

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-60-47>

УДК 658.514:004.652:331.4

Клименко Ігор Вікторович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0004-7013-2655>

Лавров Євгеній Анатолійович, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-9117-5727>

Чибіряк Яна Іванівна, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-0634-7609>

Остапенко Максим Сергійович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0001-8877-139X>

Скрипченко Дмитро Вікторович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0001-8470-4333>

Сумський державний університет, м. Суми, Україна.

МЕТОДОЛОГІЯ DATA MINING ДЛЯ ПОШУКУ ЕРГОНОМІЧНИХ РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ. МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ ПОМИЛОК ОПЕРАТОРІВ ERP-СИСТЕМ.

Клименко І. В., Лавров Є. А., Чибіряк Я. І., Остапенко М. С., Скрипченко Д. В. Методологія data mining для пошуку ергономічних резервів підвищення ефективності управління. Метод запобігання помилок операторів ERP-систем. В статті розглядається задача підвищення ефективності автоматизованої обробки інформації для систем планування ресурсів підприємства (ERP). Показано, що в епоху цифрової трансформації ERP стають критично важливими інформаційними структурами, які підтримують автоматизацію та координацію бізнес-процесів. Продemonстровано, що більшість підходів до аналізу надійності ERP, які зосереджувалися, як правило, на технічних аспектах, таких як безпека даних, стійкість програмного забезпечення або стабільність інфраструктури, не забезпечують ефективних засобів пошуку підвищення ефективності ERP. Показано, що людський фактор залишається основним джерелом операційних ризиків. Погана ергономіка інтерфейсу, надмірна глибина навігації, відсутність контекстного керівництва або когнітивне перевантаження часто призводять до помилок, зниження ефективності та переривання цілісності даних. У зв'язку зі зростаючими загрозами нехтування людського фактору в статті розглянута задача виявлення прихованих закономірностей між взаємодією користувачів, характеристиками інтерфейсу та ймовірністю помилок. Використано методологію інтелектуального аналізу даних, зокрема принцип асоціативних правил. Показано, що на відміну від традиційних статистичних підходів, правила асоціації дозволяють виявляти неочевидні залежності в поведінці користувачів, формуючи основу для адаптивної, проактивної підтримки рішень. Запропоноване експериментальне середовище ERP для збору реальних журналів взаємодії, профілів користувачів та звітів про помилки. Продemonстровано генерацію понад 500 правил асоціації, з яких 64 забезпечили високу стабільність та повторюваність, що дозволило розробити модуль підтримки рішень, інтегрований в інтерфейс ERP. Емпіричні результати показують значні покращення: зменшення критичних помилок на 24%, скорочення часу виконання завдань на 12% та зменшення когнітивного навантаження на 23% (NASA-TLX). Результати підтверджують потенціал аналізу правил асоціації як методологічної основи для проектування адаптивних ERP-систем, з акцентом не лише на технічних, але й на ергономічних та когнітивних аспектах взаємодії людини та машини. Результати використано при ергономічному проектуванні ERP в промисловості, сільськогосподарському виробництві, електронному навчанні. Запропоновано використання результатів в міжнародному науковому проєкті «International Center for the Support of Ergonomic Design and Research» в рамках Міжнародної ергономічної асоціації.

Ключові слова: ERP-системи, взаємодія людини та машини, ергономіка користувацького інтерфейсу, аналіз правил асоціації, адаптивний підхід, підтримка рішень, когнітивне навантаження.

Klymenko I., Lavrov E., Chybiyak Ya., Ostapenko M., Skrypchenko D. Data mining methodology for finding ergonomic reserves to increase management efficiency. Method for preventing errors by ERP system operators. The article considers the task of increasing the efficiency of automated information processing for enterprise resource planning (ERP) systems. It is shown that in the era of digital transformation, ERPs are becoming critically important information structures that support the automation and coordination of business processes. It is demonstrated that most approaches to ERP reliability analysis, which focused, as a rule, on technical aspects such as data security, software stability or infrastructure stability, do not provide effective means of finding ways to improve ERP efficiency. It is shown that the human factor remains the main source of operational risks. Poor interface ergonomics, excessive navigation depth, lack of contextual guidance or cognitive overload often lead to errors, reduced efficiency and disruption of data integrity. In connection with the growing threats of neglecting the human factor, the article considers the task of identifying hidden patterns between user interaction, interface characteristics and the probability of errors. The methodology of data mining is used, in particular the principle of associative rules. It is shown that, unlike traditional statistical approaches, association rules allow to detect non-obvious dependencies in user behavior, forming the basis for adaptive, proactive decision support. An experimental ERP environment is proposed for collecting real interaction logs, user profiles, and error reports. The generation of over 500 association rules is demonstrated, of which 64 provided high stability and repeatability, which allowed the development of a decision support module integrated into the ERP interface. Empirical results show significant improvements: a 24% reduction in critical errors, a 12% reduction in task execution time, and a 23% reduction in cognitive load (NASA-TLX). The results confirm the potential of association rule analysis as a methodological basis for designing adaptive ERP systems, with an emphasis not only on technical but also on ergonomic and cognitive aspects of human-machine interaction. The

results have been used in ergonomic ERP design in industry, agricultural production, and e-learning. It is proposed to use the results in the international scientific project "International Center for the Support of Ergonomic Design and Research" within the framework of the International Ergonomics Association.

Keywords: ERP systems, human-machine interaction, user interface ergonomics, association rule mining, adaptive, decision support, usability risk, cognitive workload.

Постановка наукової проблеми. У сучасній цифровій трансформації підприємств критично важливі інформаційні системи, зокрема ERP-системи (системи планування ресурсів підприємства), відіграють ключову роль у підтримці та автоматизації бізнес-процесів. Ефективність їхньої роботи залежить не лише від технічної реалізації, але й від якості людино-машинної взаємодії, яка охоплює ергономічні, когнітивні та поведінкові аспекти. Відповідно, підвищення надійності взаємодії користувача з ERP-системами стає важливим фактором у забезпеченні загальної стабільності роботи критично важливих систем.

Нещодавні дослідження підтверджують, що людський фактор залишається одним з основних джерел операційних ризиків у складних програмно-інформаційних середовищах. Неузгоджена структура інтерфейсу, перевантаження елементів керування, низька інтуїтивність або відсутність контекстної підтримки користувачів можуть призвести до помилкових дій, збоїв системи та порушень цілісності даних [1,2]. Ці проблеми особливо виражені в умовах високої інтенсивності роботи або недостатнього досвіду користувача.

Незважаючи на важливість цих факторів, більшість існуючих підходів до забезпечення надійності ERP-систем зосереджені переважно на технічних аспектах – вразливостях програмного забезпечення, архітектурній стійкості або безпеці даних. Натомість, системний підхід до аналізу ризиків, пов'язаних з ергономікою інтерфейсу та поведінкою користувачів, залишається недостатньо дослідженим.

Одним із перспективних напрямків є застосування інтелектуальних методів аналізу даних, зокрема методу асоціативних правил, який дозволяє виявляти закономірності між характеристиками взаємодії з користувачем та ймовірністю помилок або збоїв [3,4]. Хоча асоціативні правила широко використовуються в таких галузях, як роздрібна торгівля, кібербезпека та біоінформатика, їх потенціал у підтримці ергономічних рішень у ERP-системах залишається значною мірою невикористаним [5,6].

Аналіз досліджень. У сфері управління ризиками інформаційних систем традиційно основна увага приділялася технічним аспектам: забезпеченню безперебійної роботи серверної інфраструктури, захисту даних, відмовостійкості програмного забезпечення тощо. Однак у випадку ERP-систем, які працюють у складних багаторівневих організаційних середовищах, користувач відіграє ключову роль у формуванні ризикованих ситуацій, зокрема через специфіку його взаємодії з інтерфейсом системи [7,8].

Наукові дослідження підтверджують, що понад 60% помилок у критичних IT-системах пов'язані з людським фактором: неочікувані дії користувача, неправильна інтерпретація візуальної інформації, високе когнітивне навантаження або невідповідна структура інтерфейсу [4,9]. Це особливо характерно для ERP-систем, які включають складну операційну логіку, численні модулі (логістика, фінанси, виробництво, CRM тощо) та вимагають глибокого розуміння бізнес-контексту від користувача [10].

До ключових факторів, що викликають ризик, у контексті взаємодії людини з машиною в ERP-середовищі, належать:

- надмірна кількість дій, необхідних для завершення бізнес-операції;
- багаторівнева навігація без чіткої візуальної ієрархії;
- невідповідність між інтерфейсами та конкретними завданнями окремих користувачів (невідповідність на основі ролей);
- відсутність контекстної підтримки під час виконання рідкісних або нестандартних сценаріїв [11,12].

Ряд досліджень пропонує інтегрувати в середовища ERP підходи, засновані на когнітивних моделях користувачів, ергономії та контекстно-залежному моніторингу використання [12,13]. Зокрема, у [1] обґрунтовується необхідність адаптивних ERP-систем, які автоматично реагують на зміни робочого навантаження користувачів або виявлення неефективної поведінки. Однак методи, що дозволяють формальну ідентифікацію закономірностей між поведінкою користувача, елементами інтерфейсу та пов'язаними з ними ризиками, залишаються обмеженими.

У цьому контексті застосування методів інтелектуального аналізу даних, зокрема інтелектуального аналізу асоціативних правил є дуже актуальним. Метод асоціативних правил дозволяє ідентифікувати правила «якщо-тоді», де антецедент (X) описує контекст або умови взаємодії, а наслідок (Y) представляє подію або стан, пов'язані з ризиком [5,14]. Цей підхід широко застосовується в таких галузях, як управління ризиками [15], аналіз поведінкових моделей [11,16] та прогнозування помилок в інтерактивних системах [17].

На відміну від традиційних статистичних методів, метод асоціативних правил не вимагає попереднього формулювання гіпотез щодо зв'язків між змінними. Це дозволяє виявляти неочевидні закономірності в поведінці користувачів ERP, які можуть служити індикаторами потенційних збоїв або ергономічних невідповідностей. Виявлення таких правил дозволяє перейти до проактивної підтримки рішень, що запобігає ризикованим сценаріям до того, як станеться фактична помилка [13,18].

На жаль, незважаючи на велику кількість досліджень у галузі методів побудови ERP-систем, а також методів інтелектуального аналізу даних (застосовуваних до різних сфер людської діяльності) [19], ефективна методологія проектування адаптивних ERP-систем, орієнтована на використання системи асоціативних правил, до кінця не розроблена.

У зв'язку з виявленими проблемами ми поставили завдання розробити методологію побудови спеціального модуля для ERP-системи, орієнтованого на виявлення можливих проблемних ситуацій та формування спеціальних рекомендацій щодо мінімізації ризиків взаємодії людини з машиною.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Методологія дослідження базується на застосуванні аналізу асоціативних правил для виявлення прихованих залежностей між характеристиками інтерфейсу ERP-системи, діями користувачів та ризиком помилок під час людино-машинної взаємодії. Такий підхід дозволяє перейти від реактивного виявлення помилок до проактивного запобігання ризикованим сценаріям взаємодії.

На початковому етапі дані збираються з реального середовища ERP-системи, що використовується середнім комерційним підприємством. Інформація отримується з системних журналів, які фіксують активність користувачів, а також з додаткових джерел, включаючи опитування, спостереження та звіти про помилки. Основні типи зібраних даних включають: кількість натискань, кількість переходів між екранами, тривалість стандартних операцій, кількість повернень до попередніх кроків та системні повідомлення про помилки (приклад наведено на рис. 1).

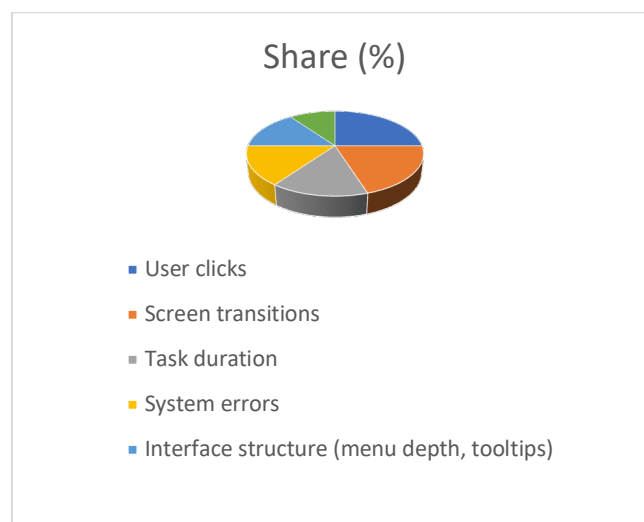


Рис. 1. Розподіл типів даних, зібраних для аналізу асоціативних правил

Паралельно реєструються характеристики інтерфейсу, такі як глибина меню, кількість елементів керування та наявність підказок. Додаткові дані включають атрибути профілю користувача: рівень досвіду, посаду та проходження навчання. Більшість учасників мали менше одного року досвіду роботи з ERP, що вплинуло на очікувану складність взаємодії. На рис. 2 детально показано розподіл рівнів користувацького досвіду. Для оцінки суб'єктивного робочого навантаження використовується шкала NASA-TLX.

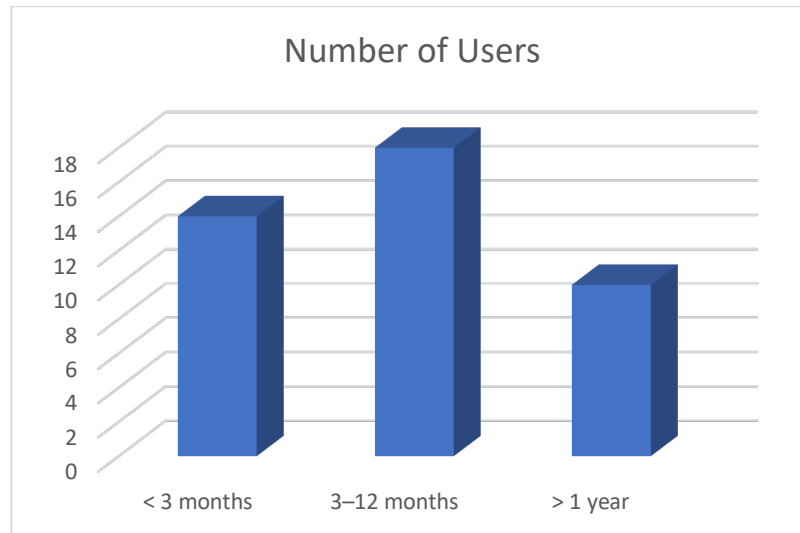


Рис. 2. Розподіл користувачів ERP за досвідом роботи в експериментальній групі

Після збору даних вони обробляються та класифікуються. Числові та текстові показники перетворюються на категоріальні класи, наприклад: досвід менше трьох місяців, глибина меню перевищує три рівні, час взаємодії більше 60 секунд. Кожен запис у цьому форматі представляє певний сценарій взаємодії користувача з ERP-системою та формується як набір логічних атрибутів. Ці транзакції служать вхідними даними для подальшого аналізу асоціацій. Обсяг даних був значно зменшений під час послідовних етапів попередньої обробки, включаючи фільтрацію, сортування по групах та форматування. На рис. 3 показано кількість записів, що зберігаються після кожного кроку.

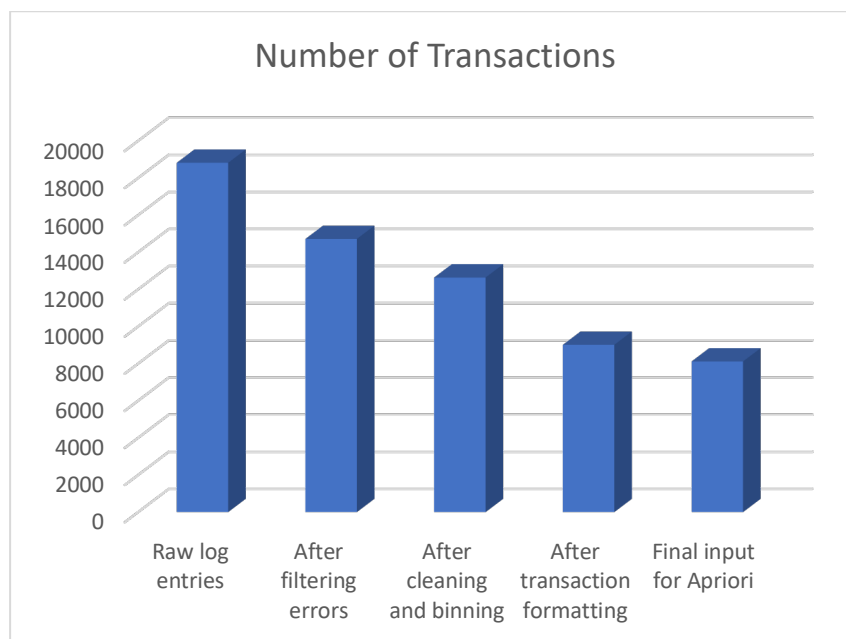


Рис. 3. Кількість записів взаємодії з ERP шляхом попередньої обробки та форматування даних

Для виявлення закономірностей застосовується алгоритм Апріорі асоціативних правил. Він генерує логічні залежності у форматі "якщо-тоді", де умови відповідають певним комбінаціям поведінкових та ергономічних показників, а наслідки представляють типи помилок або сценаріїв ризику. Під час аналізу встановлюються порогові значення, щоб обмежити результуючі правила тими, що мають практичне значення: підтримка - не менше 5%, довіра - не менше 70%, підйом – більше 1 [20]. В результаті генерується понад 500 правил, серед яких 64 демонструють найвищий рівень стабільності та повторюваності. Багатоетапний процес фільтрації призвів до компактного та

практично придатного для використання набору правил. На рис. 4 показано кількість правил, що зберігаються на кожному етапі вибору.

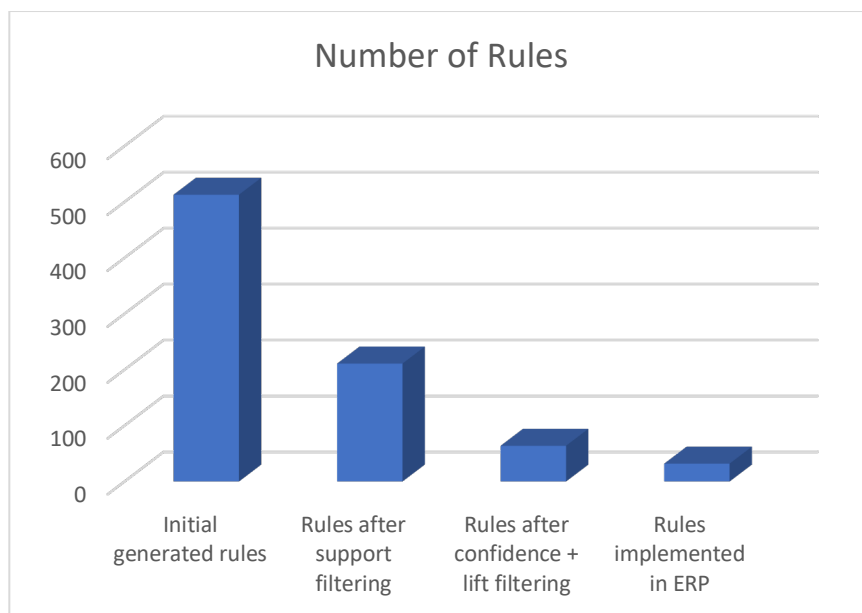


Рис. 4. Процес відбору правил на основі порогових значень підтримки, довіри та підйому

Один ілюстративний сценарій взято з модуля закупівель. Новий співробітник відділу закупівель, який має менше трьох місяців досвіду роботи з ERP, створює замовлення на купівлю. Стандартна форма містить 12 полів: код товару, одиниця виміру, кількість, дата доставки, постачальник тощо. Інтерфейс форми містить вкладені розділи та кнопки навігації, що ускладнює роботу користувача. Під час виконання завдання система реєструє п'ять переходів між підменю, тривалість сеансу 94 секунди, три повернення до попередніх кроків та помилку через незаповнене обов'язкове поле: «дата доставки». Після обробки сценарій представляється як транзакція:

{досвід < 3 місяці, глибина меню > 3, тривалість > 60 с, 3+ повернення} → {високий ризик помилки}.

Такі транзакції аналізуються та узагальнюються в правила, що дозволяють системі навчатися та прогнозувати ймовірність помилок за подібних умов. У наступній таблиці наведено приклади правил, отриманих під час аналізу.

Табл. 1. Приклади асоціативних правил, виявлених у дослідженні

№	Умови (X)	Наслідок (Т)	Підтримка	Достовірність	Підйом
1	досвід < 3 місяців, глибина меню > 3	помилка введення даних	0.14	0.81	2.3
2	> 5 переходів, без підказки, темна тема інтерфейсу	зниження швидкості взаємодії	0.11	0.75	1.8
3	форма з 10+ полями, багаторівневе меню, багато варіантів повернення	переривання завдання	0.09	0.73	2.1

Виявлені правила формують основу адаптивної моделі підтримки рішень, інтегрованої в інтерфейс ERP-системи. Модуль постійно відстежує дії користувачів та порівнює їх з набором виявлених шаблонів ризику. Коли відбувається збіг, система реагує відповідно – контекстними

підказками, автоматичним спрощенням форми, покроковим режимом виконання або ініціюванням керованого навчання. Така поведінка системи не тільки мінімізує рівень помилок, але й покращує взаємодію з користувачем, особливо у випадках, пов'язаних з новими або стресовими завданнями.

Ефективність моделі підтверджено за допомогою 10-кратної перехресної перевірки. Застосовуються стандартні показники продуктивності: точність досягає 82%, повнота – 77%, а F-міра дорівнює 0,79. Емпіричні результати експериментального впровадження також показують значні покращення: кількість критичних помилок зменшується на 24%, а середній час виконання завдання зменшується на 12%.

Експериментальне впровадження розробленої інформаційної технології було проведено в рамках ERP-системи, орієнтованої на економічні операції, яка охоплює модулі бухгалтерського обліку, закупівель, фінансового контролю та складської логістики. Метою було оцінити ефективність асоціативного підходу у зниженні ризику помилок під час взаємодії людини з машиною, а також оцінити його вплив на продуктивність користувачів та робоче навантаження під час виконання типових економічних операцій.

У дослідженні взяли участь 42 користувачі, розділені на контрольну та експериментальну групи. Усі учасники працювали в одній ERP-системі, виконуючи ідентичні завдання в модулі закупівель: створення запитів, затвердження фінансування, обробка контрактів та управління внутрішніми переказами ресурсів. В експериментальній групі адаптивний модуль підтримки, заснований на виявлених правилах асоціації, був активований та взаємодіяв з користувачами в режимі реального часу.

Аналіз системних журналів показав зменшення середньої кількості помилок на користувача з 4,6 у контрольній групі до 3,5 в експериментальній групі, що становить зменшення на 24%. Найбільш помітне покращення спостерігалось серед користувачів з досвідом роботи менше трьох місяців, де рівень критичних помилок знизився з 6,1 до 4,1. Водночас середня тривалість складних транзакцій зменшилася зі 198 до 174 секунд, що свідчить про більшу впевненість, кращу навігацію в інтерфейсі та меншу кількість повторюваних дій. Сценарії, в яких спрацьовували підказки або адаптивні спрощені форми, продемонстрували найвищий рівень стабільності.

Позитивну тенденцію також підтвердили результати опитування з використанням методології NASA-TLX. Користувачі, які взаємодіяли з адаптивною системою, повідомили про середній бал когнітивного навантаження 2,7 бала порівняно з 3,5 у контрольній групі. Спостерігалось значне зниження розумової потреби, тиску часу та зусиль, необхідних для розуміння структури інтерфейсу. Це свідчить про реальне покращення сприйняття системи, особливо у складних багаторівневих формах.

Порівняння прогнозів системи з фактичними діями користувачів дозволило оцінити якість розробленої моделі. Були отримані такі значення: точність - 82%, повнота - 77%, F-міра - 0,79. У понад 68% випадків користувачі прийняли рекомендації системи, змінили свої дії або зменшили кількість непотрібних переходів, демонструючи як ефективність втручань, так і довіру до адаптивного модуля. Зведений огляд цих показників ефективності показано на рис. 5.

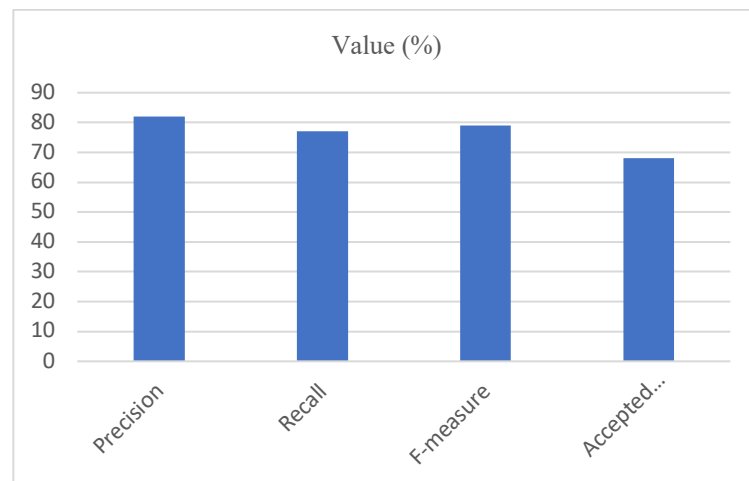


Рис. 5. Показники продуктивності адаптивної моделі на основі асоціативних правил

У деяких випадках після кількох взаємодій із системою було зафіксовано поступове зниження частоти помилок навіть без підказок активації.

Це можливо про можливий опосередкований ефект навчання, коли користувачі починають інтуїтивно уникати ризикованих моделей поведінки. Така владність досягти цінності інформаційної технології не тільки як реактивного інструменту, але й як компенсує формування стійких і ефективних моделей роботи в умовах складного середовища ERP-системи.

Результати експериментальної апробації підтвердили ефективність запропонованого підходу до мінімізації ризиків у критичних інформаційних системах за допомогою аналізу асоціативних правил. Інтеграція адаптивного модуля в ERP-систему — модуль, що динамічно регулює поведінку та інтерфейсні патерни — призвела до суттєвого покращення як технічних, так і ергономічних аспектів взаємодії користувачів.

Найбільш помітні позитивні ефекти були зафіксовані серед користувачів із мінімальною або середньою досвідом роботи з ERP, що підтверджує гіпотезу про особливу важливість адаптації інтерфейсу для цієї категорії. Зменшення середньої кількості помилок, скорочення часу виконання операцій та зниження суб'єктивного когнітивного навантаження свідчать про комплексний вплив моделі. У багатьох випадках активація підказок або адаптивних інтервенцій призвела до зміни сценаріїв дій користувачів до виникнення помилки — що демонструє проактивний характер підтримки системи. Порівняльна оцінка ключових показників ефективності наведена в табл. 2.

Табл. 2. Порівняння продуктивності ERP-системи з адаптацією та без

	Без адаптації	З адаптацією	Зміна (%)
Середня кількість помилок	4.6	3.5	-24%
Помилки нових користувачів	6.1	4.1	-33%
Середній час роботи (сек)	198	174	-12%
Когнітивне навантаження (NASA-TLX)	3.5	2.7	-23%
Точність класифікації ризиків	-	82%	-
Повнота виявлення ризиків	-	77%	-
F-оцінка	-	0.79	-
Прийняття підказки	-	68%	-

Отримані кількісні показники засвідчують стабільну ефективність моделі в умовах реального середовища, із збереженням балансу між точністю виявлення ризиків та релевантністю рекомендацій. Значення F-міри на рівні 0,79 вказує на оптимальне поєднання результативності та точності реакцій системи - особливо критичний чинник в інтерактивних контекстах, де хибнопозитивні інтервенції можуть мати негативний вплив, наприклад, знижувати довіру користувачів або продуктивність.

Зміни у поведінці користувачів також проявилися як важливий результат впровадження. У деяких випадках спостерігалось зменшення частоти помилок навіть без активної активації підказок, що свідчить про формування поведінкової адаптації. Багаторазова взаємодія з адаптивною ERP-системою сприяє виробленню нових когнітивних звичок, які залишаються ефективними навіть у рутинних сценаріях використання. Цей ефект може слугувати основою для подальшої інтеграції моделей підтримки, орієнтованих на ризики, із модулями навчання користувачів.

Метод було використано для забезпечення надійності систем керування в машинобудуванні, сільському господарстві, банківській справі тощо, а також у системах електронного навчання тощо. У майбутньому доцільно використовувати методологію при побудові інформаційної системи «International Center for the Support of Ergonomic Design and Research» в рамках Міжнародної ергономічної асоціації [19].

Висновки. Запропоновано підхід до мінімізації ризиків у критичних інформаційних системах класу ERP, заснований на методі асоціативних правил. Реалізована інформаційна технологія забезпечує адаптивну підтримку користувачів під час людино-машинної взаємодії, динамічно реагуючи на складність інтерфейсу, поведінкові характеристики та профілі операторів.

Методологічною основою підходу є формалізація ризико-небезпечних ситуаційних патернів шляхом асоціативного аналізу, що дозволяє виявляти неочевидні залежності між діями користувачів, параметрами інтерфейсу та ймовірністю помилкових рішень. Застосування алгоритму Априорі дало змогу сформувати базу правил, яка використовується для прогнозування потенційно критичних сценаріїв у режимі реального часу.

Результати експериментальної апробації в ERP-середовищі економічного призначення підтвердили практичну ефективність моделі. Досягнуто 24% скорочення кількості помилок, зменшення часу виконання завдань на 12%, а також майже 25% зниження когнітивного навантаження користувачів. Якісні метрики моделі - зокрема 82% точності та F-міра на рівні 0,79 - підтверджують її придатність до інтеграції у реальні корпоративні системи.

Позитивний вплив на новачків, підвищення впевненості під час взаємодії та ознаки поведінкового навчання вказують на значний потенціал подальшого розвитку моделі у напрямку адаптивного проєктування інтерфейсів та автоматизованої підтримки професійної діяльності.

Наукова новизна полягає у тому, що:

- відома методологія асоціативних правил використана та розширена на нову предметну область - «людський фактор в ERP-системах»;
- на відміну від відомих підходів до побудови ERP-систем, заснованих на статистичному аналізі можливих помилок, розроблена модель застосовує методологію «попередження помилок».

Практичне значення полягає у можливості створення ERP-систем, оснащених спеціальною підсистемою запобігання помилкам операторів, що сприяє підвищенню надійності та зниженню ризиків.

Список бібліографічного опису

1. Agrawal, R., Imieliński, T., & Swami, A. (1993). Mining Association Rules Between Sets of Items in Large Databases. *ACM SIGMOD Record*, 22(2), 207–216. <https://doi.org/10.1145/170036.170072>
2. Aloini, D., Dulmin, R., & Mininno, V. (2007). Risk management in ERP project introduction: Review of the literature. *Information & Management*, 44(6), 547–567. <https://doi.org/10.1016/J.IM.2007.05.004>
3. Das, P., Roddick, J. F., & Williams, P. A. (2024). Optimised Clustering Association Rule Mining with Health Data. *PEEIAACON 2024 - International Conference on Power, Electrical, Electronics and Industrial Applications*, 86–91. <https://doi.org/10.1109/PEEIAACON63629.2024.10800721>
4. Hahsler, M., Grün, B., & Hornik, K. (2005). arules - A Computational Environment for Mining Association Rules and Frequent Item Sets. *Journal of Statistical Software*, 14, 1–25. <https://doi.org/10.18637/JSS.V014.I15>
5. Kosch, T., Karolus, J., Zagermann, J., Reiterer, H., Schmidt, A., & Woźniak, P. W. (2023). A Survey on Measuring Cognitive Workload in Human-Computer Interaction. *ACM Computing Surveys*, 55(13s). <https://doi.org/10.1145/3582272/ASSET/B2CF9042-C771-469C-80AA-6B1A754C80AB/ASSETS/GRAPHIC/CSUR-2021-0464-INLINE3.JPG>
6. Lavrov, E. (2022). Mathematical Models of Human-Computer Interaction. Analysis of Human Operator Activity in Terms of Error Generation and Problem Elimination. 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2022 - Proceedings, 325–328. <https://doi.org/10.1109/PICST57299.2022.10238654>
7. Lavrov, E. A., & Siryk, O. E. (2022). Functional networks for ergonomics and reliability tasks on the 90th anniversary of A. Gubinsky and V. Evgrafov. *Sigurnost: Časopis Za Sigurnost u Radnoj i Životnoj Okolini*, 64(3), 245–257. <https://doi.org/10.31306/S.64.3.3>
8. Lavrov, E., Paderno, P., Siryk, O., Kyzenko, V., Kosianchuk, S., Bondarenko, N., & Burkov, E. (2021). Functional Networks for Modeling and Optimization Human-Machine Systems. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1313 AISC, 189–196. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66937-9_21
9. Lavrov, E., & Pasko, N. (2018). Development of Models for Computer Systems of Processing Information and Control for Tasks of Ergonomic Improvements. *Communications in Computer and Information Science*, 920, 98–109. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99972-2_8
10. Lavrov, E., Serdiuk, S., Ritter, F. E., Siryk, O., Presnall, A., Chybiriak, Y., & Zarina, S. (2023). Human Factors in Automated Systems. Methodology for the Computer System “International Center for the Support of Ergonomic Design and Research.” 5th IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2023 - Proceedings, 147–151. <https://doi.org/10.1109/AICT61584.2023.10452692>
11. Lavrov, E., Siryk, O., Sedova, N., Paderno, P., Burkov, E., & Vakal, S. (2021). Modeling Errors and Failures in Automated Human-Machine Control Systems to Solve Reliability Assessment Tasks. 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology, PIC S and T 2021 - Proceedings, 399–402. <https://doi.org/10.1109/PICST54195.2021.9772122>

12. Mobasher, B., Dai, H., Luo, T., & Nakagawa, M. (2002). Discovery and evaluation of aggregate usage profiles for Web personalization. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 6(1), 61–82. <https://doi.org/10.1023/A:1013232803866/METRICS>
13. Pinchuk, O. P., Sokolyuk, O. M., Burov, O. Yu., Lavrov, E., Shevchenko, S., & Aksakovska, V. (2020). ICT for training and evaluation of the solar impact on aviation safety. <https://doi.org/10.33407/LIB.NAES.722580>
14. Reason, J. (1990). Human Error. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139062367>
15. Salubre, K. J., & Nathan-Roberts, D. (2021). Takeover Request Design in Automated Driving: A Systematic Review. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 65(1), 868–872. <https://doi.org/10.1177/1071181321651296>
16. Shrestha, S., Abdinnour-Helm, S., & Chaparro, B. S. (2008). Using the Analytic Hierarchical Process to create a single usability score for website interfaces. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2, 1122–1126. <https://doi.org/10.1177/154193120805201605;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:PROE;WGROU:STRING:PUB LICATION>
17. Slavic, D. (2023). The main concepts of Industry 5.0: A Bibliometric Analysis Approach. 2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH57020.2023.10094143>
18. S.Mythili, M., & R. Mohamed Shanavas, A. (2013). Performance Evaluation of Apriori and FP-Growth Algorithms. *International Journal of Computer Applications*, 79(10), 34–37. <https://doi.org/10.5120/13779-1650>
19. Svensson, A., & Thoss, A. (2021). Risk Factors When Implementing ERP Systems in Small Companies. *Information 2021*, Vol. 12, Page 478, 12(11), 478. <https://doi.org/10.3390/INFO12110478>
20. Wang, Y., Guo, J., Zeng, S., Mao, Q., Lu, Z., & Wang, Z. (2022). Human-Machine Trust and Calibration Based on Human-in-the-Loop Experiment. 2022 4th International Conference on System Reliability and Safety Engineering, SRSE 2022, 476–481. <https://doi.org/10.1109/SRSE56746.2022.10067635>

References

1. Agrawal, R., Imieliński, T., & Swami, A. (1993). Mining Association Rules Between Sets of Items in Large Databases. *ACM SIGMOD Record*, 22(2), 207–216. <https://doi.org/10.1145/170036.170072>
2. Aloini, D., Dulmin, R., & Mininno, V. (2007). Risk management in ERP project introduction: Review of the literature. *Information & Management*, 44(6), 547–567. <https://doi.org/10.1016/J.IM.2007.05.004>
3. Das, P., Roddick, J. F., & H Williams, P. A. (2024). Optimised Clustering Association Rule Mining with Health Data. *PEEIACON 2024 - International Conference on Power, Electrical, Electronics and Industrial Applications*, 86–91. <https://doi.org/10.1109/PEEIACON63629.2024.10800721>
4. Hahsler, M., Grün, B., & Hornik, K. (2005). arules - A Computational Environment for Mining Association Rules and Frequent Item Sets. *Journal of Statistical Software*, 14, 1–25. <https://doi.org/10.18637/JSS.V014.I15>
5. Kosch, T., Karolus, J., Zagermann, J., Reiterer, H., Schmidt, A., & Woźniak, P. W. (2023). A Survey on Measuring Cognitive Workload in Human-Computer Interaction. *ACM Computing Surveys*, 55(13s). <https://doi.org/10.1145/3582272/ASSET/B2CF9042-C771-469C-80AA-6B1A754C80AB/ASSETS/GRAPHIC/CSUR-2021-0464-INLINE3.JPG>
6. Lavrov, E. (2022). Mathematical Models of Human-Computer Interaction. Analysis of Human Operator Activity in Terms of Error Generation and Problem Elimination. 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2022 - Proceedings, 325–328. <https://doi.org/10.1109/PICST57299.2022.10238654>
7. Lavrov, E. A., & Siryk, O. E. (2022). Functional networks for ergonomics and reliability tasks on the 90th anniversary of A. Gubinsky and V. Evgrafov. *Sigurnost: Časopis Za Sigurnost u Radnoj i Životnoj Okolini*, 64(3), 245–257. <https://doi.org/10.31306/S.64.3.3>
8. Lavrov, E., Paderno, P., Siryk, O., Kyzenko, V., Kosianchuk, S., Bondarenko, N., & Burkov, E. (2021). Functional Networks for Modeling and Optimization Human-Machine Systems. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1313 AISC, 189–196. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66937-9_21
9. Lavrov, E., & Pasko, N. (2018). Development of Models for Computer Systems of Processing Information and Control for Tasks of Ergonomic Improvements. *Communications in Computer and Information Science*, 920, 98–109. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99972-2_8
10. Lavrov, E., Serdiuk, S., Ritter, F. E., Siryk, O., Presnall, A., Chybiriak, Y., & Zarina, S. (2023). Human Factors in Automated Systems. Methodology for the Computer System “International Center for the Support of Ergonomic Design and Research.” 5th IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2023 - Proceedings, 147–151. <https://doi.org/10.1109/AICT61584.2023.10452692>
11. Lavrov, E., Siryk, O., Sedova, N., Paderno, P., Burkov, E., & Vakal, S. (2021). Modeling Errors and Failures in Automated Human-Machine Control Systems to Solve Reliability Assessment Tasks. 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology, PIC S and T 2021 - Proceedings, 399–402. <https://doi.org/10.1109/PICST54195.2021.9772122>
12. Mobasher, B., Dai, H., Luo, T., & Nakagawa, M. (2002). Discovery and evaluation of aggregate usage profiles for Web personalization. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 6(1), 61–82. <https://doi.org/10.1023/A:1013232803866/METRICS>
13. Pinchuk, O. P., Sokolyuk, O. M., Burov, O. Yu., Lavrov, E., Shevchenko, S., & Aksakovska, V. (2020). ICT for training and evaluation of the solar impact on aviation safety. <https://doi.org/10.33407/LIB.NAES.722580>
14. Reason, J. (1990). Human Error. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139062367>
15. Salubre, K. J., & Nathan-Roberts, D. (2021). Takeover Request Design in Automated Driving: A Systematic Review. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 65(1), 868–872. <https://doi.org/10.1177/1071181321651296>

16. Shrestha, S., Abdinnour-Helm, S., & Chaparro, B. S. (2008). Using the Analytic Hierarchical Process to create a single usability score for website interfaces. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2, 1122–1126. <https://doi.org/10.1177/154193120805201605>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:PROE;WGROU:STRING:PUBLICATION
17. Slavic, D. (2023). The main concepts of Industry 5.0: A Bibliometric Analysis Approach. 2023 22nd International Symposium INFOTEH-IAHORINA, INFOTEH 2023. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH57020.2023.10094143>
18. S.Mythili, M., & R. Mohamed Shanavas, A. (2013). Performance Evaluation of Apriori and FP-Growth Algorithms. *International Journal of Computer Applications*, 79(10), 34–37. <https://doi.org/10.5120/13779-1650>
19. Svensson, A., & Thoss, A. (2021). Risk Factors When Implementing ERP Systems in Small Companies. *Information* 2021, Vol. 12, Page 478, 12(11), 478. <https://doi.org/10.3390/INFO12110478>
20. Wang, Y., Guo, J., Zeng, S., Mao, Q., Lu, Z., & Wang, Z. (2022). Human-Machine Trust and Calibration Based on Human-in-the-Loop Experiment. 2022 4th International Conference on System Reliability and Safety Engineering, SRSE 2022, 476–481. <https://doi.org/10.1109/SRSE56746.2022.10067635>