зміни напрямку роботи, обумовлена вдосконаленням побудови моделей предметної області та алгоритмів вирішення задач. Зазвичай уточненню піддаються саме моделі предметної області, а алгоритми вирішення задач залишаються відносно постійними. Таким чином, виникає проблема наділення компонентів САП БЗ функціональністю, що забезпечує сприйняття змін у структурі оброблених об'єктів без зміни вихідних даних.

Така функціональність компонентів забезпечує гнучкість системи, що, з одного боку, знімає частину рутинної роботи з програмістів, з іншого – дозволяє самостійно налаштувати систему. Тому при розробці компонентів необхідно відділити методи створення та зберігання інформації про структуру та зміст предметної області від методів її обробки. Відповідно до цієї рекомендації запропоновано забезпечити зберігання БЗ у БД, а методи створення БЗ, управління БД і метод міркування за правилами реалізувати окремими модулями.

Отримана БЗ разом з інтегрованою машиною виведення утворюють продукційну експертну систему, результатом роботи якої є нові факти про розглянуті проблеми. Компонент дозволяє переглядати і зберігати результати виведення, а також відстежувати послідовність того, як спрацювали правила (елемент пояснення).

На рис. 1 наведено фрагмент архітектури САП БЗ ІТ- підприємства на основі БЗ, для якого розглянемо основні застосовані рішення з окремих частин забезпечення системи.

В даний час існують як комерційні, так і вільно поширювані сервіси, за допомогою яких можна реалізувати механізм міркування на основі продукцій. У даному дослідженні з цією метою було обрано можливості, які виникають в результаті взаємодії ІТ-продуктів Confluence та JIRA. Вибір обумовлений можливістю створення корпоративного Інтернет-порталу в організації, використання вікі-технології для створення БЗ, відстеження складових частин плану ІТ-проєкту.

Підсистема цілісності реалізує інтерфейс користувача для доступу до БЗ і призначена для роботи (виконання операцій створення, модифікації і видалення) з фактами і правилами, наведеними в узагальненому вигляді в одній з БЗ. При цьому правила і факти можуть бути як абстрактними (зразки правил і фактів), так і конкретними (екземпляри

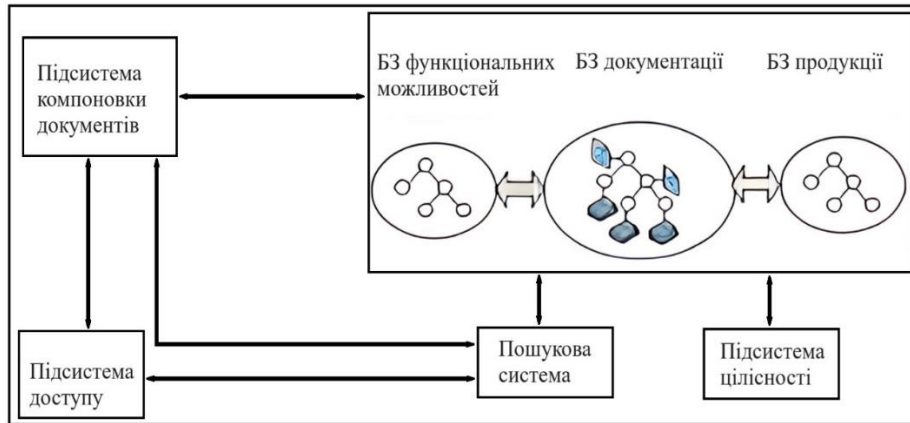


Рис. 1. Фрагмент архітектури системи автоматизованої побудови бази знань ІТ- підприємства на основі бази знань

правил і фактів). Факти і правила групуються відповідно до їх предметної класифікації, утворюючи БЗ. Кожна БЗ має унікальне ім'я і сприймається підсистемою цілісності як надана цій підсистемі функція, доступ до якої здійснюється через підсистему доступу. Підсистема цілісності розроблена з використанням HTML, CSS, JS і PHP.

Підсистема доступу реалізує призначений для користувача інтерфейс доступу до САП БЗ, передає машині виведення ідентифікатор БЗ або список правил і фактів у форматі машини виведення, виконує розмежування прав доступу.

Графічний редактор правил є частиною підсистеми цілісності. Редактор дозволяє використовувати окремі графічні примітиви для відображення всіх елементів правил; привласнювати окремим фактам суб'єктивні ймовірності у вигляді коефіцієнтів впевненості; наочніше відображати тип виконаних дій; відображати логічні оператори в умовах правил (або/ні). Редактор дозволяє також у простій і наочній формі спроектувати продукційне правило, задати умову і дію.

Головним елементом інформаційного забезпечення є БД для зберігання БЗ і початкових умов. Фрагмент моделі цієї БД наведено на рис. 2.

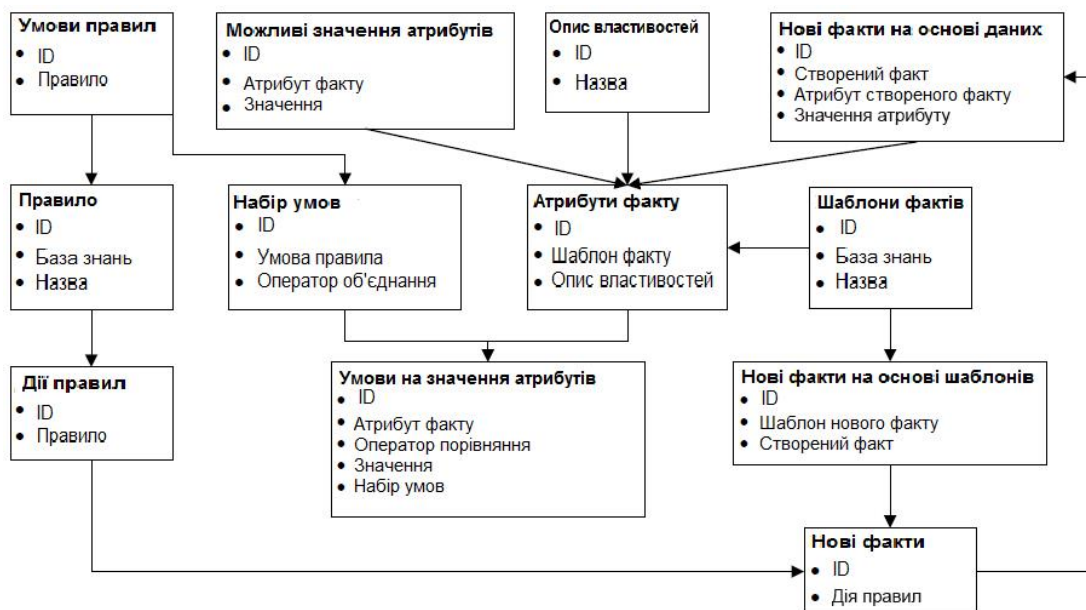


Рис. 2. Фрагмент моделі бази даних для зберігання бази знань

БД забезпечує зберігання БЗ, кожна з яких містить: факти; початкові умови; продукційні правила, які керують процесом формування фактів; заздалегідь заданий список обчислювальних процедур, що дозволяють перетворювати чисельні значення змінних.

Взаємодію з БД здійснюють підсистема компонування документів і пошукова підсистема. Підсистема доступу реалізує функції з'єднання з БД, відображення всіх таблиць, доступу до їх вмісту, а також виконання стандартних операцій і запитів (додавання, модифікації, видалення, пошуку). Модуль реалізований мовою SQL.

Інтернет-портал реалізований засобами Confluence [15]. Його основне завдання полягає у підготовці інформації (фактів і правил) з БЗ для її представлення користувачам у прийнятному для них візуальному вигляді.

Програмний інтерфейс доступу до БД реалізує функції з'єднання з БД, відображення всіх таблиць БД, доступу до їх вмісту, а також виконання стандартних операцій і запитів (додавання, модифікації, видалення, пошуку). Модуль реалізовано засобами мови SQL.

Таким чином, САП БЗ забезпечує завантаження візуальних моделей, їх перетворення у внутрішній універсальний формат (з метою побудови моделі предметної області), моделювання продукцій, їх генерацію, а також можливість спільної і розподіленої роботи всі учасників проекту.

6. Обговорення результатів дослідження

Для оцінки результативності та ефективності застосування САП БЗ було обрано дані з системи обліку трудовитрат і системи обліку та обробки дефектів. Ці системи є складовими загальної ІС управління проектами ІТ-підприємства. Аналіз даних виконувався за періоди часу однакової довжини, які було обрано з періодів часу до і після впровадження САП БЗ.

Впровадження САП БЗ у базові процеси ІТ-підприємства за виконаними розрахунками дозволило підвищити якість базових процесів (процесу проектування та розробки ПЗ на 15 %, процесу супроводу ПЗ на 17%), досягти покращення документації за рахунок появи нових споживчих властивостей (додавання гіпертексту, метаінформація, автоматичне формування документів), підвищити якість процесу пошуку інформації, зменшити трудовитрати на розробку документації на ПЗ, зменшити трудовитрати на супровід ПЗ. Так середній час на аналіз і прийняття рішення за повідомленням про помилки був зменшений на 26 %, середній час на відповідь за повідомленням з питаннями про експлуатацію ПЗ – на 33 %.

7. Висновки

У даному дослідженні було розглянуто особливості існуючого методу автоматизованої побудови та поповнення БЗ системи процесного управління. Запропоновано удосконалення предикатних моделей, які описують артефакти ІТ-проекту, та вдосконалення автоматизованої побудови БЗ шляхом розрахунку ймовірності правил на основі частоти їх появи у вхідних трасах подій.

Базуючись на результатах розгляду, було здійснено модернізацію етапів 1 та 2 існуючого методу. Виконано перевірку можливості застосування запропонованого модернізованого методу під час вирішення задач підтримки прийняття рішень за умови виявлення вторгнень для процесів у комп'ютерних системах.

Наведено опис основних характеристик САП БЗ, що враховують особливості модернізованого методу при вирішенні задач прийняття рішень на ІТ-підприємстві.

Проведено апробацію запропонованих рішень в процесі автоматизованого управління проектами ІТ-підприємства. У ході автоматизованої побудови продукційної БЗ виявлено переваги та недоліки методу.

Подальшим розвитком модернізованого методу може бути аналіз успішності виконання прогнозів за допомогою БЗ і корегування на основі результатів цього аналізу вихідного набору предикатів.

Перелік посилань:

1. Tuzovsky A.F., Yampolsky V.Z. The system approach to knowledge management systems designing and development. *Proceedings KORUS'2003*. Ulsan, 2003. P. 213–216.
2. Servin G. ABC of Knowledge Management. Caroline De Brian Publication, 2005. URL: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/knowledge/docs/ABC_of_KM.pdf (дата звернення: 11.07.2024).
3. Alavi M, Leidner D. E. Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. *Management Information Systems Quarterly*. 2001. Vol. 25, № 1. P. 11-115.
4. Canadas J., Palma J., Tunez S. InSCo-Gen: A MDD tool for Web rule-based applications. *Lecture Notes in Computer Science*. 2009. Vol. 5648. P. 523–526.
5. Чала О. В. Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління. *Бионика интеллекта*. 2017. № 1 (88). С. 80–84.
6. Левикін В.М. Концепція автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління. *Бионика интеллекта*. 2017. № 2 (89). С. 77–83.
7. Levykin V., Chala O. Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018. № 4. P. 29-35.
8. Richardson M., Domingos P. Markov logic networks. *Machine Learning*. 2006. №62 (1-2). P. 107–136. <https://doi.org/10.1007/s10994-006-5833-1>.
9. Singla, P., Domingos, P. Discriminative Training of Markov Logic Networks. *Proceedings of the 20th AAAI conference on Artificial intelligence*. 2005. P. 868-873.
10. Рудометкина М.Н., Спицын В.Г., Болотова Ю.А. Метод построения иерархической предикатной модели процесса. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9 (часть 12). С. 2666-2671
11. Yang H., van Dongen B.F., ter Hofstede A. H.M., Winn M.T., Wang J. Estimating Completeness of Event Logs. URL: <http://bpmcenter.org/wp-content/uploads/reports/2012/BPM-12-04.pdf> (дата звернення 14.07.2024).
12. Богачева Н. М. О разработке системы управления знаниями предприятий технического сервиса. *Научный журнал КубГАУ*. 2012. №80 (06).
13. Создание Agile-проекта в Jira. *ITFB*. URL: <https://itfb.com.ua/sozдание-agile-proekta-v-jira/> (дата звернення: 27.07.2024).
14. Blokdyk G. ETOM A Complete Guide - 2021 Edition. The Art of Service - ETOM Publishing, 2020. 313 p.
15. Sobia Publication. Learn JIRA with real-world examples + Confluence bonus: Learn to work on, manage & administer agile projects with this comprehensive Book on JIRA Software & Confluence. 52 p.

Надійшла до редколегії 01.08.2024 р.

Малькова Ірина Анатоліївна, асистент кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: iryna.malkova@nure.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6109-8193>

Макєнко Владислав Сергійович, розробник Frontend-елементів, фрілансер, м. Харків, Україна, e-mail: mvsmasters735@gmail.com

О.А. ЦВІРКУН

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИРІШЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ «ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ ХІРУРГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ» У МЕДИЧНОМУ ЗАКЛАДІ

Виконано аналіз сучасного стану об'єкта дослідження – процесу формування розкладу хірургічних операцій Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України». Оглянуто існуючі варіанти задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та методи їх вирішення. Запропоновано модифікацію моделі цільового програмування та методу її вирішення на основі методу пріоритетів. Проведено реалізацію та експериментальну перевірку отриманих результатів під час вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.

1. Вступ

Задачі часового планування сумісної роботи множини елементів складної системи зустрічаються в багатьох галузях управління транспортними потоками, при плануванні виробництва на підприємствах, при виконанні замовлень в проектно-конструкторських організаціях, при організації роботи закладів соціально-економічної сфери, в закладах освіти, медичних закладах тощо. Одним з актуальних напрямів розвитку таких задач є створення на вимоги медичних закладів інформаційних продуктів, які б надавали можливість вирішення проблем, пов'язаних із складанням розкладу проведення хірургічних операцій.

Хоча ринок медичних інформаційних систем (МІС) в Україні розвивається, українські МІС спрямовані переважно на автоматизацію ряду стандартних та уніфікованих процесів, а саме: роботу реєстратури, ведення реєстру пацієнтів, ведення амбулаторної картки хворого, формування звітів, запису до лікаря, інших додаткових послуг. Існуючі комплексні МІС, зазвичай, складаються з окремих компонентів, які можна об'єднати у такі групи: аналітичні та управлінські компоненти, медичні компоненти, фінансово-економічні компоненти, компоненти обміну даними, загально-технічні компоненти [1]-[4]. Аналогічна ситуація існує і за межами України. Сучасні закордонні МІС, такі як Luma Health, PracticeSuite, Breeze, Mend, Epic Systems, RXNT тощо, орієнтовані в першу чергу на процеси, пов'язані з обліком та прийомом пацієнтів [5]-[11]. Існуючі у цих МІС функціональні модулі формування розкладу орієнтовані передусім на формування графіку роботи лікарів та прийому пацієнтів і не надають користувачам послуг з автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій. Тому проведення досліджень, спрямованих на проектування та розробку окремих функціональних модулів та задач, спрямованих на автоматизоване формування розкладу проведення хірургічних операцій, є актуальним як для українських, так і для світових МІС.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

Складання розкладів хірургічних операцій в медичних закладах є складною задачею, тому що доводиться враховувати велику кількість специфічних обмежень і вимог, найчастіше індивідуальних для кожної операції та кожного медичного закладу. Тому вирішення подібних задач залишається темою багатьох сучасних досліджень. Так, у [12] для цього пропонується модель цільового програмування, використання якої дозволяє створювати розклади, що якнайкраще відповідають потребам лікарні. Недоліком цієї моделі є те, що оптимальність створених розкладів досягається за рахунок мінімізації часу простою і понаднормової роботи хірургів і персоналу.

У [13] задача формування розкладу операцій зведена до задачі призначення операцій

і роботи лікарів з мінімізацією можливого ризику відміни операції. Описано дослідження, в якому застосовується ряд алгоритмів оптимізації для побудови розкладу хірургічних операцій з рівномірною заповненістю післяопераційних ліжок. Рівномірна заповненість післяопераційних ліжок досягається або змішаними методами цілочисельного програмування, що включають рішення задачі квадратичної оптимізації, або евристикою імітаційного відпалу [14], яка мінімізує загальну ймовірність нестачі кількості ліжок або, як альтернативу, загальну очікувану нестачу кількості ліжок.

У [15] розглянуто випадок, коли хірурги і пацієнти вибирають день операції, операція не відхиляється, а розклад проведення операцій коригується таким чином, щоб максимально підвищити ефективність використання операційної. Однак для цього випадку у [15] показано, що компромісні рішення, пов'язані із вивільненням часу, відмінного від найбільшого проміжку часу, виділеного на операцію, помітно знижують ефективність роботи операційного відділення.

У [16] розглянуто вирішення проблеми ліквідації великого навантаження для операційного відділення лікарні за умов призначення операцій і достатнього запланованого часу використання кожної операційної. Мета цього дослідження полягала в тому, щоб максимально використовувати ресурси операційних і звести до мінімуму ризик понаднормової роботи хірургів і скасування проведення операцій для пацієнтів. Було запропоновано різні конструктивні евристики і методи локального пошуку екстремуму, які використовують статистичну інформацію про тривалість операцій для досягнення ефекту портфолію і тим самим мінімізувати час простою операційних.

У [17] було розглянуто вибіркоче планування випадків у лікарнях та хірургічних центрах, у яких хірурги та пацієнти вибирають день операції. Операції не відхиляються, а персонал анестезіологів та медсестер налаштовується таким чином, щоб максимально ефективно розподіляти час використання операційної. Досліджено планування нової операції в операційній з використанням двох підходів до планування початку проведення операцій для пацієнтів: найраніший час початку та найпізніший час початку. Однак досягне поступове скорочення понаднормової роботи за рахунок отримання точної інформації про тривалість розгляду справ у цьому випадку становило лише кілька хвилин на операцію. Різниця між найранішим часом початку і найпізнішим часом початку також становила всього кілька хвилин для операційної.

У [18] розглянуто випадок, коли операції для декількох пацієнтів необхідно планувати для операційної зали на середньостроковий період (один або два тижні). Ця операційна зала складається з декількох операційних і однієї післяопераційної палати, в якій є кілька ліжок. Цілями в цьому випадку є задоволення потреб пацієнтів і підвищення ефективності використання ресурсів лікарні. У [18] основна увага приділяється першому кроку, тобто плануванню робіт операційної зали як прикладу складної NP-проблеми. Для евристичного вирішення цієї проблеми пропонується модель призначення з ресурсними можливостями і додатковими обмеженнями на часові проміжки. Шляхом інтегрування більшості обмежень у цільову функцію витрат, було розроблено модифікацію угорського методу для розрахунку планування робіт в операційній залі.

У [19] розглянуто двоетапний підхід до планування робіт у операційних приміщеннях. На першому етапі відбувається призначення хірургічних операцій в операційних приміщеннях. Другий етап полягає в упорядкуванні призначених операцій з метою поліпшення використання операційних приміщень з урахуванням різних обмежень, пов'язаних з ресурсами, і специфікацій операційних процесів. Проведено порівняння двох можливих стратегій вирішення задачі формування розкладу проведення операцій: призначення операцій операційним приміщенням, отримане на першому етапі, не

переглядається (перша стратегія) та призначення операцій операційним приміщенням перевизначається, щоб бути менш обмеженим (друга стратегія).

У [20] розглянуто випадок, коли при плануванні хірургічних операцій розподіляються ресурси лікарні за окремими хірургічними операціями і визначається час проведення операцій. Для цього випадку пропонується новий підхід до планування, в якому використовується розширення задачі планування робочих місць, зване багаторежимним блокуючим виробничим цехом (multi-mode blocking job shop, ММВJS). За даним підходом ММВJS описується як задачі змішаного цілочисельного лінійного програмування і обумовлюється використання моделі ММВJS для планування додаткових операцій.

У [21] розглянуто випадок, коли обмежений персонал та обладнання в хірургічних службах вимагають ефективного використання цих ресурсів кількома групами хірургів. Для цього розроблено набір ієрархічних моделей математичного програмування з декількома критеріями для створення щотижневих розкладів роботи операційних. Цілями, що розглядаються в цих моделях, є максимальне використання місткості операційних, збалансований розподіл операцій між групами хірургів з урахуванням тривалості операцій і мінімізації часу очікування операцій пацієнтами.

У [22] оцінено вплив моделі лінійного цілочисельного програмування для вирішення проблеми планування роботи операційних з урахуванням точки зору пацієнта. Модель визначає, як упродовж заданого планового періоду розподіляти ці блоки часу між хірургічними підспеціальностями, тобто вирішує так звану задачу створення основного розкладу проведення хірургічних операцій (Master Surgical Schedule Problem, MSSP), разом із підмножинами пацієнтів для планових операцій, яких слід оперувати у межах кожного часового блоку, тобто вирішує задачу призначення хірургічних операцій (Surgical Case Assignment Problem, SCAP). Недоліком такого підходу є те, що при цьому важливим стає не кількість пацієнтів, яких можна вилікувати за певний період, а те, наскільки можна запобігти погіршенню стану пацієнтів або іншим негативним наслідкам, пов'язаним з надмірним часом очікування операції.

У [23] визначено багатокритеріальну цільову функцію, в якій мінімізовано пікове використання ліжок для відновлення пацієнтів, понаднормову роботу під час відновлення пацієнтів і порушення різних побажань пацієнтів і хірургів. Враховується також обмежена доступність ресурсів і необхідність прийняття медичних запобіжних заходів, таких як додаткове прибирання операційної після операції інфікованого пацієнта. Але для застосування цієї цільової функції у [23] запропоновано використовувати алгоритм динамічного програмування для вирішення проблеми цілеутворення, що збільшує обчислювальні витрати.

У [24] розглянуто вирішення проблеми розподілу хірургічних операцій, пов'язаної із розподілом набору хірургічних випадків за декількома багатofункціональними операційними залами з метою мінімізації загальних операційних витрат. Отримані результати обчислень показують, що запропонований для вирішення цієї проблеми у [24] підхід декомпозиції є перспективним і здатним вирішувати великі за обсягом задачі.

У [25] розглянуто розробку щотижневого розкладу проведення хірургічних операцій в операційній, де часові блоки зарезервовані для хірургів. Передбачається, що як операційні, так і місця в післяопераційній палаті є багатofункціональними, а цілі полягають в максимальному використанні операційних, мінімізації витрат на понаднормову роботу в операційній і мінімізації непередбаченого простою між хірургічними операціями. Отримані результати порівняні з кількома фактичними розкладами операцій у бельгійській університетській лікарні, де часові блоки були призначені або конкретним хірургам, або хірургічним спеціалізаціям на кілька місяців

наперед. Згідно з результатами порівняння, розклади проведення хірургічних операцій, отримані запропонованим способом, містять менший час простою між хірургічними операціями, значно вище завантаження операційних і передбачають менше понаднормових хірургічних операцій.

Мета задачі планування використання операційної, розглянута у [26], полягає в тому, щоб призначити операції для проведення в операційних у відповідні проміжки часу. Для цього в межах одного робочого дня було визначено блоки часу і встановлені обмеження для кожного блоку часу. Враховувалося тільки призначення операцій, в той час як ранжування операцій не бралось до уваги. Проблема вирішувалася за допомогою інтегрованих моделей програмування цілей і програмування обмежень. Було розглянуто декілька моделей планування роботи операційних.

У [27] пропонується евристика для послідовності проведення операцій, спрямована на мінімізацію піків використання ресурсів операційного блоку (surgical theater, ST), як до операції, так і після неї, з метою пошуку розкладів операцій, що максимізують кількість операцій, призначених для виконання в операційних (operating room, OR), при цьому мінімізуючи дисперсію інтервалів між операціями (Break-In Interval, BII). Такий підхід дозволяє збільшити пропускну здатність ST за тих самих ресурсів (персонал і обладнання).

Аналіз розглянутих публікацій дозволяє зробити такі висновки:

– з математичної точки зору задачу формування розкладу хірургічних операцій найчастіше розглядають як задачу упорядкування робіт;

– у задачі формування розкладу хірургічних операцій ресурси крім кількісних мають також обмеження, пов'язані з вимогами нормативів, спеціалізацією і просто людським фактором;

– особливістю задачі формування розкладу хірургічних операцій є априорно невідома тривалість кожної хірургічної операції (відомий лише порядок проведення операцій);

– у переважній більшості досліджень вирішення задачі планування проведення хірургічних операцій спрямовані на отримання результатів на вимоги конкретного медичного закладу, а не на створення типового рішення подібної задачі для різноманітних МІС;

– більшість досліджень, пов'язаних з задачею планування проведення хірургічних операцій, припадає на 2000-2015 роки, після даного періоду кількість досліджень даної задачі зменшується.

Базуючись на цих висновках, можна зробити припущення, що використання отриманих у попередніх дослідженнях рішень задачі формування розкладу хірургічних операцій для автоматизації формування розкладів роботи операційних у інших медичних закладах неможливе без внесення суттєвих змін у такі рішення. Внесення таких змін є, за своєю суттю, науково-прикладною проблемою, яка для свого вирішення вимагає проведення теоретичних та прикладних досліджень. Тому проблему даного дослідження слід сформулювати як науково-прикладну проблему розробки формальних основ та прикладної реалізації функціональної задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» на вимоги конкретного медичного закладу.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є рішення функціональної задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» (далі – задачі «Розклад») згідно з вимогами Державної установи (ДУ) «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України».

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі дослідження:

– модифікувати модель формування розкладу проведення хірургічних операцій з урахуванням характерних особливостей установи;

– обґрунтувати вибір методу вирішення задачі «Розклад»;

– визначити особливості реалізації запропонованих моделі та методу вирішення задачі

«Розклад»;

– експериментально перевірити отримані результати на даних установи, згідно з вимогами якої здійснювалося дослідження.

4. Матеріали і методи дослідження

4.1. Стисла характеристика об'єкта автоматизації та досліджуваної функціональної задачі

Об'єктом дослідження є процес формування розкладу хірургічних операцій Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України» (далі – об'єкт автоматизації, ОА). Під розкладом проведення хірургічних операцій тут і далі будемо розуміти документ «Розклад проведення операцій», який використовується у ОА.

Особливість задачі «Розклад» для ОА полягає у тому, що розклад формується на основі поданої лікарем заявки на проведення блоку операцій. Блок операцій – це перелік суворо послідовних операцій, які повинні бути виконані однією операційною бригадою для одного пацієнта. Операційна бригада – члени медичного персоналу, які проводять операцію. Операційна бригада складається з хірурга, асистентів хірурга, анестезіолога.

У поданій лікарем заявці на проведення операції вказані: дані про пацієнта, діагноз, назва відділення установи, назви операцій у блоці, операційний стіл, тур операції, склад операційної бригади. У заявці також вказується блок операцій, але, оскільки, це є нерозривна послідовність декількох операцій, що виконується однією і тією ж операційною бригадою протягом одного туру операцій, то далі розглядаємо блок операцій як одну операцію.

Заявка на проведення операції рецензується завідуючим відділення анестезіології та інтенсивної терапії. На основі рецензованих заявок завідуючий відділенням анестезіології та інтенсивної терапії формує розклад проведення операцій, де враховує зайнятість операційного столу, членів операційної бригади тощо. Операції проводяться у робочі дні тижня, окрім понеділка. Кожне відділення подає заявки на проведення операції переважно у своїх операційних, пов'язаних зі специфікою функціонування відділення. Якщо пацієнт інфікований, то операція для нього проводиться останньою на день.

Підготовка та вирішення задачі «Розклад» складається з таких процесів: процеси, пов'язані з прийомом пацієнта; процеси формування заявок на операції, якщо вони показані за медичними вимогами; процеси безпосереднього формування розкладу операцій; процеси формування протоколів операцій. Користувачами цієї задачі є: медсестра приймального відділення, що вносить дані про пацієнта при прийомі; лікарі, які створюють заявки на проведення медичних операцій; завідуючий відділенням анестезіології та інтенсивної терапії, який на основі заявок на проведення медичних операцій формує розклад проведення операцій та рецензує його; хірурги та їх асистенти, які вносять дані в протокол проведення операції. Основними функціями цієї задачі є: облік даних про пацієнтів, облік відомостей про госпіталізацію пацієнтів, облік заявок на проведення операції, формування розкладу хірургічних операцій, облік проведених операцій.

Таким чином, задачу «Розклад», яку слід розробити згідно з вимогами ОА, запропоновано віднести до задач часового планування сумісної роботи множини елементів складної системи, якою є ОА. Ця задача характеризується наявністю визначеної сукупності робіт, які треба виконати за умови обмежень часових, кадрових, матеріальних ресурсів.

4.2. Визначення припущень дослідження

Визначені особливості ОА та досліджуваної функціональної задачі вимагають розглянути моделі та методи вирішення задачі «Розклад», в яких враховуються побажання лікарів щодо порядку проведення операцій. Як основу вирішення задачі пропонується використати рішення, запропоновані у [26] для випадку, коли обмежений персонал та обладнання в хірургічних службах вимагають ефективного використання цих ресурсів кількома групами хірургів.

Зокрема, у [26] передбачено врахування побажань лікарів щодо порядку проведення операції. Основною метою вирішення задачі «Розклад» за [26] є підвищення якості надаваних послуг пацієнтам відповідно до запланованого графіка робіт в операційних.

Оскільки ОА, що розглядається в даному дослідженні, має свої особливості бізнес-процесів, пов'язаних з задачею «Розклад», і відрізняється від ОА, розглянутому у [26], то пряме використання отриманих у [26] рішень функціональної задачі неможливе. Тому перед початком робіт з модифікації цих рішень згідно з вимогами ОА введемо необхідні припущення.

По-перше, для ліквідації деяких відмінностей в термінології від тієї, що використовується у [26], введемо описи термінів, які використовуються у діяльності ОА:

- операційний стіл – операційна;
- тур – проміжок часу, протягом якого виконується операція; визначає порядковий номер операції, що проводиться на певному операційному столі;
- тур, вказаний в заявці на проведення операції, визначає бажаний час проведення операції;
- операційна бригада – медичний персонал, що проводить операцію; складається з хірурга, від одного до трьох асистентів та анестезіолога.

По-друге, введемо припущення, що проміжок часу, у який відбувається реальне проведення операції, не виходить за межі туру.

По-третє, для ліквідації невизначеності, яка виникає внаслідок відмінності ОА від медичного закладу, який досліджується у [26], введемо такі припущення:

- кількість операцій, які повинні бути проведені, є відомою, і надзвичайні ситуації не розглядаються;
- є достатня кількість співробітників і всі необхідні ресурси для виконання операцій;
- тривалість операцій вважається однаковою;
- номером операційного стола вважається поверх, на якому він розташований;
- якщо на поверсі більше одного операційного столу, то додається маленька літера українського алфавіту, яка вказує на порядковий номер на поверсі, наприклад, «1а», «1б».

5. Результати вирішення функціональної задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» у медичному закладі

5.1. Результати модифікації моделі формування розкладу операцій

Як показано у підрозділі 4.1, ОА має власні особливості процесів, пов'язаних з задачею «Розклад», і відрізняється від медичного закладу, розглянутого у [26]. Тому було запропоновано модифікувати запропоновану у [26] модель. З цією метою спочатку було визначено множину значень, які можуть приймати змінні модифікованої моделі. Так, змінна x_{ijk} , яка описує факт призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур, буде приймати такі значення:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i\text{-та операція призначена на } j\text{-й} \\ \text{операційний стіл на } k\text{-й тур} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \forall i, \forall j, \forall k. \quad (1)$$

Змінна y_{jkr} , яка описує факт призначення r -го члена операційної бригади на j -й операційний стіл на k -й тур, буде приймати такі значення:

$$y_{jkr} = \begin{cases} 1, \text{ якщо на } j\text{-й операційний стіл на } k\text{-й тур призначений} \\ p\text{-й член операційної бригади,} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \forall j, \forall k, \forall r. \quad (2)$$

Змінна z_{jr} , яка описує факт призначення r -го члена операційної бригади на j -й

операційний стіл, буде приймати такі значення:

$$z_{jp} = \begin{cases} 1, \text{ якщо на } j\text{-й операційний стіл призначений} \\ p\text{-й член операційної бригади,} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad \forall j, \forall p. \quad (3)$$

Оскільки кожне відділення ОА проводить операції переважно на своїх операційних столах, необхідно ввести такі додаткові змінні:

$$D_{lj} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } l\text{-те відділення проводить} \\ \text{операції на } j\text{-му операційному столі, } \forall l, \forall j, \\ 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad (4)$$

де D_{jl} – призначення j -го операційного столу l -му відділенню;

$$d_{ijl} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i\text{-та операція проводиться на} \\ j\text{-му операційному столі } l\text{-им відділенням, } \forall l, \forall j, \forall i, \\ 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad (5)$$

де d_{ijl} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл l -му відділенню.

Оскільки операція може проводитись для пацієнта, який може бути інфікованим, необхідно ввести таку додаткову змінну h_{ij} :

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i\text{-та операція проводиться для інфікованого} \\ \text{пацієнта на } j\text{-му операційному столі} \\ 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad \forall i, \forall j, \quad (6)$$

де h_{ij} – призначення i -ї операції для інфікованого пацієнта на j -й операційний стіл.

Оскільки тривалість проведення i -ї операції не є детермінованою величиною, вважаємо, що умовно тривалість операцій однакова. Дана умова має вигляд:

$$t_i = 1, \quad \forall i, \quad (7)$$

де t_i – тривалість i -ї операції.

Особливістю ОА є можливість працювати на кожному операційному столі у певний тур не більше чотирьом різним хірургам. Це обмеження має такий вигляд:

$$1 \leq \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^S y_{jks} \leq 4, \quad \forall k, \quad (8)$$

де j – ідентифікатор операційного стола, $j=1, \dots, m$; s – ідентифікатор хірурга, $s=1, \dots, S$; y_{jks} – призначення на j -й операційний стіл на k -й тур; s -го хірурга.

Роль анестезіолога у операційній бригаді може виконувати лише анестезіолог. Відповідне обмеження має такий вигляд:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^A y_{jka} = 1, \quad \forall k, \quad (9)$$

де a – ідентифікатор анестезіолога, $a=1, \dots, A$; y_{jka} – призначення на j -й стіл на k -й тур a -го анестезіолога.

На певний тур члени операційних бригад будуть призначені на всі операційні столи, але на кожен стіл – не більше максимальної кількості членів операційної бригади. Цю вимогу слід описати такими обмеженнями:

$$\sum_{j=1}^m y_{jkr} \leq P, \quad \forall k, \forall r, \quad (10)$$

де y_{jkr} – призначення на j -й операційний стіл на k -й тур r -го члена операційної бригади $r=1, \dots, P$ (P – максимальна кількість членів операційної бригади);

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \leq M * y_{jkp}, \forall j, \forall k, \forall p, \quad (11)$$

де i – ідентифікатор операції, $i = 1, \dots, n$; x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; M – деяке достатньо велике число [28]; y_{jkp} – призначення на j -й операційний стіл на k -й тур p -го члена операційної бригади.

Розподіл усіх операцій на всіх операційних столах повинен припускати мінімальні відхилення від даних, вказаних у заявці. Відповідне обмеження буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ijk} + (k_j^- - k_j^+) \leq K, \forall j, \quad (12)$$

де k – номер тура, $k = 1, \dots, K$; x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; k_j^- – величина від'ємного відхилення від бажаного розподілу турів на j -му операційному столі; k_j^+ – величина додатного відхилення від бажаного розподілу турів на j -му операційному столі.

Від'ємні k_j^- і додатні k_j^+ відхилення слід звести до мінімуму. Відповідна цільова функція буде мати вигляд:

$$\sum_{j=1}^m (k_j^- + k_j^+) \rightarrow \min \quad (13)$$

де k_j^- – величина від'ємного відхилення від бажаного розподілу турів для j -го операційного столу; k_j^+ – величина додатного відхилення від бажаного розподілу турів для j -го операційного столу.

Необхідно також мінімізувати відхилення номеру туру проведення операції від бажаного для члена операційної бригади. Відповідна цільова функція буде мати вигляд:

$$\sum_{p=1}^P (r_p^+ + r_p^-) \rightarrow \min \quad , \quad (14)$$

де r_p^+ – величина додатного відхилення номеру туру проведення операції від бажаного для p -го члена операційної бригади; r_p^- – величина від'ємного відхилення номеру туру проведення операції від бажаного для p -го члена операційної бригади.

Проведення операцій кожним окремим відділенням може відбуватися лише на призначених для цього відділення операційних столах. Відповідне обмеження задачі буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^n d_{ijl} * D_{lj} = \sum_{i=1}^n d_{ijl}, \forall j, \forall l, \quad (15)$$

де d_{ijl} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл l -му відділенню; D_{lj} – призначення l -му відділенню j -го операційного столу.

Проведення операцій для інфікованого пацієнта протягом робочого дня може відбуватися не більше одного разу для кожного операційного столу. Відповідне обмеження буде мати вигляд

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ijk} * h_{ij} \leq 1, \forall j, \quad (16)$$

де x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; h_{ij} – призначення i -ї операції для інфікованого пацієнта на j -й операційний стіл.

Проведення операцій для інфікованого пацієнта бажано здійснювати лише в останньому турі для операційного столу. Відповідне обмеження буде мати вигляд:

$$k^H < k^L \quad , \quad (17)$$

де k^H – тур операції для неінфікованого пацієнта за умови $x_{ijk} * h_{ij} \neq 1$; x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; h_{ij} – призначення i -ї операції для інфікованого пацієнта на j -й операційний стіл; k^I – тур операції для інфікованого пацієнта за умови $x_{ijk} * h_{ij} = 1$.

Оскільки тривалість операцій фіксована, то необхідно ввести обмеження з метою перевірки недопустимості планування більшої кількості операцій для операційного столу в день, ніж це можливо. Це обмеження має вигляд

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq K, \forall j. \quad (18)$$

Необхідно також мінімізувати відхилення між бажаним та дійсним номерами туру проведення операції. Відповідна цільова функція має вигляд:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m (u_{kj}^- + u_{kj}^+) \rightarrow \min, \quad (19)$$

де u_{kj}^- – величина від'ємного відхилення від номеру бажаного туру на k -му турі j -го операційного столу; u_{kj}^+ – величина додатного відхилення від номеру бажаного туру на k -му турі j -го операційного столу.

Необхідно також мінімізувати відхилення дійсного номера j -го операційного столу проведення операції від бажаного для p -го члена операційної бригади. Відповідна цільова функція буде мати вигляд

$$\sum_{p=1}^P z_{jp} + p_j^- - p_j^+ \rightarrow \min, \quad (20)$$

де p_j^- – величина від'ємного відхилення дійсного номера j -го операційного столу від бажаного для p -го члена операційної бригади; p_j^+ – величина додатного відхилення дійсного номера j -го операційного столу від бажаного для p -го члена операційної бригади.

5.2. Обґрунтування вибору методу вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Оскільки модифікована математична модель (1)-(20) задачі «Розклад» є багатокритеріальною задачею цільового програмування, необхідно обрати метод для вирішення такої задачі.

Класичними методами вирішення багатокритеріальних задач цільового програмування є [28]:

- метод вагових коефіцієнтів;
- метод пріоритетів.

У методі вагових коефіцієнтів кожному з критеріїв призначається власний ваговий коефіцієнт, при цьому сума коефіцієнтів дорівнює одиниці. Недоліком даного методу є те, що вагові коефіцієнти підбираються суб'єктивно, в той час як невелике збільшення коефіцієнта істотно впливає на зміну значення цільової функції [28].

У методі пріоритетів n окремих цільових функцій сортуються к порядку важливості, потім по черзі вирішуються задачі з однією цільовою функцією, починаючи з задачі, що має найвищий пріоритет, і закінчуючи задачею, що має мінімальний пріоритет. У процесі послідовного вирішення задач рішення задачі з цільовою функцією, що має нижчий пріоритет, не може погіршити отримані раніше рішення задач, що мають вищий пріоритет [28].

Оскільки для модифікованої моделі задачі не існує чітко визначених вагових коефіцієнтів, було запропоновано обрати для вирішення задачі метод пріоритетів.

Цільові функції для модифікованої моделі (1)-(20) за зменшенням пріоритету впорядковані таким чином:

- цільова функція (13);
- цільова функція (14);
- цільова функція (19);
- цільова функція (20).

Обмеження даних цільових функцій за зменшенням пріоритету впорядковані таким чином:

- обмеження (15);
- обмеження (16);
- обмеження (17);
- обмеження (8);
- обмеження (9);
- обмеження (10)-(11);
- обмеження (12);
- обмеження (18).

Оскільки метод цільового програмування з використанням пріоритетів не є самостійним методом, необхідно його адаптувати з метою використання іншого методу для знаходження оптимальних значень для кожної цільової функції. Більшість із наведених обмежень у модифікованій моделі (1)-(20) має бінарний характер. Це дозволяє суттєво скоротити кількість переборів можливих варіантів для знаходження оптимального рішення за рахунок використання методу гілок та границь для вирішення задачі комівояжера. Такий метод може бути використаний для знаходження оптимальних рішень при обмеженнях, що мають бінарний характер.

Для того, щоб застосувати зазначений метод гілок та границь для вирішення задачі «Розклад», пропонується модифікувати його згідно з особливостями вказаної задачі. Зокрема, було запропоновано на етапі гілкування відсіювати варіанти, що не відповідають встановленому обмеженню. Результат даної адаптації представимо як послідовність таких кроків.

Крок 1. Вибрати обмеження з пріоритетом ω . Перевірити, чи відповідає i -та операція цьому обмеженню. Якщо відповідає, то перейти до обмеження з пріоритетом $\omega-1$ і повторити процедуру, якщо ні – відсіяти дану гілку. Якщо обмежень не залишилось, то перейти до кроку 2.

Крок 2. Для кожного варіанта β -го рівня ($\beta = 2,3,\dots$) підрахувати оцінку нижньої/верхньої границі. Якщо є варіанти для продовження гілкування варіанту рівня β , $\beta-1, \dots, 1$, то вибрати найкращий з них та перейти до кроку 1. Повторювати крок 2, доки не буде знайдено точного рішення на останньому рівні.

Крок 3. Для отриманого точного рішення підрахувати точне значення цільової функції. Якщо дане значення не гірше оцінок остаточних варіантів, то вважати, що знайдено оптимальне рішення. Якщо дане значення строго краще, то оптимальне рішення одне. Якщо значення функції останнього рівня не краще значень оцінок остаточних варіантів, то перейти до кроку 2.

5.3. Визначення особливостей реалізації моделі та методу вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Базуючись на отриманих результатах розробки моделі (1)-(20) та обґрунтуванні вибору методу вирішення задачі «Розклад», було розроблено алгоритм вирішення цієї функціональної задачі. Цей алгоритм запропоновано представити як послідовність таких кроків.

Крок 1. Завантаження даних заявок на проведення операцій.

Крок 2. Перевірка обмеження (15), яке гарантує, що операції проводяться лише на операційних столах певного відділення. Якщо умова не задовольняється, то перехід до кроку 3, якщо задовольняється – перехід до кроку 5.

Крок 3. Перевірка, чи є вільний стіл для даного відділення. Якщо ні, то перехід до кроку 11, якщо так, то перехід до кроку 4.

Крок 4. Зміна операційного столу для операції та перехід до кроку 5.

Крок 5. Перевірка обмеження (16), яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта буде проведена лише один раз на операційному столі. Якщо умова не виконується, то перехід до кроку 3, в іншому випадку – перехід до кроку 6.

Крок 6. Перевірка обмеження (17), яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта проводиться в останньому турі для операційного столу. Якщо ні, то перехід до кроку 7, якщо так, то перехід до кроку 8.

Крок 7. Призначення інфікованого пацієнта на останній тур на операційний стіл та коректування інших турів для даного операційного столу.

Крок 8. Перевірка обмежень (10)-(11), які гарантують, що на певний тур члени операційних бригад будуть призначені на всі операційні столи, у кількості не більше п'яти на кожний стіл. Якщо ні, то перехід до кроку 9, якщо так, то перехід до кроку 10.

Крок 9. Перепризначення членів операційної бригади на операційні столи.

Крок 10. Завершення формування розкладу. Збереження змін у базі даних. Завершення вирішення задачі.

Крок 11. Відміна операції. Якщо залишилися нерозглянуті заявки, то перехід до кроку 2. В іншому випадку – перехід до кроку 10.

Слід зазначити, що в наведеному алгоритмі розглядаються не всі елементи моделі (1)-(20). Це обумовлене тим, що на ОА автором даного дослідження вже реалізовано і впроваджено функціональну задачу «Облік проведення медичних операцій» інформаційної системи медичного закладу, в межах якої відбувалася перевірка окремих обмежень.

Під час розробки рішень з інформаційного забезпечення розроблюваної задачі було запропоновано взяти за основу розроблену логічну та фізичну схему даних задачі «Облік проведення медичних операцій». Для реалізації фізичної схеми даних було обґрунтовано вибір СУБД Microsoft SQL Server [29]. Логічну схему даних задачі наведено на рис. 1.

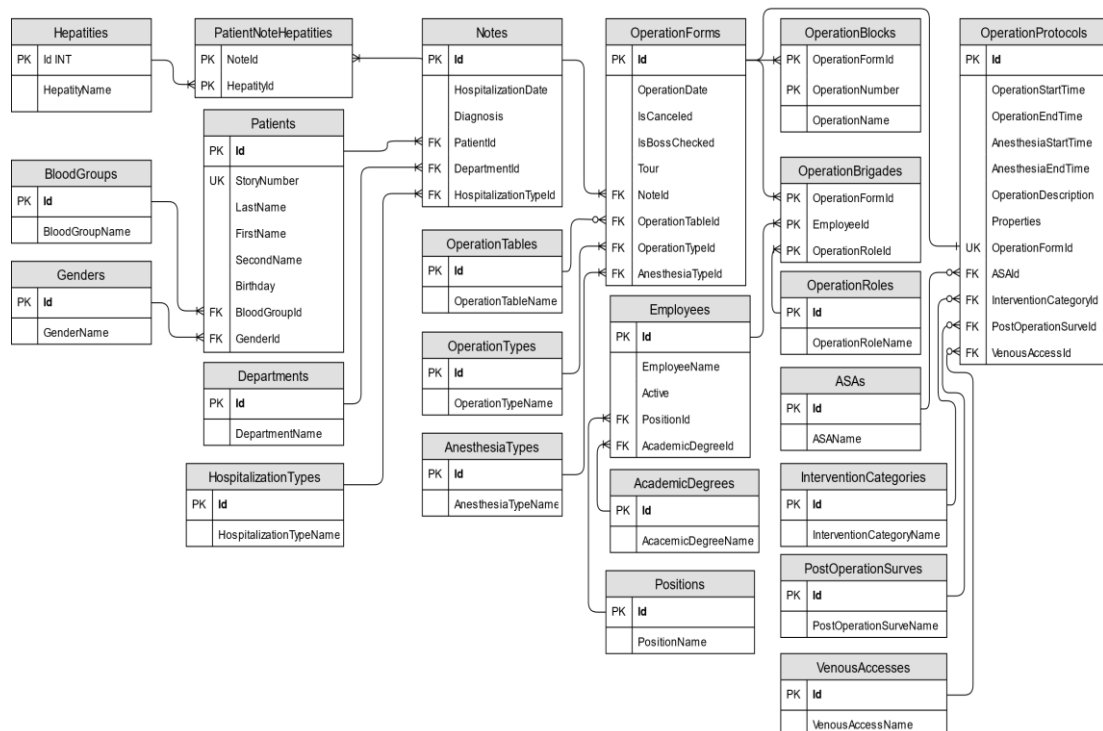


Рис. 1. Схема логічної структури бази даних задачі «Облік проведення медичних операцій»

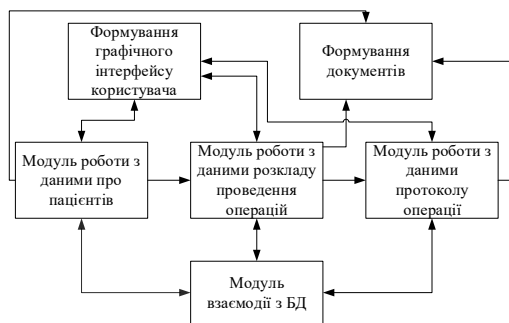


Рис. 2. Схема взаємодії програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій»

Схема взаємодії програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій» представлена на рис. 2, а її стислий опис наведено в табл. 1, з якої видно, що модуль роботи з даними розкладу проведення операцій надає засоби для підтримки ручного формування розкладу. Тому для реалізації автоматичного формування розкладу проведення хірургічних операцій було запропоновано не розробляти окреме програмне забезпечення функціональної задачі «Розклад», а доповнити новими функціями лише один цей модуль.

Таблиця 1

Опис програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій»

Модуль	Опис
Модуль роботи з даними про пацієнтів	Надає можливість створювати, зберігати і використовувати інформацію про пацієнтів
Модуль роботи з даними розкладу проведення операцій	Надає засоби для підтримки ручного формування розкладу
Модуль роботи з даними протоколу операцій	Надає можливість створювати, зберігати і використовувати інформацію про протоколи операцій
Формування графічного інтерфейсу користувача	Відповідає за формування екранних форм, заповнення їх даними для користувача та для зчитування даних, які вводить користувач
Формування документів	Відповідає за формування документів у форматі Microsoft Word
Модуль взаємодії з базою даних	Реалізує взаємодію програмних компонентів з базою даних задачі

5.4. Експериментальна перевірка отриманих результатів

Для проведення експериментальної перевірки роботи задачі використано реальні дані заявок на проведення операцій. Використання саме реальних даних дозволить зробити об'єктивну оцінку перспективності застосування модифікованої моделі та методу формування розкладу хірургічних операцій та розробленого і реалізованого алгоритму автоматичного вирішення задачі «Розклад» ОА. З метою захисту персональних даних прізвища пацієнтів та членів операційної бригади були змінені.

Головним вхідним документом для задачі «Розклад» є документ «Заявка на проведення операції». Функція створення заявок на проведення операцій реалізована у раніше розробленій і впровадженій на ОА функціональній задачі «Облік проведення медичних операцій». На основі даних з прикладів заявок сформовано рядки табл. 2.

У документі «Розклад проведення операцій» використовуються такі скорочення для назв відділень:

- відділення патології суглобів – «Пат. суглобів»;
- дитяче відділення – «Дитяче»;
- відділення вертебрології – «Вертеброл.»;
- відділення невідкладної травматології – «Невідкл. травм.».

Таблиця 2
Вхідні дані для експериментальної перевірки розробленої технології автоматизованого вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Дата	Відділення	Стіл	Тур	Прізвище Ініціали	Інфекція	Назва операції	Хірург	Асистент 1	Асистент 2	Асистент 3	Анестезіолог
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28.09.2021	Пат. суглобів	16	1	Гресь Р. В.	–	ТЕП правого кульшового суглоба ендоскопічною методикою «Arthrocar»	д.м.н. Дуб А.І.	Вахній І.В.	Лікар-курсант	–	Василик Ш.А.
28.09.2021	Пат. суглобів	16	3	Бондар Н.М.	–	Біопсія вогнища фіброзної дисплазії правої стопи ендоскопічною методикою	к.м.н. Харчук О.В.	–	–	–	Василик Ш.А.
28.09.2021	Дитяче	2а	1	Бурлака С.С.	–	Шкірна пластика і формування трьохпалої кисті	к.м.н. Магійко І.М.	Юзвенко А.М.	–	–	к.м.н. Духота М.І.
28.09.2021	Дитяче	2а	1	Шарій А.І.	–	1. Операція Страйера обох стоп 2. Операція Еванса обох стоп з кістковою пластикою	к.м.н. Березюк Г.В.	Ємченко Є.І.	Вірченко Х.А.	–	к.м.н. Мацько А.О.
28.09.2021	Дитяче	2б	1	Черський Р.А.	–	Монтаж ст. АЗФ на праве передпліччя, коригуюча резекція 1/3 променевої кістки	проф. Мацько С.О.	к.м.н. Зайчук А.В.	Лікар-курсант	–	к.м.н. Мацько А.О.

Кінець таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28.09.2021	Дитяче	26	3	Ханенко М.С.	–	Видалення кістково-хрящового екзостозу з проксимального відділу лівої стегнової кістки	проф. Ушкаленко О.Є.	Юзвенко А.В.	Лікар-курсант	–	к.м.н. Мацько А.О.
28.09.2021	Вертебрал.	3	1	Ляшенко В.Ф.	Вір. гепатит	Задній спондилодез L2-L3-L4-L5, ламінектомія L5-L5, фасетектомія L2-L3, L3-L4	к.м.н. Іжак О.Г.	Рябоштан Р.М.	к.м.н. Степанюк О.В.	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	3	2	Гапон В.Б.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т8 хребця кістковим цементом «Sunicem IG» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	Білоконь М.Ю.	–	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	3	Хижняк Д.О.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т6 хребця кістковим цементом «Sunicem IG» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	к.м.н. Сопронюк О.О.	Білоконь М.Ю.	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	4	Шиян О.В.	–	Пункційна вертебропластика тіл грудних хребців кістковим цементом «VFIX DH»	д.м.н. Вітренко А.Г.	Усенко М.Б.	–	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	4	1	Пашук	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска лівого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	Яроцький М.П.	–	–	Усик М.Г.
28.09.2021	Вертебрал.	4	2	Сенюга Л.А.	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска, ендоскопічне відновлення ПХЗ правого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	к.м.н. Пирож С.О.	Яроцький М.П.	–	Усик М.Г.
28.09.2021	Невідкл. травм.	5а	1	Братунь А.Й.	–	Ендопротезування лівого колінного суглоба	проф. Ушкаленко О.Є.	к.м.н. Черненко І.В.	Юркевич І.О.	–	Усик М.Г.
28.09.2021	Невідкл. травм.	5а	2	Мацора О.В.	–	Видалення пухлини правого ліктьового суглоба	проф. Мацько С.О.	Мінько Д.Б.	Римарук С.С.	–	Філь І.А.
28.09.2021	Паг. суглобів	5а	3	Васьків О.В.	–	Ендопротезування лівого кульшового суглоба ендопротезом «United»	проф. Мацько С.О.	Ілленко А.А.	Пирож О.С.	–	к.м.н. Залужний К.І.

Як можна побачити у табл. 2, у заявках на проведення операцій часто відбуваються випадки, коли вказується неефективний та навіть невірний розподіл операцій між ресурсами клінічного підрозділу ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України». Зокрема, було виявлено такі недоліки:

– для операції, призначеної відділенню «Пат. суглобів», було вказано операційний стіл «5а», на якому проводить операції відділення невідкладної травматології. Скоріше за все, це спричинено людським фактором і необхідно вказати стіл «1а», на якому проводить операції відділення патології суглобів. Цей приклад демонструє порушення умови (15);

– для операційного столу «1б» надійшли заявки на тури 1 і 3;

– для операційного столу «2а» надійшло дві заявки на проведення операції у тур 1;

– для операційного столу «2б» надійшли заявки на тур 1 і 3;

– для операційного столу «3» надійшла заявка для проведення операції для інфікованого пацієнта на тур 1, це порушує умову (17), оскільки є інші заявки на проведення операцій для цього операційного столу.

Часто такий неефективний розподіл призводить до суттєвих часових витрат на вирішення подібних проблем та конфліктів персоналу з відповідальним за формування розкладу проведення медичних операцій у ОА.

Результати експериментальної перевірки як вихідні дані, які було сформовано в результаті застосування розробленої реалізації задачі «Розклад», наведено у табл. 3.

6. Обговорення результатів дослідження

З усього розмаїття моделей формування розкладу хірургічних операцій було обрано варіант, який передбачав можливість ефективного використання часових ресурсів медичного закладу кількома групами хірургів. На основі цього варіанту було модифіковано модель формування розкладу хірургічних операцій ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України». Результати модифікації враховують особливості, які є характерними саме для даного ОА.

Розроблена модифікація моделі (1)-(20) дозволяє використати світовий досвід для автоматизації вирішення задачі «Розклад», не упускаючи з уваги і особливості, які є унікальними саме для цього ОА.

Розглянуті елементи реалізації вирішення задачі «Розклад» у ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України» дозволяє в автоматизованому режимі вирішувати цю задачу як оптимізаційну. Отримані рішення призводять до збільшення ефективності розподілу ресурсів клінічного підрозділу ОА та зменшують витрати часу на вирішення цієї задачі.

Головним недоліком отриманих результатів дослідження слід вважати умову (7), за якою тривалість операцій вважається під час вирішення задачі однаковою. Насправді тривалість навіть однакових за характером операцій для різних пацієнтів може розрізнятися між собою. Іншим недоліком слід визнати базування отриманих результатів модифікації моделі на неявному припущенні про доступність усіх ресурсів на момент запланованого проведення операції. Існує відмінна від нуля ймовірність того, що окремі ресурси (персонал, операційні столи тощо) можуть бути визнані недоступними для використання у проміжок часу між формуванням розкладу операцій та виконанням запланованої операції. Подібні події приводять до необхідності повторного вирішення усієї задачі «Розклад» замість внесення мінімально необхідних змін.

Виходячи із зазначених недоліків, пропонується розглядати такі подальші перспективи проведення досліджень із подальшого вдосконалення запропонованого вирішення задачі «Розклад» у медичному закладі:

Таблиця 3
 Вихідні дані, які було сформовано в результаті застосування розробленої реалізації задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Дата	Відділення	Стіл	Тур	Прізвище Ініціали	Інфек- ція	Назва операції	Хірург	Асистент 1	Асистент 2	Асистент 3	Анестезіолог
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28.09. 2021	Пат. суглобів	1а	1	Васьків О. В.	–	Ендопротезування лівого кульшового суглоба ендопро- тезом «United»	д.м.н. Щербак С.С.	Ілєнко А.А.	Пирож О.С.	–	к.м.н. Залужний К.І.
28.09. 2021	Пат. суглобів	16	1	Гресь Р. В.	–	ТЕП правого кульшового су- глоба ендопро- тезом «Askular»	д.м.н. Дуб А.І.	Вахній І.В.	Лікар- курсант	–	Василик Ш.А.
28.09. 2021	Пат. суглобів	16	2	Бондар Н.М.	–	Біопсія вогнища фіброзної дис- плазії правої сто- пи ендопротезом	к.м.н. Харчук О.В.	–	–	–	Василик Ш.А.
28.09. 2021	Дитяче	2а	1	Бурлака С.С.	–	Шкірна плас- тика і форму- вання трьохпа- лої кисті	к.м.н. Матійко І.М.	Юзвенко А.М.	–	–	к.м.н. Духота М.І.
28.09. 2021	Дитяче	2а	2	Шарій А.І.	–	1. Операція Страй- ера обох стоп 2. Операція Еванса обох стоп з кістко- вою пластикою	к.м.н. Березюк Г.В.	Ємченко Є.І.	Вірченко Х.А.	–	к.м.н. Духота М.І.

Кінень таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28.09.2021	Дитяче	26	3	Ханенко М.С.	–	Видалення кістково-хрящового екзостозу з проксимального відділу лівої стегнової кістки	проф. Мацько С.О.	Юзвенко А.В.	Лікар-курсант	–	к.м.н. Мацько А.О.
28.09.2021	Вертебрал.	3	2	Гапон В.Б.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т8 хребця кістковим цементом «Synicem 1G» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	Білоконь М.Ю.	–	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	3	Хижняк Д.О.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т6 хребця кістковим цементом «Synicem 1G» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	к.м.н. Сопронюк О.О.	Білоконь М.Ю.	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	4	Шиян О.В.	–	Пункційна вертебропластика тіл грудних хребців кістковим цементом «VFIX DH»	д.м.н. Вітренко А.Г.	Усенко М.Б.	–	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	3	1	Ляшенко В.Ф.	Вір. гепатит	Задній спондилодез L2-L3-L4-L5, ламінектомія L5-L5, фасетектомія L2-L3, L3-L4	к.м.н. Іжак О.Г.	Рябоштан Р.М.	к.м.н. Степанюк О.В.	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	4	1	Пащук Ю.О.	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска лівого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	Яроцький М.П.	–	–	Філь І.А.
28.09.2021	Вертебрал.	4	2	Сенюта Л.А.	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска, ендоскопічне відновлення ПХЗ правого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	к.м.н. Пирож С.О.	Яроцький М.П.	–	Філь І.А.
28.09.2021	Вертебрал.	5а	1	Братунь А.Й.	–	Ендопротезування лівого колінного суглоба	проф. Ушкаленко О.Є.	к.м.н. Черненко І.В.	Юркевич І.О.	–	Усик М.Г.
28.09.2021	Невідкл. травм.	5а	2	Мацора О.В.	–	Видалення пухлини правого ліктьового суглоба	проф. Ушкаленко О.Є.	Мінько Д.Б.	Римарук С.С.	–	Усик М.Г.

- проведення досліджень із вдосконалення модифікованої моделі (1)-(20) з врахуванням різної тривалості окремих видів операцій;
- розвиток отриманих результатів із врахуванням можливості відсутності або тимчасової недоступності окремих ресурсів, що виділяються для проведення операції.

7. Висновки

У ході даного дослідження було вирішено функціональну задачу «Формування розкладу хірургічних операцій» згідно з вимогами Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України» як ОА. Під час вирішення цієї задачі було здійснено:

- модифікацію моделі (1)-(20) формування розкладу операцій як задачі цільового програмування, яка враховує особливості ОА;
- обґрунтування вибору методу пріоритетів та адаптацію методу гілок та границь як методів, що використовуються для вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» у медичному закладі як задачі цільового програмування із бінарними обмеженнями;
- реалізацію алгоритмічного, інформаційного (рис. 1) та програмного (рис. 2, табл. 1) забезпечень зазначеної задачі;
- експериментальну перевірку отриманих результатів шляхом формування розкладу проведення хірургічних операцій ОА (табл. 3).

Перелік посилань:

1. Медичні інформаційні системи: огляд можливостей і приклади використання. URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/medical-information-systems.html> (дата звернення: 02.08.2024).
2. Medelement. URL: <https://medelement.com/> (дата звернення: 02.08.2024).
3. Переваги. *Doctor Eleks*. URL: <https://doctor.eleks.com/landings/perevagi> (дата звернення: 02.08.2024).
4. EMCImed. Медична інформаційна система. *EMCI*. URL: <https://emci.ua/products/emcimed/> (дата звернення: 02.08.2024).
5. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/> (дата звернення: 02.08.2024).
6. Luma Health. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/luma-health/> (дата звернення: 02.08.2024).
7. PracticeSuite. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-practice-management/practicesuite/> (дата звернення: 02.08.2024).
8. Breeze. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/patient-management/breeze/> (дата звернення: 02.08.2024).
9. Mend. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/mend/> (дата звернення: 02.08.2024).
10. Epic Systems. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/chr/epic/> (дата звернення: 02.08.2024).
11. RXNT Electronic Health Records. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/chr/rxnt/> (дата звернення: 02.08.2024).
12. Ozkarahan I. Allocation of Surgeries to Operating Rooms by Goal Programing. *Journal of Medical Systems*. 2000. Vol. 24, No. 6. P. 339-378.
13. Marcon E., Kharraja S., Simonnet G. The operating theatre planning by the follow-up of the risk of no realization. *International Journal of Production Economics*. 2003. Vol. 85, No. 1. P. 83-90.
14. Henderson D., Jacobson S.H., Johnson A.W. The Theory and Practice of Simulated Annealing. Handbook of Metaheuristics. International Series in Operations Research & Management Science/ editors: Glover F., Kochenberger G.A. Springer, Boston, MA. 2003. Vol. 57. P. 287–319. https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5_10
15. Dexter F., Traub R.D., Macario A. How to Release Allocated Operating Room Time to Increase Efficiency: Predicting Which Surgical Service Will Have the Most Underutilized Operating Room Time. *Anesthesia & Analgesia*. 2003. February. Vol. 96, No. 2. P. 507-512.
16. Hans E., Wullink G., Van Houdenhoven M., Kazemier G. Robust surgery loading. *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 185, No. 3. P. 1038-1050.
17. Rodney D. How to Schedule Elective Surgical Cases into Specific Operating Rooms to Maximize the Efficiency of Use of Operating Room Time. *Anesthesia & Analgesia*. 2012. Vol. 94. P. 933–942.

18. Guinet A., Chaabane S. Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 85, No. 1. P. 69-81.
19. Jebali A., Hadj-Alouane A.B., Ladet P. Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics*. 2006. Vol. 99, No. 1-2. P. 52-62.
20. Pham D.-N., Klinkert A.. Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 185, No. 3. P. 1011-1025.
21. Noyan O. S., Rizvan E. A Hierarchical Multiple Criteria Mathematical Programming Approach for Scheduling General Surgery Operations in Large Hospitals. *Journal of Medical Systems*. 2003. Vol. 27, No. 3. P. 259-270.
22. Testi A., Tanfani E. Tactical and operational decisions for operating room planning: Efficiency and welfare implications. *Health Care Management Science*. 2009. Vol. 12, No. 4. P. 363-373.
23. Cardoen B., Demeulemeester E., Belien J. Sequencing surgical cases in a daycare environment: An exact branch-and-price approach. *Computers & Operations Research*. 2009. Vol. 36, No. 9. P. 2660-2669.
24. Fei H., Chu C., Meskens N., Artiba A. Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach. *International Journal of Production Economics*. 2008. Vol. 112, No. 1. P. 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.030>
25. Fei H., Meskens N., Chu C. A Planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy. *Computers & Industrial Engineering*. 2010. Vol. 58, No. 2. P. 221-230.
26. Gür Ş., Tamer E., Hacı M. A. Surgical Operation Scheduling with Goal Programming and Constraint Programming: A Case Study. *Mathematics*. 2019. V.7, No. 3. P. 251.
27. Bosch R., Trick M. Integer Programming. Search Methodologies / editors: Burke E., Kendall G. Springer, Boston, MA, 2014. P. 67-92. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6940-7_3.
28. Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності: Навчальний посібник / Волонтир Л.О., Потапова Н.А., Ушкаленко І.М., Чіков І.А. Вінниця: ВНАУ, 2020. 404 с.
29. Цвіркун О. А. Аналіз підходів проектування сховищ даних з урахування необхідності зберігання історії зміни даних. «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»: матеріали XXIV Міжнар. молодіж. форуму. Харків: ХНУРЕ. 2020. Т. 6. С. 78-79.

Надійшла до редколегії 07.08.2024 р.

Цвіркун Олександр Анатолійович, здобувач вищої освіти, група САУМ-23-2, факультет інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту, ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: oleksandr.tsivirkun@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4380-7003>

С.Ф. ЧАЛИЙ, І.О. ЛЕЩИНСЬКА

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕНТАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОГО КОРИСТУВАЧА В ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ ПОЯСНЕНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ СИСТЕМІ

Предметом дослідження є процес побудови ментальних моделей рішення для користувача в інтелектуальних інформаційних системах. Метою є удосконалення принципів побудови ментальних моделей зовнішніх користувачів щодо рішень інтелектуальної інформаційної системи для формування пояснень у відповідності до потреб користувачів та обмежень щодо використання рішень. Адаптовано існуючі принципи побудови ментальних моделей для підтримки вирішення задач побудови пояснень в інтелектуальній системі. Запропоновано принцип доповнення вхідних даних, який полягає у використанні нерелевантних значень властивостей рішення для обмеження множини релевантних рішень, що спрощує вибір та застосування рішення користувачем.

1. Вступ

Інтелектуальні інформаційні системи використовують аналіз та обробку знань при формуванні рішень для користувачів. Такі системи можуть вчитися на минулому досвіді, використовуючи машинне навчання. Проте, внаслідок застосування машинного навчання, моделі та алгоритми формування рішень в таких системах зазвичай є непрозорими і тому незрозумілими для споживачів. Незрозумілість алгоритмів може приводити до зниження довіри користувачів до цих рішень [1]. Для вирішення проблеми зниження довіри використовуються пояснення. Метою побудови пояснень є представлення процесу прийняття рішення в інтелектуальній системі (ІС) у зрозумілому для користувача вигляді [2], [3]. Для того, щоб пояснення було зрозумілим користувачеві, необхідно узгодити його із відповідною ментальною моделлю. Ментальна модель є внутрішнім представленням зовнішньої реальності в свідомості людини. У когнітивній психології ментальні моделі розглядаються як внутрішні представлення, що містять декларативні та процедурні знання. Ці знання використовуються для розуміння конкретних явищ, процесів, подій, що відбуваються у реальності [4]. Зовнішні користувачі ІС використовують результати її роботи для вирішення практичних задач у відповідній предметній області. На відміну від них, внутрішні користувачі забезпечують підтримку роботи ІС. Відповідно, ментальні моделі зовнішніх користувачів мають відображати у свідомості людини представлення вхідних даних та рішення ІС, з якою оперує користувач. Зазначене свідчить про актуальність розробки принципів побудови ментальних моделей для подальшого формування пояснень на їх основі.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

Дослідження в сфері розробки зрозумілого штучного інтелекту орієнтовані на створення ІС, алгоритми роботи яких можуть бути інтерпретовані внутрішніми та зовнішніми користувачами [5]. Така інтерпретованість забезпечує прозорість процесу прийняття рішень [6]. Однак узагальнені пояснення не завжди враховують рівень знань та практичні потреби користувачів [7]. Тому ключовою умовою для побудови зрозумілих пояснень є їх індивідуалізація, яка формується відповідно до ментальної моделі користувача [8]. Така індивідуалізація базується на використанні контрфактів (альтернативних варіантів подій) [9] й визначенні ключових темпоральних [10], [11] та каузальних залежностей [12] щодо процесу формування результату в ІС. Альтернативи мають враховуватись в ментальних моделях переважно зовнішніх користувачів, а темпоральні та каузальні залежності – деталізувати альтернативні рішення на основі

контрафактів для внутрішніх користувачів. Комбінований підхід до побудови пояснень на основі контрафактів, а також темпоральних і казуальних залежностей запропоновано в [13]. Концептуальну ментальну модель для побудови пояснень на основі такого комбінованого підходу представлено в [14]. Вплив альтернативних варіантів вибору на мислення обґрунтовано в [15]. Побудова ментальних моделей з урахуванням альтернатив представлено в [16]. Принципи побудови ментальних моделей людини представлено в [17], [18]. Однак між розробленими підходами до побудови пояснень, принципами і підходами до формування ментальних моделей існує протиріччя. Вказане протиріччя пов'язано з тим, що принципи побудови ментальних моделей не враховують особливостей зовнішніх користувачів ІС, які є суттєвими для побудови пояснень. Такі особливості пов'язані із необхідністю відображення в ментальній моделі не лише відомих для користувача «позитивних» властивостей рішення, а й «негативних» характеристик рішення, які можуть мати роль обмежень при побудові та відборі можливих варіантів пояснення. Зазначене свідчить про актуальність задач, що вирішуються в дослідженні.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є удосконалення принципів побудови ментальних моделей зовнішніх користувачів щодо рішень інтелектуальної інформаційної системи з тим, щоб формувати пояснення у відповідності як до потреб цих користувачів, так і до обмежень щодо використання рішень у визначеній предметній області.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі задачі: удосконалення існуючих принципів побудови ментальних моделей на основі структуризації опису рішення ІС; розробка принципу побудови ментальних моделей користувача ІС, що враховує обмеження при використанні отриманого рішення.

4. Принципи побудови ментальної моделі користувача інтелектуальної системи

Ментальна модель зовнішнього користувача ІС представляє собою знання-орієнтоване представлення отриманого в цій системі рішення, яке дає можливість використати дане рішення на практиці у заданому контексті.

Структура та характеристики рішення ІС залежать від предметної області. Однак узагальнено кожне рішення R_i можна описати повним набором $v_{i,j}^k$ k – їх значень його властивостей $a_{i,j}$:

$$R_i = \{v_{i,j}^k : (\forall i \forall j) \exists a_{i,j}\}. \quad (1)$$

Сукупність значень властивостей альтернативних рішень для однієї й тієї ж задачі становить множину V , тобто дана множина об'єднує опис всіх доступних рішень: $V = \bigcup_i R_i$

. Такий підхід до опису рішення дає можливість порівнювати різні рішення на основі порівняння схожих та відмінних властивостей, а також виділити підмножину обмежень на використання рішення ІС. Відповідно, пояснення щодо рішення може містити не лише безпосередні причини цього рішення, а й обмеження на його використання.

Принципи побудови ментальних моделей людини [17], [18] в даному дослідженні удосконалено з урахуванням опису рішень (1) через перелік значень їхніх властивостей, що дає можливість використовувати обмеження з урахуванням недопустимих для користувача значень. Вказані принципи включають в себе:

- принцип відповідності структури ментальної моделі та рішення в ІС;
- принцип множинності ментальних моделей щодо рішення в ІС;
- принцип неповноти вхідних даних для прийняття рішення;

– принцип доповнення вхідних даних для уточнення рішення в ІС.

Згідно з принципом **відповідності структури** П1, ментальна модель та рішення, яке воно відображає, є структурно подібними. Кожна i – та ментальна модель рішення M_i має бути представлена підмножиною значень властивостей $v_{i,j}^k$:

$$\text{П1: } M_i = \{v_{i,j}^k\} : (\forall i) \exists v_j^k \equiv v_{i,j}^k. \quad (2)$$

В ментальній моделі процесу прийняття рішення в ІС додатково може бути враховано темпоральний аспект подібності, що забезпечує такі можливості побудови пояснення:

– можливість формування в ментальній моделі нових темпоральних відношень, які не були представлені в оригінальному процесі;

– можливість спрощення ментальної моделі процесу прийняття рішення з урахуванням неповноти інформації про останній, якщо ІС представлена як «сіра скринька».

Розглянемо приклади імплементації даного принципу в системі електронної комерції. Для навігації в такій системі зазвичай використовуються такі іконки, як «кошик», «пошук» тощо, що відповідають ментальним моделям користувачів щодо типових функцій електронної комерції. Тому навігація по сайту стає інтуїтивно зрозумілою. Аналогічно, іконки можуть використовуватися для візуалізації різних категорій товарів, що дозволяє користувачам оперативно орієнтуватись на сайті, особливо при використанні смартфонів з обмеженим простором екрану.

Іконки можуть також відображати процеси взаємодії системи електронної комерції із користувачем, тобто враховувати темпоральний аспект. Зокрема, іконки можуть інформувати користувача про додавання товару в кошик, у список бажань, забезпечуючи чіткий зворотній зв'язок без необхідності використання додаткового тексту.

Принцип **множинності ментальних моделей** П2 відображає можливість використання набору ментальних моделей в залежності від суттєвих для користувача підмножин вхідних даних. Згідно з даним принципом, набір ментальних моделей користувача для вирішення однієї задачі має такі базові характеристики:

– кожна ментальна модель відображає одну з можливостей щодо прийняття рішення;

– міркування щодо вибору або формування рішення відбувається в умовах невизначеності, з урахуванням альтернативних неповних наборів вхідних даних.

Остання властивість характеризує типову ситуацію щодо неповноти або неоднозначності інформації щодо властивостей цільового рішення, які відповідають потребам користувача.

З урахуванням (2), принцип П2 множинності ментальних моделей $M = \{M_i\}$ має таке формальне представлення:

$$\begin{aligned} \text{П2:1)} & (\forall i \neq l) M_i \cap M_l \neq \emptyset, \\ & 2) (\forall M_i \neq M_l) \exists m \neq k : v_{i,j}^m \in M_i \setminus M_l. \end{aligned} \quad (3)$$

Згідно з П2, кожна модель містить набір базових властивостей $v_{i,j}^k$, наявність яких є необхідною умовою для прийняття рішення, та додаткові властивості $v_{i,j}^m$, які становлять достатню умову для вибору або формування варіанта рішення.

Розглянемо приклад імплементації даного принципу для систем електронної комерції в ситуації пошуку нового смартфона в інтернет-магазині. При вирішенні даної задачі

користувач зазвичай має певний список вимог до характеристик смартфона (наприклад, щодо роздільної здатності камери, об'єму пам'яті, ціни тощо). Вебсторінки з рекомендованими моделями смартфонів забезпечують альтернативні можливості покупок, для яких визначаються підмножини схожих $M_i \cap M_l$ і підмножини різних властивостей $\{v_{i,j}^m\}$. Кожне з цих рекомендованих рішень є сумісним із наявною інформацією про вимоги покупця. Сукупність ментальних моделей користувача відіграє ключову роль у процесі вибору смартфона серед запропонованих рекомендаційною системою варіантів. Кожна ментальна модель відповідає окремій моделі смартфона і містить інформацію про його технічні характеристики та функціональні можливості. Завдяки здатності маніпулювати множиною ментальних моделей, покупець може порівнювати різні моделі смартфонів. Під час маніпулювання ментальними моделями формується набір можливих сценаріїв використання смартфона, які враховують не лише технічні характеристики пристрою, але й відгуки та досвід інших покупців. Процес порівняння ментальних моделей дозволяє користувачеві зробити обґрунтований висновок щодо вибору смартфона, який найкраще відповідає його потребам.

Кількість можливих варіантів ментальної моделі рішення зазвичай обмежена об'ємом доступної пам'яті. Дане обмеження приводить до спрощення ментальної моделі.

Особливості спрощення моделі обумовлені **принципом неповноти вхідних даних** ПЗ для прийняття рішення. Згідно з даним принципом, при міркуваннях в рамках ментальної моделі враховуються лише бажані для прийняття рішення факти і не враховуються можливі альтернативи:

- використовуються лише ті вхідні дані, твердження щодо яких є істинними для користувача в поточному контексті [18], тобто ця підмножина даних обумовлює істинність умов для прийняття рішення користувачем;

- виключаються з моделі ті значення вхідних даних, які користувач вважає хибними або нерелевантними, тобто виключаються дані, які не дають можливості користувачеві прийняти бажане рішення.

Слід зазначити, що такий підхід до обробки інформації в рамках ментальної моделі часто приводить до когнітивних упереджень, які можуть суттєво впливати на якість прийнятих рішень, обмежуючи здатність індивіда об'єктивно оцінювати всю доступну інформацію.

Ключові відмінності ментальної моделі користувача ІС, згідно з принципом неповноти вхідних даних, полягають у такому:

- ментальна модель є спрощеною у порівнянні з логічною моделлю внаслідок виключення несуттєвих з точки зору бажаного для користувача рішення, що приводить до міркувань в умовах невизначеності та може привести до помилкових рішень;

- ментальна модель не враховує контрфакти (тобто альтернативні факти, які можуть привести до альтернативних рішень), що звужує можливість обґрунтувати вибір «найкращого» рішення.

Позначимо множини «істинних» та нерелевантних даних як $V^+ = \{V_i^+\}$ та $V^- = \{V_i^-\}$ відповідно. Тоді, згідно з даним принципом, для кожної ментальної моделі враховуються тільки релевантні для користувача вхідні дані $v_{i,j}^k$:

$$\text{ПЗ: } M_i = V_i^+ \mid (\forall i) v_{i,j}^k \in V_i^+, v_{i,j}^k \notin V_i^- . \quad (4)$$

Альтернативні факти щодо значень даних не враховуються згідно з даним принципом,

тобто $v_{i,j}^k \notin V_i^-$.

Розглянемо приклад реалізації даного принципу в ситуації вибору рекомендованого товару в системі електронної комерції. Вхідна ситуація у даному прикладі має такі характеристики. Користувач шукає смартфон на сайті інтернет-магазину. Рекомендаційна підсистема пропонує йому певну модель згідно з результатами аналізу його попередніх покупок та переглядів. Користувач має певні вимоги щодо характеристик смартфона (зокрема, розмір екрану, об'єм пам'яті, ціна тощо). Ці вимоги формують його ментальну модель «бажаного смартфона». У процесі перегляду сторінки із рекомендованими смартфонами покупець бачить інформацію про ключові характеристики різних моделей смартфонів. Але відповідно до даного принципу, в ментальній моделі покупця будуть відображені не всі рекомендовані смартфони, а лише ті, характеристики яких відповідають його вимогам. Тобто ці властивості є «істинними» в рамках його ментальної моделі «бажаного смартфона». Так істинними можуть бути такі характеристики:

- смартфон має розмір екрану 6 дюймів;
- смартфон має пам'ять 6 ГБ ;
- ціна смартфона відповідає бюджету користувача.

Тоді смартфони з меншим екраном, меншим розміром пам'яті, більшою вартістю не будуть представлені в ментальній моделі користувача. Зокрема, такі твердження щодо властивостей смартфона не будуть істинними в рамках його ментальної моделі:

- у смартфоні відсутній найновіший процесор (тобто дана характеристика не є важливою і тому не включається в ментальну модель користувача);
- батарея смартфона має невелику ємність (дана інформація не розглядалася користувачем і тому не включена в ментальну модель).

У підсумку, даний принцип дає можливість користувачеві приділити увагу лише важливим характеристикам вхідного об'єкту і тому полегшує вибір рішення, що задовольняє його вимогам. Проте ментальна модель спрощує опис цільового об'єкту. Відповідно, не враховуються його потенційні негативні характеристики. Результатом такого підходу може бути прийняття неточного рішення на основі неповної вхідної інформації. Тому при побудові пояснення щодо рішення ІС доцільно додатково надавати також інформацію щодо потенційно негативних аспектів рішення.

Принцип доповнення вхідних даних П4 дає можливість користувачеві уточнити бажане рішення з урахуванням характеристик, які, згідно з попереднім принципом, не враховані в його ментальній моделі. Згідно з даним принципом, необхідно провести додаткову оцінку рішення з урахуванням обмежень, що представляють значення властивостей із множини V_i^- .

$$\text{П4: } M_i = V_i^+ \mid V_i^- . \quad (5)$$

У практичному плані при застосуванні даного принципу використовується, наприклад, аналіз відгуків інших користувачів ІС. Такі відгуки, як правило, містять додаткові значення змінних $v_{i,j}^k$, які користувач не розглядав або вважав несуттєвими.

Як приклад імплементації даного принципу розглянемо такі додаткові властивості, які обмежують вибір:

- процесор смартфона має обмеження щодо потужності;
- батарея смартфона має обмежену ємність.

Відповідно, ментальна модель має бути доповнена такими даними з тим, щоб користувач міг зробити раціональний вибір.

У підсумку, даний принцип орієнтований на зменшення невизначеності при прийнятті рішення користувачем ІС.

5. Експериментальна перевірка принципів побудови ментальних моделей користувача інтелектуальної системи

Експериментальна перевірка удосконалених принципів виконана на основі аналізу відгуків покупців товарів на платформі електронної комерції. Як вхідні дані було використано відгуки покупців на два топових смартфони, що мають схожу цільову аудиторію. Відгуки представлено в текстовій формі. Приклад відгуку як одного з елементів вхідних даних наведено на рисунку 1.

Телефон чудовий. Хотіла купити 15 Pro max, але цей здався набагато цікавішим(особливо для роботи з таблицями excel зі стилусом дуже зручно).
Єдина проблема його нагрівання. Коли заряджається то дуже гріється верхня панель і в деяких моментах під час використання. Чи може це бути браком, чи потрібно шукати в налаштуваннях?

Переваги: Зручний, гарний, якісь фото дуже хороша.

Недоліки: Нагрівання

Рис. 1. Приклад вхідних даних

В рамках експериментальної перевірки побудовано ментальні моделі відповідних смартфонів. Представлення ключових компонентів узагальненої ментальної моделі першого смартфона має такі складові:

- дисплей: висока якість екрану, яскравість та чіткість;
- камера: покращена якість фотографій та відео, зокрема, п'ятикратний зум;
- процесор: висока продуктивність та швидкодія;
- дизайн: легкий завдяки титановому корпусу, зручний у руці.
- екосистема Apple: сумісність з іншими пристроями Apple;
- зарядка: реверсивна зарядка та тривалий час автономної роботи.

Ключові компоненти ментальної моделі другого смартфона містять в собі:

- камера: висока якість фото і відео, особливо в нічному режимі;
- екран: яскравість, кольори, антибліковість і зручність великого екрану;
- швидкодія: висока продуктивність і швидкість роботи телефону;
- батарея: хороша автономність, телефон «тримає» 1-3 дні;
- дизайн і матеріали: приємний зовнішній вигляд, якісні матеріали корпусу;
- S Pen: стилус є зручним доповненням, особливо для рукописного вводу;
- додаткові функції: корисність нових можливостей на базі штучного інтелекту,

наприклад, покращення фото, розпізнавання об'єктів тощо.

В таблиці 1 наведено узагальнені ментальні моделі користувачів смартфонів згідно з принципами П1-П3 та з урахуванням кількості користувачів, що відзначили відповідні елементи цих моделей. Напівжирним шрифтом виділено спільні для обох моделей властивості смартфонів.

За результатами аналізу відгуків сформовано доповнення даних в ментальних моделях смартфонів (таблиця 2).

Доповнена ментальна модель першого смартфона містить такі властивості:

- нагрівання: телефон відчутно нагрівається при активному використанні;
- автономність: є користувачі, яким не вистачає заряду навіть на один день;
- ціна: вартість телефону є завищеною;
- вага і розмір: телефон важкуватий і великий, до цього потрібно звикнути;

Таблиця 1

Властивість	Ментальні моделі смартфонів для зовнішніх користувачів	
	Кількість користувачів	
	Модель 1	Модель 2
Камера	47	15
Екран/дисплей	39	12
Процесор/швидкодія	31	5
Дизайн і матеріали	25	8
Батарея	22	3
Екосистема		4
S Pen	18	
Штучний інтелект	12	

Таблиця 2

Доповнення характеристик ментальних моделей смартфонів згідно з принципом П4

Властивість	Кількість користувачів	
	Модель 1	Модель 2
Ціна	7	7
Нагрівання	9	
Автономність	8	
Вага і розмір	6	
Звук	4	
Проблеми з сигналом	3	
Відсутність аксесуарів		5
Проблеми з оновленнями		4
Матеріали корпусу		3

- звук: недостатня гучність і якість звуку динаміків;
 - проблеми з сигналом: погано «ловить» сигнал мережі в деяких умовах.
- Доповнена ментальна модель другого смартфона містить такі властивості:
- ціна: занадто висока ціна;
 - відсутність аксесуарів: у комплекті немає зарядного блоку та чохла;
 - проблеми з оновленнями: баги в IOS;
 - якість матеріалів корпусу: титановий корпус не є повністю титановим, лише рамка.

6. Обговорення результатів

Результати експериментальної перевірки принципів побудови ментальних моделей свідчать, що ментальні моделі користувачів містять інформацію про ключові структурні елементи цільового об'єкту. Тобто ментальна модель є спрощеним представленням цього об'єкту, що відповідає принципу П1. Користувачі мають схожі набори характеристик смартфонів та підмножини характеристик V_i^- , які відрізняють ці моделі, що відповідає принципу П2. При виборі цільового об'єкту користувачі використовують підмножини характеристик V_i^+ згідно з П3. Після використання виявляються недоліки V_i^- , які не розглядалися при прийнятті рішення, що відповідає принципу П4.

За результатами експериментальної перевірки наведених принципів можна зробити висновок, що пояснення для зовнішнього (кінцевого) користувача має бути двохаспектним та відображати позитивні і негативні аспекти цільового рішення. Тобто у позитивному аспекті пояснення надає інформацію щодо відповідності рішення вхідним вимогам та

побажанням користувача. В негативному аспекті пояснення задає контекстно-орієнтовані обмеження на використання отриманого рішення ІС.

Розглянутий підхід до може бути застосований також і до внутрішніх користувачів у тому випадку, якщо вони одночасно є і зовнішніми користувачами. Згідно з принципом П4, вхідні дані ІС можуть бути доповнені обмеженнями. Ці обмеження представляються параметрами, які, згідно з принципом П3, не були представлені у початковій ментальній моделі зовнішнього користувача. Дана адаптація процесу формування рішення в ІС дає можливість виключити ті рішення, які не будуть відповідати відомим типовим вимогам схожих користувачів.

Практична імплементація пояснення щодо негативних аспектів рішення потребує додаткового аналізу контексту його використання. Такий аналіз може бути виконано на основі автоматизованої обробки відгуків користувачів щодо можливостей та обмежень застосування цільового рішення. Тому подальший напрямок досліджень пов'язаний із розробкою підходів до імплементації принципу П4 на основі зворотного зв'язку від користувачів.

8. Висновки

В рамках даного дослідження адаптовано існуючі принципи побудови ментальних моделей людиною з урахуванням відмінностей побудови пояснень щодо рішення в ІС, представлений у вигляді «чорної скриньки». Адаптовані принципи враховують відповідність структури ментальної моделі та рішення, множинність ментальних моделей щодо рішення, неповноту вхідних даних для прийняття рішення. Удосконалені принципи відрізняються від існуючих представленням ментальної моделі рішення у вигляді переліку суттєвих для користувачів значень його властивостей, що мають схожі та відмінні елементи для різних варіантів рішення. Такий підхід дає можливість обґрунтувати рішення в рамках пояснення на основі порівняння кількості користувачів, які враховують різні властивості цього рішення. Запропоновано принцип доповнення вхідних даних, який полягає у використанні нерелевантних з точки зору користувача значень властивостей рішення для обмеження множини релевантних рішень. Використання даного принципу при побудові пояснення дає можливість врахувати негативні аспекти використання отриманого рішення і тим самим спростити користувачеві його вибір та застосування.

Перелік посилань:

1. Kordon, A. (2016). Intelligent Systems in IndustrySgurev. Innovative Issues in Intelligent Systems. Studies in Computational Intelligence, 623, 1-31. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27267-2_1
2. Nassih, R., & Berrado, A. (2020). State of the art of fairness, interpretability and explainability in machine learning: Case of prim. Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications, 1-5. doi: <https://doi.org/10.1145/3419604.3419776>
3. Frasca, M., La Torre, D., Pravettoni, G., Manzoni, G. M., & Caputo, A. (2024). Explainable and interpretable artificial intelligence in medicine: a systematic bibliometric review. Discovery Artificial Intelligence, 4, 15. doi: <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00114-7>
4. Rook, L. (2021). Mental models: A robust definition. The Learning Organization, 28(1), 6-17. doi: <https://doi.org/10.1108/TLO-09-2019-0136>
5. Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). IEEE Access, 6, 52138-52160. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>
6. Gunning i D. Aha, (2019). DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program. AI Magazine, 40(2), 44-58. doi: <https://doi.org/10.1609/aimag.v40i2.2850>
7. Miller T. (2019). Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. Artificial Intelligence, 267, 1-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.07.007>
8. Tversky, B. (2019). Mind in motion: How action shapes thought. Trends in Cognitive Sciences, 23(11), 935-944. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.08.007>
9. Чалий С. Ф., Лещинський В. О., Лещинська І. О. (2021). Контрфактуальна темпоральна модель причинно-наслідкових зв'язків для побудови пояснень в інтелектуальних системах/ Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Системний аналіз, управління та інформаційні технології = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser.: System analysis, control and information technology: зб. наук. пр.

Харків: НТУ «ХПІ», 2 (6), 41-46.

10. Chala O. (2018). Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*, 7, 3. 53–58.

11. Чала О. В. (2020) Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, 1(3), 14-18. doi: 10.20998/2079-0023.2020.01.03

12. Chalyi, S., & Leshchynskyi, V. (2020). Temporal representation of causality in the construction of explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 4(3), 113–117. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.16>

13. Чалий С. Ф., Лещинський В. О., Лещинська І. О. (2021). Контрфактуальна темпоральна модель причинно-наслідкових зв'язків для побудови пояснень в інтелектуальних системах, / *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Системний аналіз, управління та інформаційні технології = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser.: System analysis, control and information technology : зб. наук. пр. – Харків: НТУ "ХПІ", № 2 (6), С. 41-46.*

14. Чалий, С., & Лещинська, І. (2023). Концептуальна ментальна модель пояснення в системі штучного інтелекту. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, (1 (9), 70–75. doi: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.01>

15. Roese, N. J., & Epstude, K. (2017). The functional theory of counterfactual thinking: New evidence, new challenges, new insights. *Advances in experimental social psychology*, 56, 1-79). Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.aesp.2017.02.001>

16. Byrne, R. M. (2002). Mental models and counterfactual thoughts about what might have been. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(10), 426-431. doi: [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01974-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01974-5)

17. Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.

18. Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford University Press.

Надійшла до редколегії 25.04.2024 р.

Чалий Сергій Федорович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: serhii.chalyi@nure.ua; ORCID: 0000-0002-9982-9091

Лещинська Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ПІ ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: iryna.leshchynska@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>

С.Ф. ЧАЛИЙ, В.О. ЛЕЦИНСЬКИЙ

ТЕМПОРАЛЬНО-КАУЗАЛЬНІ МЕТОДИ ПОБУДОВИ ПОЯСНЕНЬ В СИСТЕМАХ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Предметом дослідження є процес побудови пояснень в системах штучного інтелекту. Запропоновано темпорально-каузальний підхід до побудови пояснень, який структурує представлення пояснень на локальному, проміжному та глобальному рівнях у темпоральному та каузальному аспектах. Розроблено узагальнений метод побудови пояснень з використанням темпоральних та каузальних залежностей, а також метод уточнення пояснень з використанням темпоральних залежностей. Крім того, запропоновано метод побудови пояснень на глобальному рівні на основі упорядкованості вхідних даних, що враховує структуру даних при побудові пояснення.

1. Вступ

Системи штучного інтелекту (ШІ) широко застосовуються в таких сферах людської діяльності, як охорона здоров'я, фінанси, менеджмент, освіта тощо. Вони забезпечують підтримку прийняття рішень, які мають суттєвий вплив на життя людей. Однак притаманна моделям ШІ непрозорість створює суттєві перешкоди для довіри користувачів до їх рішень та, відповідно, зменшує ефективність використання таких систем. З метою вирішення даної проблеми проводяться дослідження в галузі пояснюваного ШІ (Explainable AI) [1]. Пояснення мають забезпечити прозорість систем ШІ за рахунок безпосередньої інтерпретації процесу прийняття рішень в таких системах [2]. Побудова релевантних пояснень в системах ШІ потребує визначення залежностей, що привели до рішення системи [3]. Ці залежності базуються на відображенні процесу прийняття рішень в часі, тобто на послідовності дій та подій, що привели до конкретного результату у системі ШІ [4]. Упорядкованість цих дій у часі представляється темпоральними залежностями [5]. Каузальні залежності розкривають причинно-наслідкові зв'язки між вхідними даними, проміжними станами системи та рішенням системи, створюючи умови для розуміння механізмів, що лежать в основі функціонування моделі ШІ [6]. Тому поєднання темпорального та каузального опису процесу формування рішення дає можливість суттєво підвищити його інтерпретованість та, як наслідок, довіру до рішення з боку користувачів. Такі пояснення дають можливість простежити ланцюжок подій щодо формування рішення з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків та темпоральних зав'язків між ними. Це, в свою чергу, надає користувачам можливість оцінити рішення системи, виявити потенційні упередження та адаптувати рішення відповідно до своїх потреб. Таким чином, проблема побудови пояснень в системах ШІ з урахуванням темпорального та каузального аспектів є актуальною [7]. Вирішення цієї проблеми створює умови для побудови прозорого процесного опису механізму прийняття рішень в інтелектуальних системах.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

Дослідження, що проводяться в галузі пояснюваного ШІ (XAI) [8], направлені на розробку систем, алгоритми роботи яких можуть бути безпосередньо інтерпретовані, що забезпечує прозорість процесу прийняття рішень [9], [10]. Ключові підходи, що сьогодні застосовуються на практиці при побудові пояснень, направлені на виявлення основних факторів, які вплинули на отримане рішення. Такі фактори визначаються через побудову спрощеної локальної моделі процесу прийняття рішення [11] або через визначення внеску кожної ознаки у передбачення системи на основі підходу, прийнятого в теорії ігор [12]. Однак при побудові пояснень не завжди враховуються важливість відображення процесу

прийняття рішень одночасно у двох аспектах: у темпоральному – для визначення типових послідовностей дій із прийняття рішення та у каузальному – для визначення причин цих дій. Врахування обох аспектів створює умови для індивідуалізації пояснення та дає можливість зробити зрозумілим процес прийняття рішень в системі ІІІ. Темпоральні та каузальні аспекти пояснень розглядаються в низці досліджень. Зокрема, в [6], [13] представлено підходи до моделювання альтернативних причин рішення на основі темпоральної впорядкованості подій та формування каузальних залежностей з урахуванням такої впорядкованості. Темпоральна впорядкованість процесу прийняття рішення може бути представлена у вигляді множини темпоральних правил [14]–[16], з яких можна сформулювати можливі альтернативи цього процесу. Використання каузальних залежностей для побудови пояснень розглянуто в роботах [17], [18]. В [19] показано, що люди виявляють закономірності у процесах та явищах, розглядаючи їх альтернативні варіанти.

Результати зазначених досліджень обумовлюють можливість побудови каузальних пояснень для розуміння людьми процесу прийняття рішення та результуючого рішення системи ІІІ. Однак побудові підходу, який би формував пояснення з урахуванням одночасно каузального та темпорального аспектів, не приділялось достатньо уваги, що свідчить про актуальність теми даного дослідження.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розробка темпорально-каузального підходу до побудови пояснень в системах ІІІ з тим, щоб представити пояснення як щодо процесу прийняття рішення, так і щодо отриманого рішення та зробити їх прозорими та зрозумілими для вирішення практичних завдань користувачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі: структуризація рівнів представлення пояснень з урахуванням темпорального й каузального аспектів; розробка узагальненого методу побудови пояснень з використанням темпоральних та каузальних залежностей; розробка методу уточнення пояснень з використанням темпоральних залежностей.

4. Структуризація рівнів представлення пояснень з урахуванням темпорального й каузального аспектів

Представлення пояснення як щодо процесу, так і щодо результуючого рішення системи ІІІ пов'язано із потребами внутрішніх та зовнішніх користувачів інтелектуальної системи. Внутрішні та зовнішні користувачі мають різні вимоги щодо прозорості процесу прийняття рішень в системі ІІІ. Ці відмінності обумовлені специфікою завдань, які вирішують користувачі, а також їхнім рівнем технічної експертизи та знаннями предметної області. Зовнішні користувачі, як правило, використовують рішення, сформовані системами ІІІ. Вони використовують ці результати для підтримки своєї діяльності. Зовнішні користувачі висувають такі вимоги до рішень систем ІІІ, які мають суттєвий вплив на характеристики пояснень:

- зрозумілість та інтерпретованість результатів: рішення інтелектуальної системи мають бути представлені у формі, доступній для розуміння користувачем, з урахуванням його рівня знань та контексту використання;

- довіра до системи: користувачі мають бути впевнені у надійності та обґрунтованості рішень інтелектуальної системи, що передбачає надання пояснень щодо причин та факторів, які вплинули на формування поточного результату;

- можливість уточнення результату: зовнішні користувачі повинні мати можливість коригувати вхідні дані або параметри системи з тим, щоб отримати рішення, що відповідають їх потребам та перевагам.

Вимоги внутрішніх користувачів систем ІІІ, які розробляють та супроводжують такі

системи, містять в собі:

– прозорість та інтерпретованість моделей прийняття рішення: внутрішні користувачі потребують пояснень щодо внутрішньої логіки прийняття рішень системи ШІ з тим, щоб перевірити її відповідність тим задачам, що вирішує система;

– можливість налагодження та удосконалення: пояснення мають створювати умови для виявлення та усунення помилок і вузьких місць процесу прийняття рішення, а також для підвищення ефективності моделі шляхом налаштування її параметрів;

забезпечення відповідності регуляторним вимогам: внутрішні користувачі мають впевнитись, що система ШІ формує рішення у відповідності до етичних норм, а також вимог до безпеки та конфіденційності даних.

Таким чином, пояснення для користувачів мають бути двох типів:

– процесні пояснення, що розкривають послідовність кроків із формування рішення, а також залежності між цими кроками;

– реконструктивні пояснення, що відтворюють ключові причини рішення системи ШІ, тобто надають користувачеві інформацію про те, як конкретні вхідні дані або фактори вплинули на фінальний результат.

Процесні пояснення орієнтовані в першу чергу на внутрішніх користувачів і тому мають надавати детальнішу інформацію щодо процесу прийняття рішень. Це дає можливість виявляти «вузькі місця» та можливі напрямки вдосконалення роботи системи.

Реконструктивні пояснення призначені переважно для зовнішніх користувачів. Тому вони можуть використовувати спрощені моделі, що визначають залежність результату від найважливіших вхідних змінних. Такі пояснення мають сприяти підвищенню довіри користувачів до системи ШІ.

Ключові властивості процесних та реконструктивних пояснень представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Представлення пояснень у темпоральному та каузальному аспектах

Тип пояснень	Властивості
Процесні	– залежності між діями процесу прийняття рішення; – залежності між діями процесу прийняття рішення та отриманим результатом; – пояснення представляються у темпоральному та каузальному аспекті.
Реконструктивні	– каузальні залежності встановлюються між вхідними даними та отриманим результатом; – темпоральний аспект може бути врахований як упорядкованість вхідних даних.

Узагальнені результати структуризації пояснень у темпоральному та каузальному аспектах наведено в таблиці 2.

Структуризація пояснень у темпоральному та каузальному аспектах з урахуванням відмінностей процесних та реконструктивних типів пояснень дає можливість врахувати різницю у вимогах внутрішніх та зовнішніх користувачів.

Система ШІ може бути представлена у вигляді «білої», «сірої» або «чорної» скриньки. У випадку представлення системи як «біла скринька» підсистема пояснень розробляється разом із системою ШІ або ж використовуються безпосередньо інтерпретовані алгоритми (правила, дерева рішень). Задача побудови пояснень в даному випадку зводиться до представлення користувачеві відомих залежностей, що були

Таблиця 2

Представлення пояснень у темпоральному та каузальному аспектах

Рівень представлення	Властивості
Локальний	– темпоральні залежності між парами дій або станів процесу прийняття рішення; – каузальні обмеження щодо послідовності пар дій у процесі прийняття рішення.
Проміжний	– темпоральні залежності, що відображають вплив дій процесу прийняття рішення на результат роботи системи штучного інтелекту; – каузальні залежності, що визначають зв'язок між діями процесу а також рішенням системи.
Глобальний	– каузальні залежності, що відображають ключові вхідні дані, значення яких представлені як причина рішення системи штучного інтелекту; – каузальні залежності, що відображають вплив структури вхідних даних на рішення системи.

використані у процесі отримання рішення. Коли система ШІ представлена як «сіра» або «чорна скринька», підсистема пояснень має доповнювати існуючу систему та формувати пояснення в умовах невизначеності внаслідок обмеженого або відсутнього доступу до інформації щодо проміжних станів цієї системи. Така ситуація може виникати внаслідок використання юридичних механізмів захисту інтелектуальної власності (система як «чорна скринька») або застосування непрозорих моделей машинного навчання (система представляється переважно як «сіра скринька»). В першому випадку пояснення відображають статичні характеристики процесу прийняття рішень, оскільки інформація про послідовність дій не розглядається. У другому випадку інформація про процес прийняття рішення є частково доступною, що дозволяє будувати пояснення, які відображають темпоральний та каузальний аспект даного процесу.

Таким чином, задача побудови пояснень підрозділяється на такі підзадачі:

- побудова пояснень для внутрішніх користувачів у формі правил, що відображають упорядкованість дій процесу прийняття рішення в системі ШІ;
- побудова пояснень для внутрішніх користувачів у формі каузальних залежностей, що визначають причини дій процесу прийняття рішення;
- побудова пояснень для зовнішніх користувачів у вигляді каузальних залежностей, що відображають вхідні дані як причини отриманого рішення.

5. Темпорально-каузальний метод побудови пояснень

5.1. Основні етапи методу

Метод побудови пояснень, який формує пояснення на розглянутих рівнях представлення, містить такі етапи.

Етап 1. Побудова темпоральних залежностей та каузальних обмежень щодо пар дій процесу прийняття рішення на локальному рівні деталізації пояснень.

Крок 1.1. Побудова темпоральних залежностей для упорядкованих у часі пар дій або станів $s_{i,j}$ та $s_{i,j+n}$ j -го процесу прийняття рішення. Результатом кроку є множина $\{\langle s_{i,j}, s_{i,j+n} \rangle\}$, для якої виконується умова $s_{i,j} \rightarrow s_{i,j+n}$, тобто стан $s_{i,j}$ був досягнутий у часі раніше, ніж стан $s_{i,j+n}$.

Крок 1.2. Формування обмежень $R(s_{i,j}, s_{i,j+n}) \equiv R_{j+n}^j$ на послідовність дій.

Пара станів є обмеженням за умови:

$$R_{j+n}^j = \text{true iff } (\forall i) s_{i,j} \rightarrow s_{i,j+n}. \quad (1)$$

Згідно з (1), обмеження R_{j+n}^j має виконуватись для всіх відомих реалізацій процесу прийняття рішення. Тоді обмеження R_{j+n}^j в рамках пояснення визначає стан $s_{i,j}$ причиною стану $s_{i,j+n}$ (або відповідної дії, що привела до даного стану).

Відповідно, дане обмеження в рамках пояснення може розглядатись як каузальна залежність C_{j+n}^j :

$$R_{j+n}^j \equiv C_{j+n}^j. \quad (2)$$

Тобто, згідно з таблицею 2, на даному етапі формуються темпоральні та каузальні залежності.

Етап 2. Побудова темпоральних правил та каузальних залежностей щодо впливу дій процесу прийняття рішення на отриманий результат.

Крок 2.1. Побудова темпоральних залежностей $\langle s_{i,j}, y_i \rangle$ між станом $s_{i,j}$ (або відповідною дією) та поточним рішенням системи y_i .

Крок 2.2. Формування темпоральних правил F_j шляхом узагальнення темпоральних залежностей $\langle s_{i,j}, y_i \rangle$ та темпоральних правил $X_{j,j+n}$ шляхом узагальнення темпоральних залежностей $\langle s_{i,j}, s_{i,j+n} \rangle$.

Крок 2.3. Розрахунок достатніх умов щодо правил F_j та $X_{j,j+n}$ для побудови каузальних залежностей.

Достатня умова може бути розрахована з використанням показників ймовірності або можливості застосування правила. Показник ймовірності доцільно використовувати в тому випадку, якщо багаторазове формування рішення виконувалось в однакових умовах, тобто не використовувалось додаткове налагодження відповідного процесу. В іншому випадку для розрахунків використовується показник можливості, оскільки він дає можливість оперувати довільними числовими оцінками змінних. Показники можливості розраховуються згідно з теорією можливості. Для обчислення можливості каузальної залежності на даному етапі може також бути використані дані щодо ваг антецедента та консеквента правила. Такий підхід доцільно використовувати у випадку, якщо ці ваги враховують специфіку предметної області. Наприклад, відображають значимість складових правила для отриманого в системі ШІ результату.

Крок 2.4. Розрахунок необхідних умов щодо правил F_j та $X_{j,j+n}$ для побудови каузальних залежностей.

Необхідні умови визначаються у випадку використання можливісної оцінки на попередньому кроці. Тоді на даному кроці розраховується показник необхідності. Обчислення даного показника виконується згідно з положеннями теорії можливості.

Крок 2.5. Формування каузальних залежностей.

На даному кроці темпоральні правила з максимальним значенням можливості за

умови перевищення порогового значення необхідності розглядаються як каузальні залежності.

Етап 3. Побудова каузальних залежностей щодо впливу вхідних змінних на рішення системи ШІ.

Крок 3.1. Розрахунок показника можливості для всіх значень всіх вхідних змінних.

Крок 3.2. Розрахунок показника необхідності для всіх значень всіх вхідних змінних.

Крок 3.3. Відбір змінних за найбільшим значенням можливості при перевищенні порогового значення необхідності.

Крок 3.4. Формування каузальних залежностей для відібраних вхідних змінних.

Результатом методу є темпоральні та каузальні залежності для внутрішніх користувачів, які пояснюють вплив окремих дій на інші дії або послідовностей дій на рішення системи. Результатом також є каузальні залежності, які пояснюють вплив значень і упорядкованості вхідних даних на рішення системи ШІ для зовнішніх користувачів.

5.2. Приклад застосування методу

Розглянемо приклад застосування даного методу для пояснення зовнішньому користувачеві щодо рекомендованого в системі електронної комерції ноутбуку з використанням можливісних оцінок. В даному випадку використовується інформація про ключові компоненти ноутбуку (процесор, пам'ять тощо), щоб пояснити, чому було рекомендовано саме цей комп'ютер. На кроці 3.1 розраховується показник можливості для всіх моделей процесора, пам'яті тощо, які використовувались у ноутбуках даної цінової категорії. Показник можливості розраховується, зокрема, на основі відсотка ноутбуків із поточною моделлю процесора. Показник ймовірності в даному випадку використовувати недоцільно, оскільки протягом періоду, що аналізується, партії комп'ютерів з різними моделями процесів могли надходити в довільному порядку. Кількість комплектуючих певного типу також могла бути обмежена.

Після розрахунку показника необхідності за вхідними змінними (модель процесора, об'єм пам'яті тощо) відбираються значення змінних з максимальною оцінкою можливості за умови порогового значення необхідності (крок 3.3). Ці значення сортуються за показником можливості. Змінна з найбільшим значенням показника подається в поясненні як ключова причина рекомендації ноутбука в системі електронної комерції. Тобто якщо конкретна модель процесора *i7-1165* має найбільше значення показника можливості, то ця модель розглядатиметься як основна причина рекомендації ноутбука з таким процесором.

6. Метод побудови пояснень на основі упорядкованості вхідних даних

6.1. Основні етапи методу

Даний метод побудови пояснень являє собою імплементацію етапу 3 описаного вище темпорально-каузального методу побудови пояснень з використанням заданих ваг антецедента та консеквента правил. Його відмінність полягає в тому, що він використовує темпоральні залежності для опису вхідних даних, тобто комбінує темпоральний і каузальні аспекти на рівні вхідних даних. Вхідними даними методу є ваги станів $s_{i,j}$ за умови, що ці ваги відображають особливості предметної області, що є суттєвими для побудови пояснень.

Метод містить такі ключові етапи.

Етап 1. Побудова темпоральних залежностей, що відображають упорядкованість вхідних даних. В даному випадку враховується той факт, що темпоральні правила не використовують абсолютне значення часу, а відображають відносну упорядкованість подій або станів у часі. Тому вони можуть бути використані для відображення відносної упорядкованості вхідних даних.

Етап 2. Розрахунок ваг отриманих залежностей на основі ваг станів та формування зважених каузальних залежностей.

На даному етапі підсумовуються ваги станів.

Етап 3. Формування можливих підмножин зважених каузальних залежностей, що описують вхідну послідовність даних.

Етап 4. Розрахунок ваг отриманих підмножин як нормалізованої суми ваг правил.

Етап 5. Упорядкування підмножин за вагами.

Етап 6. Формування набору пояснень із підмножин правил.

6.2. Експериментальна перевірка методу

Експериментальну перевірку виконано для пояснення результатів класифікації спаму з використанням нейромережі. Остання, з точки зору кінцевого користувача, являє собою «чорну скриньку». Як вхідні дані були використані спамові повідомлення із зваженими словами. Ваги слів у вхідному повідомленні відображають їх відповідність спаму. Тобто позитивна вага слова свідчить, що це слово може бути складовою спаму. Проте порівняльний аналіз ваг слів потребує значних витрат часу кваліфікованого спеціаліста на формування однозначного пояснення.

Результати побудови набору пояснень на основі каузальних залежностей для вхідного повідомлення «Free camera phones with line rental from 4/month. 1.2 price txt bundle deals available» представлено на рисунку 1.

```
i1: [(0, 1), (0, 16), (0, 18), (1, 16), (1, 18), (16, 18)] | w=2.1895959619532865
i2: [(0, 1), (0, 16), (1, 16), (1, 18), (16, 18)] | w=2.032710511557881
i3: [(0, 1), (0, 16), (1, 16), (16, 18)] | w=1.858851006878812
i4: [(0, 16), (1, 16), (16, 18)] | w=1.5830576336513666
i5: [(0, 16), (1, 16)] | w=1.1289856862277166
i6: [(1, 16)] | w=0.5729798702556901
```

index	text
0	FREE
1	camera
16	txt
18	deals

Рис. 1. Набори правил i1-i6, що пояснюють рішення системи штучного інтелекту

На даному рисунку представлено правила у форматі пар індексів слів у вхідному повідомленні, а також наведено сумарну вагу правил для кожного з 6 варіантів пояснення. Відповідність індексів і слів представлено під списком правил. Пояснення i1 містить повний набір правил і всі ключові слова з індексами 0,1,16,18. Пояснення i6 містить лише одно правило (1,16) і складається з двох слів, для яких вказано порядок у вхідному повідомленні: Free ... deals. Відповідно, вага пояснень відрізняється в залежності від упорядкованої кількості слів-маркерів.

Порівняння пояснень з результатами фільтрації спаму на тестовому наборі показало відповідність пояснення і рішення системи.

7. Обговорення результатів дослідження

Розроблені методи побудови пояснень дають можливість сформулювати пояснення на різних рівнях представлення в залежності від доступності даних щодо процесу роботи системи ІІІ та потреб користувача. Розроблені методи мають дві ключові відмінності. По-перше, враховується темпоральний аспект для процесу прийняття рішення, що дає можливість виявити залежності між окремими діями, які не відповідають обмеженням процесу прийняття рішень. Урахування темпорального аспекту також дає можливість врахувати вплив окремих

дій на результат роботи системи ШІ. По-друге, враховується упорядкованість вхідних даних при побудові пояснення, що дає можливість представити упорядковану підмножину вхідних даних як причину рішення системи. По-третє, використання підмножини правил дає можливість відбрати найточніші або найпростіші пояснення.

Обмеження на використання розроблених методів виникають внаслідок необхідності отримати записи виконання великої кількості імплементацій процесу прийняття рішення для розрахунку необхідних та достатніх умов істинності каузальних правил.

8. Висновки

Виконано структурування представлення пояснення у темпоральному на каузальному аспектах на локальному, проміжному та глобальному рівнях. На локальному рівні пояснення представляються переважно у вигляді темпоральних залежностей між окремими діями процесу прийняття рішення. На проміжному рівні пояснення представляються у вигляді як темпоральних, так і каузальних залежностей, що характеризують процес прийняття рішення. На глобальному рівні пояснення представляються у вигляді каузальних залежностей, що визначають причини отриманого рішення.

Запропоновано темпорально-каузальний метод побудови пояснень, що містить етапи побудови темпоральних залежностей та каузальних обмежень щодо пар дій процесу прийняття рішення на локальному рівні деталізації пояснень, побудови темпоральних правил та каузальних залежностей щодо впливу дій процесу прийняття рішення на отриманий результат на проміжному рівні деталізації пояснень, побудови каузальних залежностей щодо впливу вхідних змінних на отриманий результат на глобальному рівні представлення пояснень.

Метод дає можливість на основі темпоральних залежностей сформувати пояснення у формі каузальних залежностей, що визначають дії процесу як причини отриманого рішення для внутрішніх користувачів та значення вхідних змінних як причини рішення для зовнішніх користувачів, що створює умови для поліпшення процесу прийняття рішення та відповідного підвищення рівня довіри користувачів.

Розроблено метод побудови пояснень на глобальному рівні представлення на основі упорядкованості вхідних даних. Метод враховує темпоральний та каузальний аспекти пояснення та містить етапи побудови темпоральних правил, визначення ваг правил на основі ваг антецедента та консеквента, побудови каузальних правил, побудови пояснення як сукупності зважених каузальних правил. Метод дає можливість пояснити причини отриманого в інтелектуальній системі рішення на основі інформації як про значення, так і про структуру вхідних даних, що створює умови для спрощення розуміння процесу прийняття рішення зовнішнім користувачем.

Перелік посилань:

1. Bansal, G., Wu, T., Zhou, J., Fok, R., Nushi, B., Kamar, E., Ribeiro, M. T., & Weld, D. S. (2021). Does the whole exceed its parts? The effect of AI explanations on complementary team performance. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1145/3411764.3445717>
2. Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138-52160. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>
3. Miller, T. (2019). Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. *Artificial Intelligence*, 267, 1-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.07.007>
3. Byrne, R. M. (2019). Counterfactuals in explainable artificial intelligence (XAI): Evidence from human reasoning. *Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-19)*, 6276-6282. doi: <https://doi.org/10.24963/ijcai.2019/876>
4. Chalyi, S., Leshchynskyi, V., & Leshchynska, I. (2019). Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 34-

40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00952>

5. Chala O. (2018) Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*, 7, 3, 53 – 58.

6. Chalyi, S., & Leshchynskiy, V. (2020). Temporal representation of causality in the construction of explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 4(3), 113-117. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.16>

7. Hoffman, R. R., Klein, G., & Miller, J. M. (2011). Naturalistic investigations and models of reasoning about complex indeterminate causation. *Information Knowledge Systems Management*, 10(1-4), 397-425. doi: <https://doi.org/10.3233/IKS-2012-0203>

8. D. Gunning i D. Aha, (2019). DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program. *AI Magazine*, 40(2), 44-58. doi: <https://doi.org/10.1609/aimag.v40i2.2850>

9. Hanif, A. et al. (2023). A Comprehensive Survey of Explainable Artificial Intelligence (XAI) Methods: Exploring Transparency and Interpretability. *Web Information Systems Engineering – WISE 2023. WISE 2023. Lecture Notes in Computer Science*, 14306. Springer, Singapore. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-99-7254-8_71

10. Yang, W., Wei, Y., Wei, H. et al. (2023). Survey on Explainable AI: From Approaches, Limitations and Applications Aspects. *Hum-Cent Intell Syst*, 3, 161–188. doi: <https://doi.org/10.1007/s44230-023-00038-y>

11. Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). «Why should I trust you?» Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*, 1135-1144. doi: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>

12. Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. In *Advances in neural information processing systems*. 4765-4774.

13. Чалий С. Ф., Лещинський В. О., Лещинська І. О. (2021). Контрфактуальна темпоральна модель причинно-наслідкових зв'язків для побудови пояснень в інтелектуальних системах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Системний аналіз, управління та інформаційні технології = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser.: System analysis, control and information technology : зб. наук. пр. Харків: НТУ «ХПІ», 2 (6), 41-46.*

13. Chalyi, S., & Leshchynskiy, V. (2020). Causal reasoning in the construction of explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 4(4), 105-110. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.14>

14. Chala O. (2018). Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*, 7, 3, 53–58.

15. Levykin V., Chala O. (2018). Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3(95), 16-24. doi: [10.15587/1729-4061.2018.142664](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142664)

16. Чала О. В. (2020) Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології. № 1(3). С. 14-18.* doi: [10.20998/2079-0023.2020.01.03](https://doi.org/10.20998/2079-0023.2020.01.03).

17. Chalyi, S., & Leshchynskiy, V. (2020). Causal reasoning in the construction of explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 4(4), 105-110. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.14>

18. Chalyi, S., & Leshchynskiy, V. (2021). Hierarchical representation of causal relationships to detail explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 5(4), 103-108. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.14>

19. Byrne, R. M. (2005). *The rational imagination: How people create alternatives to reality*. MIT press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/5756.001.0001>

20. Sloman, S. A. (2005). *Causal models: How people think about the world and its alternatives*. Oxford University Press. doi: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195183115.001.0001>

Надійшла до редколегії 15.08.2024 р.

Чалий Сергій Федорович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: serhii.chalyi@nure.ua; ORCID: 0000-0002-9982-9091

Лещинський Володимир Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ПІ ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: volodymyr.leshchynskiy@nure.ua; ORCID: 0000-0002-8690-5702

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

УДК 005.8:004.4

Удосконалення методу UCP для оцінки трудовитрат при реалізації IT-проектів / К. Е. Петров, О. В. Іваненко, І. В. Кобзев. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 5–16.

Важливим етапом планування при виконанні IT-проектів є оцінка трудомісткості розробки програмного забезпечення. Точна оцінка трудовитрат на ранньому етапі життєвого циклу проекту суттєво впливає на розподіл ресурсів, планування часу та бюджетних витрат. Тому не зважаючи на велику кількість методів, що використовуються для оцінки трудовитрат при реалізації IT-проекту, актуальним є завдання підвищення точності цієї прогнозової оцінки.

В роботі докладно досліджуються можливості застосування відомого метода для оцінювання трудовитрат Use Case Points (UCP), який базується на використанні варіантів використання (use cases). Він відноситься до алгоритмічних методів, що робить його достатньо надійним та передбачуваним у використанні. Також він дозволяє врахувати функціональні вимоги до системи, що є особливо корисним на ранніх стадіях реалізації проекту. Крім того, UCP не прив'язаний до конкретних технологій або мов програмування, що свідчить про його універсальність і гнучкість.

Метою дослідження є вдосконалення методу UCP оцінки трудовитрат необхідних для успішного виконання IT проекту, що дозволить враховувати інтервальні оцінки факторів технічної складності та зовнішніх чинників, які впливають на оцінку обсягу програмного забезпечення і, відповідно, на оцінку трудомісткості проекту.

Для експериментальної перевірки працездатності та ефективності запропонованого модифікованого методу UCP був використаний набір даних, який містить інформацію про 71 реальний проект. Наведені результати комп'ютерного моделювання та порівняльного аналізу точності оцінок трудовитрат на виконання проекту, що отримані за допомогою запропонованого та оригінального методів UCP.

Результати експериментів показали, що запропонована модифікація методу UCP дозволяє отримувати більш точні прогнозні оцінки трудовитрат при реалізації IT-проектів, що може суттєво вплинути на підвищення ефективності процесів планування та управління проектами.

Ключові слова: варіант використання; обсяг програмного забезпечення; нескоригована вага; актор; фактор технічної складності.

Табл. 2. Іл. 1. Бібліогр.: 17 назв.

UDC 005.8:004.4

Improvement of the UCP method for estimating labor costs in the implementation of IT-projects / K. E. Petrov, O. V. Ivanenko, I. V. Kobzev. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 5–16.

An important stage of planning in the implementation of IT-projects is the assessment of the complexity of software development. An accurate estimate of labor costs at the early stage of the project life cycle significantly affects the allocation of resources, time planning and budget costs. Therefore, regardless of the large number of methods used to estimate labor costs during the implementation of an IT-project, the task of increasing the accuracy of this predictive estimate is relevant.

The paper examines in detail the possibilities of using the well-known method for estimating labor costs Use Case Points (UCP), which is based on the use of use cases. It belongs to algorithmic methods, which makes it quite reliable and predictable in use. It also allows you to take into account the functional requirements for the system, which is especially useful in the early stages of project implementation. In addition, UCP is not tied to specific technologies or programming languages, which indicates its universality and flexibility.

The purpose of the study is to improve the UCP method of estimating labor costs necessary for the successful implementation of an IT-project, which will allow taking into account interval estimates of technical complexity factors and external factors that affect the estimation of the amount of software and, accordingly, the estimation of the project's labor intensity.

To experimentally verify the operability and efficiency of the proposed modified UCP method, a dataset containing information on 71 real projects was used. The results of computer modeling and

comparative analysis of the accuracy of estimates of labor costs for the implementation of the project obtained using the proposed and original UCP methods are given.

The results of the experiments showed that the proposed modification of the UCP method allows obtaining more accurate predictive estimates of labor costs in the implementation of IT-projects, which can significantly affect the efficiency of planning and project management processes.

Keywords: use case; amount of software; unadjusted weight; actor; technical complexity factor.

Tab. 2. Fig. 1. Ref.: 17 items.

УДК 004.8:004.9

Розробка методу уточнення рекомендацій з використанням темпоральних знань в задачах індивідуального страхування / О.В. Чала, Б.С. Євдокимов. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 17-24.

Предметом дослідження є процес побудови рекомендацій в задачах індивідуального страхування. Метою є розробка підходу до побудови рекомендацій в проектах персоналізованого страхування з використанням темпоральних знань з тим, щоб адаптувати запропоновані плани страхування згідно поведінки клієнта на сторінках сайту страхової компанії. Завдання: виконати структурування темпоральних правил з урахуванням особливостей процесу побудови рекомендацій щодо страхування у режимі онлайн; розробити метод побудови рекомендацій щодо вибору страхового продукту з використанням темпоральних знань. Висновки. Виконано структурування темпоральних правил для задачі побудови рекомендацій в проектах персоналізованого страхування. Темпоральні правила узагальнюють поведінку у відносному часі для декількох користувачів, що дає можливість узагальнити послідовність дій цих користувачів. Розроблено метод побудови рекомендацій у режимі онлайн з використанням темпоральних знань. Метод складається з двох фаз: формування темпоральних знань та побудови рекомендацій. Перша фаза виконується в офлайн-режимі і призначена для формування бази темпоральних правил, що узагальнюють знання щодо поведінки користувачів. Друга фаза виконується в режимі онлайн і полягає у уточненні та подальшому використанні темпоральних правил для адаптації рекомендацій згідно поточної поведінки користувача. Метод дає можливість оперативно адаптувати рекомендації з урахуванням поточних дій користувача, що створює умови для підвищення довіри користувачів до пропозицій рекомендаційної системи.

Ключові слова: рекомендаційна система, персоналізоване страхування, темпоральне правило, темпоральні знання, онлайн режим.

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр.: 20 назв.

UDC 004.8:004.9

Development of a method for refining recommendations using temporal knowledge in individual insurance tasks / O.V. Chala, B.S. Yevdokymov. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 17-24.

The subject of the research is the process of constructing recommendations in individual insurance tasks. The aim is to develop an approach for building recommendations in personalized insurance projects using temporal knowledge to adapt proposed insurance plans according to client behavior on insurance company websites. Objectives: to structure temporal rules considering the peculiarities of the online insurance recommendation process; to develop a method for constructing recommendations for insurance product selection using temporal knowledge. Conclusions: temporal rules have been structured for the task of building recommendations in personalized insurance projects. These rules generalize behavior in relative time for multiple users, enabling the generalization of user action sequences. A method for constructing online recommendations using temporal knowledge has been developed. The method consists of two phases: temporal knowledge formation and recommendation construction. The first phase is performed offline and is designed to form a base of temporal rules that generalize knowledge about user behavior. The second phase is executed online and involves refining and further utilizing temporal rules to adapt recommendations according to current user behavior. The method enables prompt adaptation of recommendations considering the user's current actions, creating conditions for increasing user trust in the recommender system's proposals.

Keywords: recommender system, personalized insurance, temporal rule, temporal knowledge, online mode.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 20 titles.

УДК 004.8

Визначення критеріїв для вибору інформаційної системи управління проектами / В.М. Левикін, О.В. Петриченко, І.О. Юр'єв, М.І. Купенко. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 25-41.

Об'єктом дослідження є процес вибору ІС УП. Під час вибору ІС УП для організації-замовника існує необхідність в певній методології для формалізації етапів вибору. Основні існуючі методи вибору та наявні в них критерії не дають достатньої та об'єктивної інформації при виборі ІС УП. Дослідження спрямоване на розробку моделі та методу на її основі для систематизації цього процесу та забезпечення об'єктивного і раціонального вибору ІС УП, що, в свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності та якості управління проектами.

Як основу для розробки методу вибору ІС УП обрано метод аналізу ієрархій та розроблену модель. Розроблений метод складається з п'яти етапів: визначення за допомогою експертів базових оцінок критеріїв ІС та їх ваг; визначення оцінки підкритеріїв ІС; визначення глобальної ваги критеріїв; оцінка альтернатив за кожним з підкритеріїв; визначення найкращої з альтернатив та її вибір.

Експериментальну перевірку розробленої моделі та методу проведено шляхом створення веб-додатку для збору та обробки даних в рамках розглянутих етапів. Для розробки інформаційної технології використано мову Python та окремі бібліотеки, які дозволяють інтегрувати розроблену модель та метод до вебсайту компанії-замовника. Отримані результати демонструють доцільність вибраних критеріїв при оцінці альтернативних ІС УП замовником за допомогою сформованої на їх основі моделі та методу.

Ключові слова: інформаційна система управління проектами, багатокритеріальний вибір, теоретико-категорна модель, функціональність, вартість, метод аналізу ієрархій.

Табл. 7. Іл. 3. Бібліогр.: 23 назв.

UDC 004.8

Criteria determination for selecting a projects management information system / V.M. Levykin, O.V. Petrychenko, I.O. Iuriev, M.I. Kupenko. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 25-41.

The object of research is the process of selecting a project management information system. When selecting a PMIS for the customer organization, there is a need for a specific methodology to formalize the selection stages. The main existing selection methods and their criteria do not provide sufficient and objective information for selecting a PMIS. This research aims to develop a model and method based on it to systematize this process and ensure an objective and rational choice of PMIS, which in turn enhances the productivity and quality of project management.

The method of analytic hierarchy process and a developed model are chosen as the basis for developing the method for selecting PMIS. The developed method consists of five stages: determining the basic assessments of PMIS criteria and their weights using experts; determining the assessment of PMIS sub-criteria; determining the global weight of the criteria; evaluating alternatives for each sub-criterion; and selecting the best alternative.

An experimental verification of the developed model and method was conducted by creating a web application for data collection and processing within the considered stages. Python and specific libraries that enable the integration of the developed model and method into the company's website were used to develop the information technology. The obtained results demonstrate the feasibility of the chosen criteria in evaluating alternative PMIS by the customer using the formed model and method.

Key words: project management information system, multi-criteria selection, theoretical-categorical model, functionality, cost, analytic hierarchy process.

Tab. 7. Fig. 3. Ref.: 23 items.

УДК 004.8:004.9

Покращена багатовимірною неочігкою системою класифікації та її навчання для завдання класифікації відео / Є.В. Бодяньський, О.С. Чала. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 42-50.

Дослідження представляє інноваційну гібридну неочігкою системою для класифікації відео, що інтегрує багатовимірні неочігкою компоненти з регульованими синаптичними вагами та

спеціалізованими функціями належності. Поєднуючи розширені нео-фаззі нейрони (ENFN) і нео-фаззі блоки (NFU) з нелінійними активаційними функціями та включаючи розширені нелінійні синапси (ENS), система використовує нео-фаззі систему виведення Такагі-Сугено-Канга для покращення апроксимаційних можливостей традиційних моделей.

Класифікація відео є складною через великий обсяг даних та їхню змінність, особливо з рухомими об'єктами та варіацією якості відео. Традиційні моделі стикаються з труднощами в обробці в реальному часі та підтримці точності, що вимагає вдосконалених методів для забезпечення надійної роботи.

Метою є розробка та оптимізація гібридної нео-фаззі системи для класифікації відеопотоків в реальному часі, зберігаючи високу точність. Комп'ютерні експерименти продемонстрували її надійність, досягнувши високої точності та відгуку. Запропонований алгоритм оптимізації, використовуючи критерій перехресної ентропії з one-hot кодуванням та адаптивними налаштуваннями δ -правила, покращив швидкість навчання та точність.

Новизна полягає в розробці гібридної нео-фаззі системи з удосконаленими компонентами та унікальним алгоритмом оптимізації, що забезпечує надійність та ефективність у складних завданнях класифікації відео.

Ключові слова: гібридна нео-фаззі система, класифікація відео, регульовані синаптичні ваги, нелінійні активаційні функції, нео-фаззі система Такагі-Сугено-Канга, обробка в реальному часі, алгоритм оптимізації

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр.: 24 назв.

UDC 004.8:004.9

Enhanced multidimensional neo-fuzzy classification system and its learning for the video classification task / Ye. V. Bodyanskiy, O.S. Chala. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 42-50.

This research introduces an innovative hybrid neo-fuzzy system for video classification, integrating multidimensional neo-fuzzy components with adjustable synaptic weights and Gaussian membership functions. By combining extended neo-fuzzy neurons (ENFN) and neo-fuzzy units (NFU) with nonlinear activation functions and incorporating extended nonlinear synapses (ENS), the system leverages the neuro-fuzzy Takagi-Sugeno-Kang inference system to enhance traditional models' approximating capabilities.

Video classification is complex due to high data volume and variability, especially with moving objects and varying video quality. Traditional models struggle with real-time processing and maintaining accuracy, necessitating advanced techniques for robust performance.

The goal is to develop and optimize a hybrid neo-fuzzy system for real-time video stream classification, maintaining high accuracy. Computational experiments demonstrated its robustness, achieving high precision and recall. The proposed optimization algorithm, using cross-entropy learning with one-hot encoding and adaptive δ -rule adjustments, improved learning speed and accuracy.

The novelty lies in developing a hybrid neo-fuzzy system with advanced components and a unique optimization algorithm, ensuring robustness and efficiency in complex video classification tasks.

Keywords: hybrid neo-fuzzy system, video classification, adjustable synaptic weights, nonlinear activation functions, neuro-fuzzy Takagi-Sugeno-Kang, real-time processing, optimization algorithm.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 24 items.

УДК 004.891.3

Метод автоматизованої побудови бази знань інформаційної системи процесного управління / І.А. Малькова, В.С. Макеєнко. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 50-62.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованої побудови та поповнення бази знань.

Визначено підхід до вирішення проблеми автоматизованої побудови баз знань в проєктах розробки інформаційних систем. Виконано дослідження моделей та методів автоматичної побудови бази знань інформаційної системи процесного управління. У ході дослідження визначено, що як математичний апарат доцільно використати кінцеві предикати, а також предикатні моделі, що описують артефакти ІТ-проєкту.

Вдосконалено метод автоматизованої побудови та поповнення бази знань інформаційної

системи процесного управління на основі модифікованих предикатних моделей. Модифікація методу відбувається шляхом додавання нових предикатів та узгодження логів подій з класами артефактів та їхніх властивостей.

Виконано перевірку можливості застосування запропонованого методу під час вирішення задач підтримки прийняття рішень за умови виявлення вторгнень для процесів у комп'ютерних системах.

Наведено архітектуру та опис основних характеристик системи автоматизованої побудови бази знань при вирішенні задач прийняття рішень на IT-підприємстві.

Проведено апробацію запропонованих рішень у ході автоматизованої побудови бази знань у IT-проекті. У ході автоматизованої побудови продукційної бази знань виявлено переваги та недоліки методу.

Подальшим розвитком модернізованого методу може бути аналіз успішності виконання прогнозів за допомогою бази знань і корегування на основі результатів цього аналізу вихідного набору предикатів.

Ключові слова: знання, метод, система процесного управління, автоматизована побудова бази знань, інформаційна система

Табл. 1. Іл. 2. Бібліогр.: 15 назв.

UDC 004.891.3

Method of automated knowledge base construction for business process management information systems / I.A. Malkova, V.S. Makeienko. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 50-62.

The object of research is the process of automated construction and enrichment of a knowledge base.

An approach has been defined to address the problem of automated knowledge base construction in information system development projects. Research has been conducted on models and methods for the automatic construction of a knowledge base for process management information systems. It has been determined that finite predicates, as well as predicate models describing IT project artifacts, are suitable as the mathematical apparatus.

The method for automated construction and enrichment of a knowledge base for process management information systems has been improved based on modified predicate models. The modification involves adding new predicates and aligning event logs with classes of artifacts and their properties.

The feasibility of applying the proposed method in decision support tasks under intrusion detection conditions for processes in computer systems has been verified.

The architecture and description of the main characteristics of the automated knowledge base construction system for decision-making tasks in IT enterprises, are provided.

The proposed solutions have been tested during the automated construction of a knowledge base in an IT project. Advantages and disadvantages of the method were identified during the automated construction of a production knowledge base.

Further development of the modified method may involve analyzing the success of predictions made using the knowledge base and adjusting the initial set of predicates based on the results of this analysis.

Keywords: knowledge, method, business process management system, automated knowledge base construction, information system

Tab. 1. Fig. 2. Ref.: 15 items.

УДК 004.9; 005.93

Розробка моделі вирішення функціональної задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» у медичному закладі / О.А. Цвіркун. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 63-81.

Об'єктом дослідження є процес формування розкладу хірургічних операцій Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України». Сучасні дослідження в галузі моделювання робіт з формування розкладу роботи медичних закладів та хірургічних відділень зосереджені на розробці моделей формування розкладів згідно з вимогами конкретних закладів. Використання цих моделей для автоматизації формування розкладу у інших медичних закладах неможливо без теоретичної та прикладної модифікації існуючих рішень з

врахуванням вимог та особливостей конкретного закладу. Тому проведення досліджень з вирішення цієї проблеми є актуальним з теоретичної і прикладної точок зору.

Як основу моделі формування розкладу було запропоновано використати комплекс математичних моделей цільового програмування, який дозволяв формувати розклад в умовах обмеження ресурсів. Проведено визначення основних особливостей Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України». як об'єкту автоматизації. Виходячи з цих особливостей була розроблена модифікація запропонованих моделей, яка дозволяє автоматизувати процес формування розкладу, який мав би мінімальні відхилення від поданих заявок на операції. Виходячи з результатів модифікації моделі формування розкладу було обґрунтовано вибір методу вирішення задачі та запропоновано адаптувати модифікацію методу гілок та границь для вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій, пропонується адаптувати цю модифікацію до особливостей вказаної задачі.

Розглянуто особливості реалізації алгоритмічного, інформаційного та програмного забезпечень функціональної задачі, яка була розроблена. Проведено експериментальну перевірку отриманих наукових результатів. Для такої перевірки було обрано реальні дані заявок на проведення операцій у Державній установі установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України». Отримані результати експериментальної перевірки дозволяють прийняти рішення про можливість застосування результатів вирішення функціональної задачі у промисловій експлуатації медичного закладу.

Ключові слова: медичний заклад, розклад операцій, цільове програмування, метод пріоритетів.
Табл. 3. Іл. 2. Бібліогр.: 29 назв.

UDC 004.9; 005.93

Development of a model for solving the functional task «Formation of surgical operations schedule» in a medical institution. O.A. Tsvirkun. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 63-81.

The object of the research is the process of forming the schedule of surgical operations of the Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine. Modern research in the field of modeling work on the formation of the work schedule of medical institutions and surgical departments is focused on the development of models for the formation of schedules for the requirements of specific institutions. The use of these models to automate the formation of the schedule in other medical institutions is impossible without theoretical and applied modification of existing solutions taking into account the requirements and features of a particular institution. Therefore, conducting research to solve this problem is relevant from a theoretical and applied point of view.

It was proposed to use a complex of mathematical models of target programming as the basis of the schedule formation model, which made it possible to form a schedule under conditions of limited resources. The main features of the Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine as an object of automation. Based on these features, a modification of the proposed models was developed, which allows automating the process of forming a schedule that would have minimal deviations from the submitted applications for operations. Based on the results of the modification of the schedule formation model, the choice of the method of solving the problem was justified and it was proposed to adapt the modification of the method of branches and boundaries to solve the problem of forming the schedule of surgical operations, it is proposed to adapt this modification to the specifics of the specified problem.

The peculiarities of implementation of algorithmic, informational and software tools of the developed functional task are considered. Experimental verification of the obtained scientific results was carried out. For such verification, real data of applications for operations at the Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine The obtained results of the experimental test allow to make a decision about the possibility of applying the results of solving the functional problem in the industrial operation of the medical institution.

Keywords: medical institution, schedule of operations, target programming, priority method.
Tab. 3. Fig. 2. Ref.: 29 items.

УДК 004.8:004.9

Принципи побудови ментальних моделей рішення для зовнішнього користувача в задачі формування пояснень в інтелектуальній системі / С.Ф. Чалий, І.О. Лещинська. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 82-90.

Предметом дослідження є процес побудови ментальних моделей користувача в інтелектуальних інформаційних системах. Метою є удосконалення принципів побудови ментальних моделей зовнішніх користувачів щодо рішень інтелектуальної інформаційної системи з тим, щоб формувати пояснення у відповідності як до потреб цих користувачів, так і до обмежень щодо використання рішень у визначеній предметній області. Вирішуються такі задачі: удосконалення існуючих принципів побудови ментальних моделей на основі структуризації опису рішення інтелектуальної системи; розробка принципу побудови ментальних моделей користувача інтелектуальної системи, що враховує обмеження при використанні отриманого рішення. Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому. Адаптовано існуючі принципи побудови ментальних моделей людиною з урахуванням відмінностей побудови пояснень щодо рішення в інтелектуальній системі, представленій у вигляді «чорної скриньки». Адаптовані принципи враховують відповідність структури ментальної моделі та рішення, множинність ментальних моделей щодо рішення, неповноту вхідних даних для прийняття рішення. Запропоновано принцип доповнення вхідних даних, який полягає у використанні нерелевантних з точки зору користувача значень властивостей рішення для обмеження множини релевантних рішень. Використання даного принципу при побудові пояснення дає можливість врахувати негативні аспекти використання отриманого результату і тим самим спростити користувачеві вибір та застосування цього рішення.

Ключові слова: пояснення, інтелектуальна система, самопояснювальний штучний інтелект, система штучного інтелекту, ментальна модель, користувачі інтелектуальної системи.

Табл. 2. Іл. 1. Бібліогр.: 18 назв.

UDC 004.8:004.9

Principles of constructing mental models of a solution for external users in the task of generating explanations in an intelligent system / S.F. Chaly, I.O. Leshchynska. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 82-90.

The subject of the research is the process of constructing user mental models in intelligent information systems. The aim is to improve the principles of building mental models of external users regarding the decisions of an intelligent information system to form explanations in accordance with both the needs of these users and the limitations on the use of solutions in a specific subject area. Objectives: improvement of existing principles of mental model construction based on structuring the description of the intelligent system's solution; development of a principle for constructing mental models of the intelligent system user, considering the limitations when using the obtained solution. The scientific novelty of the obtained results is as follows. The existing principles of human mental model construction have been adapted, considering the differences in constructing explanations for a solution in an intelligent system represented as a «black box». The adapted principles consider the correspondence between the structure of the mental model and the solution, the multiplicity of mental models regarding the solution, and the incompleteness of input data for decision-making. The principle of input data supplementation is proposed, which consists in using the values of solution properties that are irrelevant from the user's point of view to limit the set of relevant solutions. The use of this principle in constructing an explanation makes it possible to consider the negative aspects of using the obtained result and thereby simplify the user's choice and application of this solution.

Keywords: explanation, intelligent system, self-explanatory artificial intelligence, artificial intelligence system, mental model, intelligent system users.

Tab. 2. Fig. 1. Ref.: 18 items.

УДК 004.8:004.9

Темпорально-каузальні методи побудови пояснень в системах штучного інтелекту / С.Ф. Чалий, В.О. Лещинський. АСУ та прилади автоматики. 2024. № 181. С. 91-99.

Предметом дослідження є процес побудови пояснень в системах штучного інтелекту. Метою є розробка темпорально-каузального підходу до побудови пояснень в системах

штучного інтелекту з тим, щоб представити пояснення як щодо процесу прийняття рішення, так і щодо отриманого рішення та зробити їх прозорими та зрозумілими для вирішення практичних завдань користувачів. Задачі: структуризація рівнів представлення пояснень з урахуванням темпорального й каузального аспектів; розробка узагальненого методу побудови пояснень з використанням темпоральних та каузальних залежностей; розробка методу уточнення пояснень з використанням темпоральних залежностей. Виконано структуризацію представлення пояснення у темпоральному на каузальному аспектах на локальному, проміжному та глобальному рівнях. Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому. Запропоновано темпорально-каузальний метод побудови пояснень, що містить етапи побудови темпоральних та каузальних залежностей на локальному, проміжному та глобальному рівнях представлення пояснень. Метод дає можливість на основі темпоральних залежностей сформулювати пояснення у формі каузальних залежностей, які визначають дії процесу та значення вхідних змінних як причини отриманого рішення, що створює умови для підвищення рівня довіри користувачів. Розроблено метод побудови пояснень на глобальному рівні представлення на основі упорядкованості вхідних даних. Метод містить етапи побудови темпоральних правил, визначення ваг правил на основі ваг антецедента та консеквента, побудови каузальних правил, побудови пояснення як сукупності зважених каузальних правил, що дає можливість врахувати структуру вхідних даних при побудові пояснення.

Ключові слова: пояснення, інтелектуальна система, самопояснювальний штучний інтелект, темпоральна залежність, каузальна залежність, можливість, система штучного інтелекту.

Табл. 2. Іл. 1. Бібліогр.: 20 назв.

UDC 004.8:004.9

Temporal-causal methods for constructing explanations in artificial intelligence systems / S.F. Chaly, V.O. Leshchynskiy. Management Information System and Devices. 2024. № 181. P. 91-99.

The subject of the research is the process of constructing explanations in artificial intelligence systems. The goal is to develop a temporal-causal approach to constructing explanations in artificial intelligence systems to present explanations both for the decision-making process and the obtained decision, and to make them transparent and understandable for solving practical user tasks. Tasks: structuring the levels of explanation representation considering temporal and causal aspects; developing a generalized method for constructing explanations using temporal and causal dependencies; developing a method for refining explanations using temporal dependencies. The structuring of the explanation representation in temporal and causal aspects at the local, intermediate, and global levels has been performed. The scientific novelty of the obtained results is as follows. A temporal-causal method for constructing explanations is proposed, which includes the stages of constructing temporal and causal dependencies at the local, intermediate, and global levels of explanation representation. The method makes it possible, based on temporal dependencies, to form an explanation in the form of causal dependencies that determine the actions of the process and the values of input variables as the causes of the obtained solution, which creates conditions for increasing the level of user trust. A method for constructing explanations at the global level of representation based on the ordering of input data has been developed. The method includes the stages of constructing temporal rules, determining the weights of rules based on the weights of the antecedent and consequent, constructing causal rules, constructing an explanation as a set of weighted causal rules, which makes it possible to consider the structure of input data when constructing an explanation.

Keywords: explanation, intelligent system, self-explainable artificial intelligence, temporal dependency, causal dependency, possibility, artificial intelligence system.

Tab. 2. Fig. 1. Ref.: 20 items.

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ
У ВСЕУКРАЇНСЬКОМУ МІЖВІДОМЧОМУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОМУ
ЗБІРНИКУ
«АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ПРИЛАДИ АВТОМАТИКИ»**

1. Загальні вимоги

До розгляду приймаються раніше не опубліковані статті українською та англійською мовами. Статті англійською мовою подаються разом з українськомовним варіантом. Статті, перекладені англійською за допомогою комп'ютерного перекладача та не відредаговані належним чином, не розглядаються.

Наукова стаття, яка подається до розгляду, має бути структурована та містити всі основні частини, характерні для наукової статті:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами;
- аналіз останніх досліджень та публікацій, у яких розпочато вирішення даної проблеми та на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми;
- формулювання цілей статті (постановка задачі);
- подання основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих результатів;
- висновки даного дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напрямку;
- перелік посилань (References).

2. Вимоги до структури рукопису

Структурно матеріали статті поділяються на такі елементи:

- УДК;
- прізвища та ініціали авторів статті;
- заголовок статті;
- анотація до статті;
- основний текст статті;
- перелік посилань;
- дата надходження статті до редколегії збірника;
- відомості про авторів статті;
- реферати українською та англійською мовами.

Бажаний порядок та зміст розділів основного тексту статті:

а) розділ 1 «Вступ», в якому визначається проблема у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами;

б) розділ 2 «Аналіз літературних джерел та визначення проблеми дослідження», в якому наводяться результати аналізу останніх досліджень та публікацій, де розпочато вирішення даної проблеми та на які спирається автор, виділяються невирішені раніше частини загальної проблеми дослідження та конкретизується головна проблема дослідження у даній статті;

в) розділ 3 «Мета і задачі дослідження», в якому наводяться описи мети дослідження та задач дослідження, вирішення яких дозволяє досягти визначеної раніше мети дослідження;

г) розділ 4 «Матеріали і методи дослідження», в якому наводяться описи формального апарату та раніше проведених експериментальних досліджень, які будуть використані у подальшому тексті статті;

д) розділ 5 «Результати дослідження», в якому структуровано наводяться результати вирішення сформульованих у розділі 3 окремих задач дослідження (теоретичних та експериментальних);

е) розділ 6 «Обговорення результатів дослідження», в якому наводяться: опис особливостей отриманих результатів дослідження та їхньої відмінності від результатів попередніх досліджень у відповідній галузі; опис переваг отриманих результатів перед існуючими; опис недоліків і обмежень, які утруднюють використання отриманих результатів дослідження; опис подальших перспектив проведення досліджень за цим напрямом;

ж) розділ 7 «Висновки», в якому наводяться стислі описи отриманих результатів вирішення окремих задач дослідження та загальний висновок про досягнення поставленої у розділі 3 мети дослідження.

Заголовки окремих розділів основного тексту статті можуть змінюватися відповідно до змісту конкретної статті.

Розділи основного тексту статті, перелік посилань, дата надходження статті до редколегії збірника та відомості про авторів статті відокремлюються один від одного одним порожнім рядком.

3. Вимоги до оформлення рукопису

До розгляду приймаються матеріали статей обсягом не менше 5 повних сторінок (з урахуванням рисунків і таблиць).

Матеріали статті повинні бути набраними у редакторі MS Word. Припустимі формати файлу з матеріалами статті – .doc або .docx.

Формат сторінки – А4 (210x297 мм). Поля знизу, зверху, справа, зліва – 3 см.

Основний текст статті набирається шрифтом Times New Roman, кегль 11, інтервал – 1,1, абзацний відступ – 8 мм, інтервали перед і після – 0 мм, вирівнювання по ширині.

Для УДК – шрифт Times New Roman, кегль 11, інтервал – 1,1, абзацний відступ – 8 мм, інтервал перед – 0 мм, інтервал після – 6 мм, вирівнювання по ширині.

Для прізвищ та ініціалів авторів статті – шрифт Times New Roman, кегль 11, інтервал – 1,1, абзацний відступ – 8 мм, інтервали перед і після – 6 мм, вирівнювання по ширині.

Для заголовка статті – шрифт Times New Roman, кегль 11, напівжирний, інтервал – 1,1, абзацний відступ – 8 мм, інтервали перед і після – 6 мм, вирівнювання по ширині.

Для анотації – шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал – 1,1, відступ зліва – 0,8 см, абзацний відступ – 8 мм, інтервал перед – 6 мм, інтервал після – 0 мм, вирівнювання по ширині.

Для заголовків таблиць – шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал – 1,1, абзацного відступу немає, інтервали перед і після – 0 мм, слово «Таблиця» та її номер – з вирівнюванням вправо, назва таблиці (якщо вона є) – з вирівнюванням по центру.

Для підписових підписів – шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал – 1,1, абзацного відступу немає, інтервали перед і після – 0 мм, вирівнювання по центру.

Для переліку посилань та відомостей про авторів – шрифт Times New Roman, кегль 9, інтервал – 1,1, абзацний відступ – 8 мм, інтервали перед і після – 0 мм, вирівнювання по ширині.

Для рефератів – шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал – 1,1, абзацний відступ – 8 мм, інтервали перед і після – 0 мм, вирівнювання по ширині.

Формули набираються у редакторі формул Microsoft Equation або MathType, розташовуються у центрі робочого поля, нумерація – з правої сторони поля. Для цього необхідно весь рядок розташувати справа, а потім вирівняти формулу табуляціями так, щоб вона розташовувалася по центру. Відступ зверху і знизу – по 6 пунктів. Нумерація формул усередині кожної статті наскрізна.

Формули, а також їхні складові, присутні у тексті, набираються з такими параметрами (див. рис. 1).

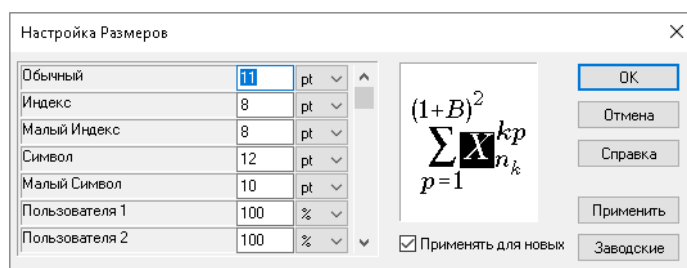


Рис. 1. Параметри настроювання розмірів редактора формул MathType

Кожна таблиця виконується та розташовується в тексті одразу після посилання на неї. Усі таблиці у статті обов'язково нумеруються, незважаючи на їх кількість. Таблиця відокремлюється від попереднього та наступного тексту (таблиці, рисунку тощо) одним порожнім рядком.

Дані всієї таблиці набираються шрифтом розміром 10 пунктів, розміщуються по центру; у випадках, коли необхідно показати розрядність, – вирівнювання за знаком. Товщина сітки таблиці – 1 пункт. Приклад оформлення таблиці наведено на рис. 2.

Таблиця 1

Множина описів сутностей функціональної задачі

ID	Найменування
1	Academic_load
2	Academic
3	Department
4	Individual_plan
5	Academic_section

Рис. 2. Приклад оформлення таблиці у тексті статті.

Бажано таблицю зі сторінки на сторінку не переносити. Якщо таблиця не може розміститися на сторінці, її поділяють на частини. У кожній частині таблиці повторюють її головку та боковик або замінюють їх відповідно номерами колонок або рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами на першій частині таблиці. Слово «Таблиця» подається лише над першою її частиною. Над наступними її частинами праворуч друкується: «Продовження таблиці», а на останній – «Кінець таблиці», в усіх випадках вказується номер таблиці.

Кожен рисунок виконується та розташовується в тексті одразу після посилання на нього. Усі рисунки в статті обов'язково нумеруються, незважаючи на їх кількість. Необхідно вставляти рисунки у текст як графічні об'єкти (файли з розширенням .bmp, .jpg, .tiff чи .png, якість не менше 300 dpi), об'єкти MS Word або MS Visio.

Рисунок відокремлюється від попереднього та наступного тексту (таблиці, рисунку тощо) одним порожнім рядком.

Кожен рисунок повинен мати підписуноківий підпис, в якому вказується номер та, у випадку необхідності, назва рисунку. Якщо рисунок займає менше 50 % ширини робочого поля, то можна зробити обтікання рисунку текстом, розташувавши його ліворуч або праворуч від робочого поля. Приклад рисунку з підписом наведений на рис. 3.

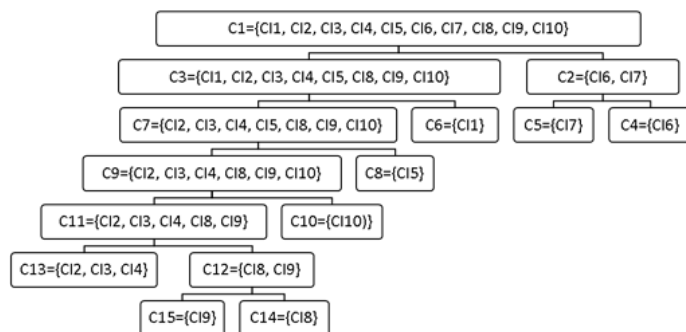


Рис. 3. Приклад виконання рисунку та підписуноківого підпису

Посилання на літературні та електронні джерела у тексті статті позначаються у квадратних дужках [1]. До переліку посилань включаються тільки ті роботи, на які посилається автор статті. Посилання на неопубліковані роботи не допускаються.

Для оформлення переліку посилань слід використовувати один з таких шаблонів:

а) шаблон IEEE (автоматичне оформлення за шаблоном IEEE <https://www.citethisforme.com/ieee/source-type>);

б) положення ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» та ДСТУ 3582:2013 «Інформація та документація. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила».

Кожен з цих шаблонів слід використовувати для оформлення усіх елементів переліку посилань. Використання двох шаблонів для оформлення одного й того ж переліку посилань неприпустимо.

Кожне посилання у переліку посилань наводиться за порядком появи цих посилань у тексті статті.

У переліку посилань бажано використовувати посилання на сучасні публікації, вік яких не перевищує п'яти років у момент подачі статті до редакції. Крім того, під час формування переліку посилань статті необхідно дотримуватися такого розподілу: самоцитування – до 20 %, цитування зарубіжних публікацій – не менше 50%.

Відомості про авторів слід наводити українською та англійською мовами. У відомості про авторів слід включати: повні прізвище, ім'я та по-батькові; вчений ступінь (за наявності); вчене звання (за наявності); посаду; країну, місто; e-mail (вкрай бажано вказувати корпоративний e-mail, можна вказувати кілька e-mail, на які ви бажаєте отримувати повідомлення від редакції та читачів, які можуть зацікавитися вашою статтею); ORCID.

Реферат набирається українською та англійською мовами. Реферат повинен бути змістовним, дотримуватися логіки опису результатів у статті та давати можливість встановити її основний зміст. Реферат не повинен містити формул та рисунків. Необхідні символи в рефераті необхідно додавати через функцію вставки символів.

Реферат містить: УДК, назву статті (напівжирним шрифтом), ініціали та прізвища авторів (курсивом), текст (не менше 1800 друкованих знаків з пробілами та ключовими словами), ключові слова, кількість таблиць, рисунків та посилань у статті.

Ключові слова повинні містити до 10 слів, а не словосполучень, без використання аббревіатур, в іменному відмінку, розділятися крапкою з комою.

Реферати надаються до редколегії разом із статтею у вигляді окремого файлу.

4. Правила надсилання статей та подальшої взаємодії з редакційною колегією збірника

До редколегії збірника «АСУ та прилади автоматики» слід надсилати такі матеріали:

- файл у форматі .doc або .docx з текстом статті українською мовою;
- файл у форматі .doc або .docx з текстом статті англійською мовою (якщо автори бажають опублікувати статтю у збірнику англійською мовою);
- файл (у форматі .doc або .docx з текстами рефератів статті українською та англійською мовами;
- відскановану копію експертного висновку з дозволом опублікувати матеріали статті у відкритому друку. В разі потреби експертні висновки для авторів – співробітників (студентів, аспірантів тощо) ХНУРЕ можуть оформлюватися редколегією централізовано.

Матеріали статей надсилати електронною поштою – за адресою maksim.ievlanov@nure.ua.

Кожна надіслана в редакцію стаття після проходження рецензування і при позитивному рішенні редколегії буде надрукована в найближчому випуску збірника. Для цього авторам від імені редколегії надсилається ліцензійний договір, який закріплює право першої публікації статті у збірнику «АСУ та прилади автоматики». Автори статті повинні підписати цей ліцензійний договір та завірити свої підписи печаткою організації, в якій вони працюють. Підписаний ліцензійний договір автори статті надсилають на адресу редколегії збірника.

Відповідальний випусковий В.М. Левикін
Редактор О.Є. Неумивакіна
Комп'ютерна верстка М.В. Євланов, О.Є. Неумивакіна
Дизайн обкладинки номера за участю Є. Чех

Підп. до друку 16.09.2024. Формат 60x841/8. Умов. друк. арк.
Обл.-вид. арк. 12,7. Тираж 300 прим.
Зам. № 144. Ціна договірна.

Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ).
Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

Оригінал-макет підготовлено у редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ,
Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

Збірник віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
61024, м. Харків, вул. Гуданова, 18
Тел.: +38(057)7565325
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
Серія ДК № 4399 від 27.08.2012 р.
www.madrid.in.ua e-mail:info@madrid.in.ua