



УДК 331.108:004.8

# МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ГРУПОВОЇ ДИНАМІКИ ЛЮДСЬКИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВА ДЛЯ СИСТЕМНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ СЕРТИФІКАЦІЇ

## METHOD FOR FORECASTING GROUP DYNAMICS OF HUMAN RESOURCES IN AN ENTERPRISE TO SOLVE CERTIFICATION PROBLEM BASED ON A SYSTEM APPROACH

<sup>1</sup> Льовкін В.М., <sup>2</sup> Горобець В.І.

<sup>1</sup> Lovkin V.M., <sup>2</sup> Horobets V.I.

<sup>1,2</sup> Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна

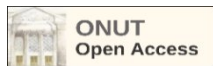
ORCID: <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6890-2807>, <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2905-9420>

E-mail: <sup>1</sup> [vliovkin@gmail.com](mailto:vliovkin@gmail.com), <sup>2</sup> [vladoshorobets@gmail.com](mailto:vladoshorobets@gmail.com)

Copyright © 2025 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v17i4.3292

**Анотація:** У межах дослідження було розроблено метод прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства шляхом класифікації працівників за ймовірністю їхнього звільнення та створено програмне забезпечення, що підвищує ефективність управління персоналом та дозволяє використовувати його зокрема під час підготовки до проведення сертифікації систем управління якістю на підприємстві. Запропонований метод дозволяє своєчасно виявляти ризики втрати ключових співробітників, мінімізувати витрати, пов'язані із заміною кадрів, що має прямий економічний ефект для організації, та забезпечувати підтримку принципів задіяності персоналу, процесного підходу, прийняття рішень на основі фактичних даних і керування взаємовідносинами для забезпечення необхідного для сертифікації рівня системи управління якістю на підприємстві. Методологія дослідження базується на застосуванні методів машинного навчання, зокрема методу *Random Forest*, доповнена процедурою автоматичного відбору ознак для оптимізації якості прогнозування. Такий підхід забезпечує побудову високоточної моделі класифікації на основі комплексного аналізу великих обсягів даних про людські ресурси, включаючи демографічні, професійні та поведінкові характеристики працівників. Запропонований метод включає етапи збору та очищення даних, нормалізацію і кодування змінних, визначення інформативності ознак, навчання моделі, підтримуючи в подальшому оцінку її точності за основними метриками класифікації. Результати експериментальної перевірки підтверджують високу прогностичну здатність моделі та її здатність ефективно ідентифікувати групи людських ресурсів із підвищеним ризиком звільнення. Практична значущість дослідження полягає у можливості інтеграції розробленого програмного продукту в корпоративні системи керування людськими ресурсами для підтримки прийняття рішень, автоматизації процесів управління персоналом і формування індивідуальних програм мотивації. Отримані результати можуть бути застосовані в бізнесі та корпоративному менеджменті для оптимізації людських ресурсів, підвищення продуктивності праці та зменшення ризиків втрати цінних кадрів.

**Abstract:** Within the scope of the study, method for forecasting group dynamics of human resources in an enterprise was developed through the classification of employees based on their resignation likelihood, accompanied by the development of software. This complex solution enhances human resource management efficiency, supports preparation for certification of quality management systems at an enterprise. The proposed method enables timely identification of risks associated with the loss of key personnel, while minimizing costs related to employee replacement, thereby providing a direct economic benefit to the organization. It provides support for the principles of quality management, including engagement of people, process approach, evidence-based decision making and relationship management, to maintain



*quality management system at an enterprise on the level appropriate for its certification. The research methodology is based on the application of machine learning methods, specifically the Random Forest method, supplemented by an automated feature selection procedure to optimize prediction quality. This approach ensures the construction of a highly accurate classification model based on comprehensive analysis of large volumes of data on human resources, including demographic, professional, and behavioral characteristics. The proposed method encompasses stages of data collection and cleaning, normalization and encoding of variables, determination of feature informativeness, model training, supporting evaluation of its accuracy using key classification metrics afterwards. Experimental results confirm the high predictive capability of the model and its effectiveness in identifying groups of human resources with an elevated risk of resignation. The practical significance of the study is defined by the possibility of integrating the developed software into corporate human resource systems to support decision-making, automate personnel management processes, and implement individualized motivation programs. The obtained results can be applied in business and corporate management to optimize human resources, improve labor productivity, and reduce the risks associated with the loss of valuable employees.*

**Ключові слова:** прогнозування, плинність кадрів, людські ресурси, сертифікація, групова динаміка, штучний інтелект, машинне навчання, дерева рішень, Random Forest, системний аналіз.

**Keywords:** forecasting, employee turnover, human resources, certification, group dynamics, artificial intelligence, machine learning, decision trees, Random Forest, system analysis.

---

## ВСТУП

В сучасних соціально-економічних умовах проблема плинності людських ресурсів набуває особливої гостроти, оскільки вона відображає комплексну взаємодію внутрішніх і зовнішніх чинників, що впливають на стабільність функціонування підприємств. Динаміка ринку праці, економічні коливання, зміна кар'єрних орієнтацій працівників та стрімке поширення цифрових технологій формують нові тенденції у сфері зайнятості, стимулюючи персонал до частішої зміни місця роботи. Процес пошуку нової професійної можливості, який раніше вимагав суттєвих витрат часу й ресурсів, нині значно спрощений завдяки появі численних онлайн-платформ і сервісів працевлаштування [1].

У той же час комплексний розгляд даної проблеми в сучасних умовах неможливий без врахування необхідності сертифікації відповідних систем управління якістю на підприємствах, що є складовою частиною забезпечення адекватного рівня діяльності підприємства в сучасних ринкових умовах. Оскільки людські ресурси та пов'язані з ними процеси є одними з ключових чинників управління якістю, то саме комплексний розгляд проблеми є доцільним. Міжнародні стандарти у сфері систем управління якістю [2]-[4] визначають сукупність принципів управління якістю, серед яких безпосередньо з управлінням людськими ресурсами пов'язані задіяність персоналу, процесний підхід, прийняття рішень на основі фактичних даних і керування взаємовідносинами. Таке підґрунтя дозволяє вказувати на те, що прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства є важливим в контексті управління якістю. Відповідно забезпечення високого рівня точності реалізації даного процесу в контексті управління людськими ресурсами є важливим завданням.

З іншого боку після початку повномасштабного вторгнення в Україну ситуація на ринку праці суттєво ускладнилася, адже війна спричинила глибокі структурні зміни в економіці та соціальному житті. Масове переміщення населення, мобілізація, руйнування інфраструктури та загальна невизначеність призвели до гострого дефіциту людських ресурсів, зростання плинності кадрів. Підприємства вимушені адаптуватися до умов, у яких нестабільність людських ресурсів стає одним із ключових ризиків для їх ефективності. Зменшення продуктивності, втрата критично важливих знань, підвищення витрат на пошук, навчання та утримання працівників – лише частина наслідків, що негативно впливають на конкурентоспроможність бізнесу. Саме тому удосконалення системи управління персоналом та мінімізація небажаної плинності набувають особливого стратегічного значення [5].

У сучасних умовах важливу роль у вирішенні кадрових проблем відіграють технології, засновані на використанні штучного інтелекту. Їх інтеграція у системи управління людськими ресурсами відкриває можливості для створення прозорих, персоналізованих і ефективних мотиваційних механізмів. Аналіз великих масивів даних щодо продуктивності, професійної поведінки, уподобань і потреб працівників дозволяє формувати адаптовані моделі впливу, які підвищують задіяність персоналу, що зокрема є принципом управління якістю, та знижують ризики звільнення. Комплексне застосування економічних, соціальних, психологічних та морально-виховних стимулів сприяє стабільності функціонування підприємства, а автоматизація кадрових процесів істотно скорочує витрати й мінімізує вплив суб'єктивних факторів, включно з упередженнями чи корупційними ризиками [6]. Це створює передумови для формування стійкого кадрового потенціалу, покращує якість відбору та оцінювання персоналу й підвищує загальну ефективність управління [7], [8].

У рамках дослідження застосовано комплекс взаємодоповнюючих методів і алгоритмів, що забезпечив системний аналіз теоретичних засад, сучасних технологічних рішень та практичних підходів до мінімізації плинності персоналу із використанням інструментів штучного інтелекту [9]. Реалізація такого підходу покликана зменшити витрати, пов'язані з плинністю кадрів, забезпечити своєчасне виявлення ризиків втрати ключових



спеціалістів, що сприятиме довгостроковій стабільності та розвитку підприємств через забезпечення готової до сертифікації системи управління якістю.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Актуальні наукові дослідження засвідчують, що проблема плинності кадрів посідає провідне місце в сучасній теорії та практиці управління людськими ресурсами, оскільки вона безпосередньо впливає на ефективність функціонування організацій, їхній інноваційний потенціал, адаптивність до змін зовнішнього середовища та загальну конкурентоспроможність. У світовій академічній літературі плинність персоналу розглядається як складне багатофакторне соціально-економічне явище, що формується під впливом внутрішньоорганізаційних умов (характеристика робочого середовища, стиль керівництва, система мотивації й винагород), індивідуально-психологічних особливостей працівників (рівень професійних очікувань, суб'єктивне сприйняття справедливості, емоційне вигорання) та зовнішніх факторів (ринок праці, економічні коливання, конкурентні пропозиції зайнятості). У частині досліджень аналізуються окремі складові плинності кадрів, зокрема у роботі [10] аналізується виснаження працівників.

У багатьох дослідженнях теоретичні засади аналізу звільнень співробітників базуються на вивченні взаємозв'язку між мотиваційними детермінантами, рівнем задоволеності працею, організаційною лояльністю та доступністю альтернативних можливостей працевлаштування. Вчені підкреслюють, що висока плинність кадрів не лише спричиняє прямі економічні втрати для підприємств, пов'язані з витратами на пошук і навчання нових працівників, але й створює ризики втрати ключових компетенцій, що негативно відбивається на принципах управління якістю, зокрема задіяності персоналу, та на стратегічному розвитку організації загалом.

Окрему увагу в сучасному науковому дискурсі приділено використанню новітніх цифрових технологій, зокрема інструментів штучного інтелекту (ШІ), які дедалі частіше застосовуються для оптимізації процесів управління персоналом. Інтеграція алгоритмів машинного навчання та аналітики великих даних у процеси керування людськими ресурсами відкриває можливості для підвищення їх прозорості, об'єктивності та персоналізованості, що є особливо важливим у побудові дієвих систем мотивації та утримання людськими ресурсами. Сучасні моделі прогнозування дають змогу на ранніх етапах виявляти приховані індикатори незадоволеності роботою, зміни поведінкових патернів або ймовірність наміру співробітника звільнитися [9], [11].

У роботі [12] досліджується прогнозування плинності кадрів на основі ласо-регресії, методів Random Forest та Gradient Boosting. При цьому прогнозування стосовно людських ресурсів забезпечується одразу сукупно, тобто встановити, який саме працівник звільниться, а який ні – неможливо, адже прогнозування відбувається стосовно рівня плинності кадрів, який може бути виражений або кількістю звільнень за відповідний період або відсотком звільнених працівників. У роботі [12] на виході отримується загальна кількість звільнених працівників. У роботі [13] виходом моделі є представлення рівня плинності у вигляді відсоткового співвідношення. При цьому дослідження базується на використанні методів ансамблів дерев рішень XGBoost, Random Forest, окремих дерев рішень, логістичної регресії, методу опорних векторів, k-найближчих сусідів та 2 глибоких моделей на основі архітектури Transformer. У обох випадках це дозволяє розуміти динаміку групи тільки в загальному вигляді.

У роботі [14] прогнозування плинності кадрів відбувається на основі індивідуального базису, використовуючи регресійні моделі.

Існує цілий ряд робіт, де досліджується вплив різних факторів на ймовірність звільнення працівника. Зокрема в роботі [15] узагальнено великий масив таких робіт, в результаті чого виділено сукупність таких чинників. Враховуючи велику кількість таких чинників, слід розуміти, що існуючі дослідження не зовсім враховують таку широту, адже зазвичай спрямовані на дослідження окремих залежностей, а загалом передбачають значне обмеження набору вхідних ознак. Окрім того вони концентруються на особливостях окремих областей. У роботі [16] аналізуються особливості фармацевтичних організацій, у роботі [12] – державних установ з охорони здоров'я, у роботі [17] – будинків для людей похилого віку, у роботі [15] – сектору фінансових послуг. Усі вони мають свої особливості, що призводить до того, що для кожної окремої області створюється окремий інструмент для виконання прогнозування, а на вибірку даних накладаються чіткі умови стосовно наявності вхідних ознак. Відповідно за відсутності певних ознак у вибірці можна вважати, що така задача змінюється, таким чином потребуючи окремого дослідження і окремого інструменту для прогнозування на виході. Окремі моделі мають створюватися для кожної сфери, в якій діє підприємство, та для кожного набору умов, представлених набором вхідних ознак. Таким чином збільшується навантаження на програмну систему, яка надає можливості для підтримки управління персоналом у різних сферах одночасно.

У роботі [18] також досліджується вплив ознак, проте в даному випадку докладно досліджено вплив окремих ознак, моделі для прогнозування створюються на основі . Усі ознаки розділені на групи: компетенції, відданість, довіра, культурні цінності. До групи компетенцій відносяться ознаки, що включають тривалість академічних компетенцій, оцінку аналітичних компетенцій, демографічний показник, оцінку фізичного стану, оцінку лідерських здатностей. До групи відданості відносяться ознаки, що включають афективну відданість,



волонтерські активності. До групи ознак довіри належить організаційна та індивідуальна довіра. До групи ознак культурних цінностей належать оцінка знань мови стосовно писемності, стосовно говоріння, тип освіти, країна народження, релігія. Тож слід констатувати, що набір ознак у цьому дослідженні сильно обмежений.

У результаті постає важливе науково-практичне завдання: визначити, яким чином інтелектуальні системи аналізу даних можуть бути застосовані для розроблення персоналізованих мотиваційних стратегій, здатних ефективно зменшувати ризики плинності кадрів. Це зумовлює потребу у комплексному дослідженні потенціалу ІІІ у сфері управління людськими ресурсами та обґрунтуванні механізмів його інтеграції у процеси прогнозування й управління поведінкою персоналу. Таким чином, прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства в цьому дослідженні має здійснюватися як в загальному вигляді, так і в розрізі окремих працівників, при чому даний підхід має бути універсальним та дозволяти працювати з різними наборами вхідних ознак у різних сферах діяльності підприємств.

### МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження — розроблення методу прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства шляхом класифікації працівників за ймовірністю звільнення та створення відповідного програмного забезпечення для підтримки управлінських рішень стосовно людських ресурсів. Реалізація такого підходу покликана зменшити витрати, пов'язані з плинністю кадрів, та забезпечити своєчасне виявлення ризиків втрати ключових спеціалістів, що сприятиме довгостроковій стабільності та розвитку підприємств.

### МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У сучасних умовах нестабільного ринку праці питання збереження ключового персоналу набуває стратегічного значення для будь-якої організації. Окрім того це питання є одним з ключових для забезпечення діяльності системи управління якістю зокрема за необхідності подальшого виконання сертифікації такої системи. Слід розуміти, що людські ресурси підприємства є одними з його зацікавлених сторін, а висока плинність їх є вираженням незабезпечення принципу керування взаємовідносинами як принципу управління якістю [2]. Окрім того це може призвести до втрати загальної керованості, а процесний підхід як принцип управління якістю буде призводити до недотримання очікуваних результатів стосовно окремих або всіх процесів. Це вказує на важливість сумарної оцінки плинності кадрів, тобто сумарної кількості працівників, яка звільниться за певний період. Прогнозування такого показника дозволяє на основі розуміння подальших змін оцінювати поточний стан, виявляти необхідність зміни діяльності підприємства, можливо навіть стратегії.

У той же час реалізація принципу задіяності персоналу визначає те, як кожен окремих працівник задіяний у забезпеченні якості на підприємстві. Для цього необхідно розуміти ступінь впливу кожного окремого працівника та те, яким чином його відсутність вплине на діяльність організації, на окремі процеси, тобто зокрема і на принцип процесного підходу. Відповідно виникає потреба в індивідуальній оцінці схильності працівника до того, щоб залишити підприємство. За своєчасного отримання оцінки за індивідуальним працівником можна реалізовувати заходи, які можуть змінити його наміри, таким чином уникаючи загальних проблем з плинністю кадрів, індивідуальних змін, а відповідно і впливу на принципи і систему управління якістю. При цьому рішення приймаються на основі результатів прогнозування, а ті в свою чергу на основі всієї сукупності оцінок стану кожного окремого працівника, таким чином реалізуючи принцип прийняття рішень на основі фактичних даних. Важливим є також використання такої моделі прогнозування, щоб ці рішення можна було пояснити, адже тільки тоді даний принцип забезпечується в повній мірі. Зокрема штучні нейронні мережі не забезпечують цей принцип повною мірою. Вони дозволяють визначити оцінку, але вони не дозволяють прозоро пояснити, як така оцінка була отримана.

Одним із дієвих підходів до управління трудовими ресурсами є аналіз плинності кадрів на основі історичних даних про працевлаштування та поведінкових характеристик працівників. Для розв'язання завдань даного дослідження необхідна розробка одночасно і методу, і програмного засобу, який впроваджує виконання такого методу, щоб сукупно забезпечити прогнозування групової динаміки людських ресурсів на підприємстві. При цьому сама відповідна задача полягає в тому, щоб виконати прогнозування на основі розв'язання базової підзадачі бінарної класифікації, яка полягає в тому, щоб за кожним працівником на основі набору значень вхідних ознак віднести його до одного з 2 класів на виході. Це класи «звільниться» або «не звільниться». Відповідно вихідна ознака визначає приналежність до класу таких працівників, які звільняться протягом періоду часу  $T$ , який розглядається. Те, який саме період часу розглядається, визначається зокрема і вибіркою даних, що містить історичні дані за працівниками. Тоді за кожним працівником, представленим відповідним записом у вибірці даних, має бути визначено те, чи він звільниться протягом однакового заданого періоду часу  $T$ , що має бути попередньо встановлений.

Тоді розв'язання підзадачі бінарної класифікації призводить до створення моделі, що встановлює залежність між набором вхідних ознак (вік, досвід роботи, стаж, рівень задоволеності тощо) та класом, який констатує факт звільнення працівника протягом наступного періоду часу  $T$ . Вибір значення  $T$  є суттєвим, адже це дозволяє



встановити і ті часові межі, у рамках яких звільнення вважається проявом плинності кадрів, а не запланованою чи організаційною ротацією [19].

Розв'язання підзадачі бінарної класифікації призводить до того, що застосовуючи метод її розв'язання для кожного працівника  $e$  з набору працівників підприємства  $E$  ( $e \in E$ ), можна обчислити кількість працівників  $e$ , які звільняться протягом періоду часу  $T$ . Це і стане результатом розв'язання загальної задачі прогнозування групової динаміки людських ресурсів на підприємстві.

Відповідно розв'язання даної задачі в загальному вигляді відповідає принципам сертифікації, які були описані вище, в повній мірі. Тобто забезпечується і загальна, і індивідуальна складова, необхідна для підтримки основних принципів управління якістю.

У такому випадку далі необхідно визначити вигляд залежності між набором вхідних ознак та класом на виході. Працівники з високою ймовірністю звільнення зазвичай демонструють певні повторювані патерни: короткий період роботи, низьку продуктивність, знижену залученість, обмежені можливості професійного зростання, часті скарги або звернення до служб управління людськими ресурсами. Виявлення таких ознак є основою для побудови ефективної класифікаційної моделі.

У межах цього дослідження кожен запис у вибірці працівників розглядається як окремий приклад підзадачі машинного навчання, що належить до одного з двох класів. Для ефективного розв'язання поставленої підзадачі необхідно здійснити обґрунтований вибір методу машинного навчання, який максимально відповідатиме визначеним критеріям оцінювання, що включають точність класифікації, стійкість до шуму, обчислювальну ефективність та інтерпретованість результатів [20]. Інтерпретованість результатів є критичною для забезпечення надійної системи управління якістю та підготовки для подальшої її сертифікації. Без наявності інтерпретованих результатів в повній мірі не можна забезпечити принцип прийняття рішень на основі фактичних даних.

Визначення оптимальної моделі машинного навчання є одним із найважливіших етапів дослідницького циклу, оскільки саме адекватність обраної моделі, з урахуванням специфіки даних, розміру вибірки, природи цільової змінної та обмежень обчислювальних ресурсів, фундаментально впливає на кінцеву прогностичну продуктивність при розв'язанні задачі прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства. У межах дослідження як основний метод було обрано Random Forest, оскільки він демонструє вищу точність класифікації, стійкість до шуму в даних, здатність ефективно працювати з великими множинами ознак [21]. Окрім того отримані результати мають високу інтерпретованість, на відміну від моделей на основі штучних нейронних мереж, які також демонструють співмірну або в певних задачах вищу точність. За методу Random Forest можна встановити на основі яких правил, побудованих за вхідними ознаками, було отримано вихідний результат. Таке пояснення може застосовуватись для прийняття рішень, адекватних для управління якістю у відповідності з міжнародними стандартами [2]-[4]. Альтернативами є зокрема моделі на основі лінійної регресії [22] та дерев рішень [23], що часто використовуються для розв'язання таких задач, як було встановлено під час аналізу літературних джерел. Зазвичай метод Random Forest [24] перевершує їх за прогностичною стабільністю та здатністю відтворювати складні нелінійні залежності, що робить його оптимальним інструментом для оцінювання ймовірності звільнення працівників. Це зокрема пояснюється наявністю цілої сукупності дерев рішень на відміну від однойменної моделі.

Для розв'язання задачі прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства у роботі запропоновано відповідний метод, який складається з наступних етапів.

На початковому етапі встановлюється період часу  $T$  та формується структурований масив даних, що містить індивідуальні та професійні характеристики працівників, за якими відомо результати їх перебування на роботі на підприємстві протягом встановленого періоду часу  $T$  на основі історичних даних. Цей структурований масив даних має бути представлений у табличному форматі відповідно до вимог репрезентативності вибірки. Однією з ознак є вихідна, яка встановлює те, чи звільнився відповідний працівник з роботи на цьому підприємстві протягом заданого періоду часу  $T$ . Для забезпечення репрезентативності вибірки потрібно охопити різні підрозділи підприємства, посади працівників, вікові категорії та рівні кваліфікації, щоб відбити структуру кадрового складу та підвищити відповідність аналітичних висновків реальній ситуації на підприємстві.

На наступному етапі роботи методу здійснюється первинний аналіз даних із виявленням та усуненням помилок, пропусків і аномалій, що забезпечує їх якість та узгодженість. Необхідно застосувати автоматизовані методи очищення (алгоритми виявлення викидів), експертну перевірку, щоб мінімізувати втрату важливої інформації. Будь-які випадки дублювання даних мають бути вирішені шляхом видалення таких повторних записів. Для кожної ознаки має бути визначено значення за замовчуванням, а експерт має визначити, чи доцільним є використання значення за замовчуванням за кожного пропущеного значення ознак, чи ні. Значеннями за замовчуванням можуть бути обрані медіанні значення відповідних ознак. Цей аналіз можна також посилити додатковим вивченням вибірки, щоб зрозуміти, які ознаки є найбільш інформативними. Якщо значення за суттєвою частиною таких ознак пропущені, то спостереження за таким працівником мають бути видалені з вибірки. Якщо ні, то може бути застосовано відповідні значення за замовчуванням для таких ознак.



Наступний етап передбачає трансформацію даних: нормалізацію числових змінних, кодування категоріальних ознак і формування нових узагальнених показників, що покращують опис закономірностей плинності кадрів.

Далі виконується відбір інформативних ознак  $F$ , які слід вважати найбільш релевантними для побудови моделі. Даний етап дозволяє працювати з вибіркою даних різної структури, а не орієнтуватися на окрему чітку визначену структуру вибірки, тобто відповідно чітко зафіксований набір ознак, значення за якою з яких має бути обов'язково зафіксовано за спостереженнями у вибірці. Це дозволяє застосовувати запропонований метод для різних наявних структур даних, що описують особливості обліку людських ресурсів на підприємстві. Запропоновано виконувати етап відбору інформативних ознак на основі критерію  $\chi^2$ , що дозволяє як виключити малозначущі змінні, так і зменшити ризик перенавчання моделі.

На основі підготовлених даних за інформативними ознаками з множини  $F$  на наступному етапі будується модель класифікації за методом Random Forest, який ефективно враховує нелінійні залежності та взаємодії між ознаками, здійснюється оптимізація його гіперпараметрів.

На наступному етапі має бути забезпечено підготовку до прогнозування плинності кадрів на підприємстві. Для цього фіксується період часу, який розпочинається з поточного моменту і триває протягом  $T$  днів. Дані за кожним працівником, який на поточний момент працює на підприємстві, мають бути представлені окремими записами у наборі даних  $D$ . Набір ознак цього набору даних має відповідати множині  $F$ . При цьому на відміну від навчальної вибірки значення вихідної ознаки вже не фіксується. Для кожної ознаки, у випадку пропущеного значення за певним спостереженням, має бути встановлене конкретне значення шляхом уточнення, додаткового опитування або іншого методу, який дозволить встановити фактичне значення.

Далі структурований набір даних  $D$  має бути поданий на вхід навченої моделі, а вона має забезпечити класифікацію кожного спостереження. Дані про класи, до яких належить кожне спостереження, є першою частиною результатів. Вони включають індивідуальну складову результатів.

На останньому етапі має бути узагальнено отримані результати щодо загальної динаміки групи людських ресурсів на підприємстві. Для цього обчислюється кількість працівників за результатами, отриманими на попередньому етапі, що звільняться протягом періоду часу  $T$ . Це значення має бути розділене на загальну кількість працівників та помножене на 100 %, таким чином формуючи загальну складову результатів.

В сукупності індивідуальна та загальна складова отриманих результатів дозволяє приймати рішення щодо заходів, які необхідні для втримання працівників в організації, забезпечення керованості підприємства за його виробничими процесами, забезпечення місії, стратегії підприємства та виконання всіх завдань, які стоять перед ним у відповідності з вимогами замовників та очікуваннями інших зацікавлених осіб.

Нижче наведено узагальнене представлення методу прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства (рис. 1).

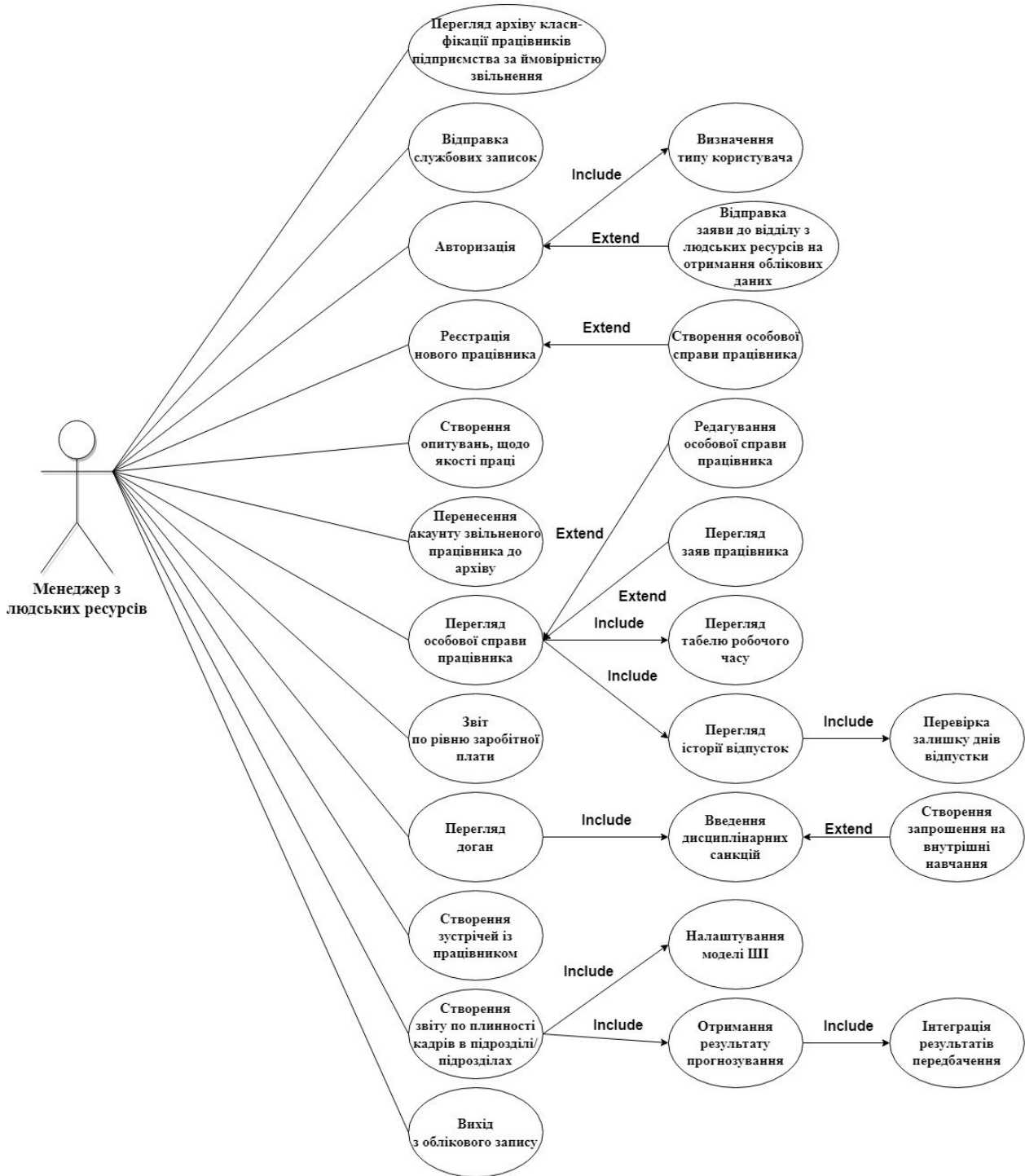


Рис. 1 – Метод прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства

Fig. 1 – Method for Forecasting Group Dynamics of Human Resources in an Enterprise

Важливу роль для практичного застосування результатів дослідження відіграє програмний продукт, який забезпечує взаємодію різних категорій користувачів із відповідними рівнями доступу та бізнес-сценаріями [25]. У межах програмного застосування виділяються три основні групи користувачів: адміністратор (рис. 2), менеджер з людських ресурсів та працівник. Для кожної з цих ролей було виконано моделювання сценаріїв роботи з програмною системою, в результаті чого детально представлені сценарії взаємодії основних категорій користувачів із системою на основі використання діаграм UML [26].





**Рис. 3 – Діаграма прецедентів менеджера з людських ресурсів**  
**Fig. 3 – Human Resource Manager Use Case Diagram**

Діаграма прецедентів для працівника у межах програмної системи, що розроблялась в роботі, представлена на рис. 4.

Для реалізації програмного продукту як вебзастосунку для забезпечення універсального доступу користувачів використано ряд технологій, включаючи мову програмування Python у поєднанні з засобами вебфреймворку Django, систему керування базами даних MySQL, що сукупно формують гнучкий і потужний набір засобів, доступний для подальшого розширення створеної програмної системи.

Структура розробленого в підсумку програмного проекту побудована за модульним принципом і включає низку взаємопов'язаних компонентів, кожен із яких виконує окрему функціональну роль у роботі програмної системи.



Рис. 4 – Діаграма прецедентів працівника  
Fig. 4 – Employee Use Case Diagram

Послідовність виконання функцій програми для адміністратора, менеджера з людських ресурсів та працівника представлена на рис. 5.





У процесі проведення експериментального дослідження дані були поділені на навчальну та тестову вибірки у пропорції 80/20, що забезпечує перевірку здатності моделі узагальнювати інформацію.

Окрім моделі на основі методу Random Forest у складі запропонованого методу під час дослідження було також використано моделі на основі дерев рішень та логістичної регресії.

Зважаючи на специфіку задачі прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства, експериментальне дослідження проводилось фактично для підзадачі класифікації, оскільки це дозволяє отримати більш специфічні результати, а на їх основі безпосередньо узагальнити розв'язання загальної задачі без необхідності виконання додаткових прогнозувань.

Підсумкове оцінювання моделей класифікації виконувалось за допомогою матриці помилок та основних метрик якості, до яких віднесено точність, повноту, оцінку F1, що дозволяє визначити рівень їх прогностичної ефективності (табл. 1).

**Таблиця 1 – Результати застосування запропонованого методу та альтернативних моделей для прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства шляхом класифікації**  
**Table 1 – Results of applying the proposed method and alternative models for forecasting group dynamics of human resources in an enterprise by classification**

Метод / модель	Точність	Влучність	Повнота	Оцінка F1
Random Forest	0,8966	0,8732	0,8957	0,8794
Дерево рішень	0,7866	0,7515	0,8114	0,7803
Логістична регресія	0,8100	0,7845	0,8185	0,8011

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

За підсумками експериментального дослідження встановлено, що модель Random Forest, інтегрована до запропонованого методу прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства, дозволила реалізувати класифікацію працівників за ймовірністю їх звільнення, яка в сукупності з усіма етапами запропонованого методу забезпечила найвищу точність класифікації, а відповідно і прогнозування, демонструючи оптимальний баланс між ключовими показниками ефективності. Використання методу Random Forest забезпечило отримання точності класифікації в 0,8966, що на 13,98 % краще ніж застосування дерев рішень та на 10,69 % краще ніж застосування логістичної регресії. Влучність отриманих результатів методу Random Forest на 16,19 % краща за дерева рішень та на 11,31 % – за логістичну регресію. Повнота за методом Random Forest на 10,39 % краща за дерева рішень та на 9,43 % – за логістичну регресію. У свою чергу оцінка F1 методу Random Forest на 12,7 % краща за дерева рішень та на 9,77 % – за логістичну регресію.

Висока стійкість моделі до шумових спотворень та її здатність результативно працювати з великою кількістю нелінійних вхідних ознак підтверджують доцільність застосування ансамблевих підходів для задач прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства. Зростання точності класифікації, у свою чергу, підвищує інформативність управлінських рішень, що ґрунтуються на більш достовірних даних про динаміку в групі всіх працівників на підприємстві загалом та в розрізі окремих груп, зокрема за відділами. Підвищення обґрунтованості розроблюваних стратегій управління людськими ресурсами сприяє підвищенню ефективності управління людськими ресурсами, що має потенціал знизити витрати, пов'язані із заміною працівників, а також забезпечити своєчасне виявлення ризиків втрати ключових фахівців.

### ВИСНОВКИ

У межах проведеного дослідження розроблено метод прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства шляхом класифікації працівників за ймовірністю їх звільнення та створено відповідне програмне забезпечення, що сприяє підвищенню ефективності управління людськими ресурсами та забезпеченню надійної системи управління якістю, що може бути сертифікована на відповідність міжнародним стандартам. Запропонований метод дозволяє своєчасно виявляти групи співробітників із підвищеним ризиком звільнення та мінімізувати витрати, пов'язані із заміною кадрів, що має прямий економічний ефект для організації.

Метод прогнозування групової динаміки людських ресурсів підприємства базується на методі Random Forest для отримання моделі класифікації в основі, доповненої процедурою автоматичного відбору ознак для оптимізації точності прогнозування в умовах вхідних даних про працівників різної структури. Такий підхід забезпечує високоточну класифікацію працівників на основі комплексного аналізу великих масивів даних, що включають демографічні, професійні та поведінкові характеристики персоналу.

Реалізація запропонованого методу передбачає поетапний процес обробки даних: збір та очищення інформації, нормалізацію та кодування змінних, визначення інформативності ознак, створення та навчання моделі, підготовку даних для прогнозування групової динаміки людських ресурсів, виконання класифікації цих даних та узгодження підсумкових прогностичних оцінок. Результати експериментальної перевірки підтвердили високу прогностичну здатність моделі та її ефективність у виявленні ризикових груп працівників.



Практична значущість дослідження полягає у можливості інтеграції розробленого програмного продукту в корпоративні системи управління людськими ресурсами для автоматизації процесів управління, підтримки прийняття рішень та формування персоналізованих програм мотивації. Використання запропонованого методу дозволяє оптимізувати людські ресурси, підвищити продуктивність праці та знизити ризики втрати цінних фахівців, що сприяє довгостроковій стабільності та розвитку підприємства, забезпечуючи сталий успіх організації у відповідності з міжнародними стандартами серії ISO 9000 та можливістю успішної сертифікації в тій частині, що залежить від управління людськими ресурсами.

Отримані результати можуть бути застосовані як у практичній діяльності компаній, так і в наукових дослідженнях, спрямованих на вдосконалення методів управління людськими ресурсами з використанням інтелектуальних систем аналізу даних.

#### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Процик І., Кара Н. Плинність кадрів на підприємстві та шляхи її зменшення. Молодий вчений. 2020. № 3 (79). С. 246-252. DOI: 10.32839/2304-5809/2020-3-79-52.
2. ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT). Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 45 с.
3. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Системи управління якістю. Вимоги. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.
4. ДСТУ ISO 9004:2018 (ISO 9004:2018, IDT). Управління якістю. Якість організації. Настанови щодо досягнення сталого успіху. Чинний від 2020-01-01. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 44 с.
5. Цимбалюк І., Павліха Н., Цимбалюк С. Динаміка ринку праці в Україні під час війни: аналіз міграційних тенденцій та показників безробіття. Інноваційна економіка. 2023. № 2. С. 101-109. DOI: 10.37332/2309-1533.2023.2.13.
6. Свидрук І., Кардаш М. Вплив штучного інтелекту на мотивацію праці. Вісник ЛТЕУ. Економічні науки. 2024. № 78. С. 49-54. DOI: 10.32782/2522-1205-2024-78-07.
7. Bibikova Y., Evstifeeva A. HR administration in Ukraine and its automation – a must-have for business in 2025. URL: <https://accace.com/hr-administration-in-ukraine/> (дата звернення: 29.11.2025).
8. Пристемський О., Пашинний А. Вплив сучасних інформаційних технологій на ефективність управління підприємством. «Актуальні проблеми менеджменту: теоретичні і практичні аспекти»: Матеріали шостої міжнар. наук.-практ. конф., 28-29 вересня 2023 р. Одеса : Одеський національний економічний університет, 2023. С. 306-308.
9. Дриньов Д., Войтех К., Тимошенко Р. Штучний інтелект в процесі прийняття та реалізації управлінських рішень. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. 2023. Вип. 18. С. 74-79. DOI: 10.32782/2708-0366/2023.18.7.
10. Basapur A., Metgud L., Tenginakai S. Employee Attrition Prediction Using Ensemble Learning. Lecture Notes in Networks and Systems. Bhopal, 2026. Pp. 431-442. DOI: 10.1007/978-981-96-5726-1\_30.
11. Danyiuk I., Babala L., Khoma N. HRM Systems of Personnel Management. Economic Analysis. 2022. Vol. 32, № 3. Pp. 240-246. DOI: 10.35774/econa2022.03.240.
12. Onal S. O., Pak M., Leider J. P. Using Machine Learning Methods to Examine Turnover Rates in State Health Agencies. Journal of Public Health Management & Practice. 2026. 32 (1S). Pp. S68-S75. DOI: 10.1097/PHH.0000000000002251.
13. Zhang C., Han W. Ensembles of decision trees and gradient-based learning for employee turnover rate prediction. PeerJ Computer Science. 2024. Volume 10. e2387. DOI: 10.7717/peerj-cs.2387.
14. Redelinghuys K. Assessing the Impact of Person-Environment fit on Turnover Intention Through Multiple Linear Regression. Psychological Reports. 2025. Volume 128, Issue 6. Pp. 4641-4662. DOI: 10.1177/00332941231219957.
15. Fuzi M., Ashykin N. Understanding Turnover Intentions in the Financial Services Sector: A Systematic Review of the Quit Mindset. SAGE Open. 2025. Volume 15, Issue 4. DOI: 10.1177/21582440251385892.
16. Analysis of Workforce Stability Factors in Pharmacy Organizations / A. A. Kudaibergen, A. S. Kalykova, K. S. Zhakipbekov et al. ScienceRise: Pharmaceutical Science. 2025. Volume 56, Issue 4. Pp. 78-87, DOI: 10.15587/2519-4852.2025.335443.
17. Turnover in Nursing Homes That Serve Residents With Serious Mental Illness / H. C. Ratliff, J. Case, H. M. Kim et al. Journal of the American Medical Directors Association. 2025. Volume 26, Issue 12. 105914. DOI: 10.1016/j.jamda.2025.105914.
18. A human resources analytics and machine-learning examination of turnover: implications for theory and practice / D. Avrahami, D. Pessach, G. Singer et al. International Journal of Manpower. 2022. 43 (6). Pp. 1405-1424. DOI: 10.1108/IJM-12-2020-0548.
19. Napper C. People Analytics: Using Data-Driven HR and Gen AI as a Business Asset. London: Kogan Page Ltd, 2025. 328 p.



20. Edwards M., Edwards K., Jang D. Predictive HR Analytics: Mastering the HR Metric. 3rd ed. London: Kogan Page Ltd., 2024. 528 p.
21. Cook D. Practical Machine Learning with H2O: Powerful, Scalable Techniques for Deep Learning and AI. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2016. 298 p.
22. Montgomery D., Vinind G., Peck E. Introduction to linear regression analysis. 6th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2021. 704 p.
23. Theobad O. Machine learning and AI for absolute beginners: decision trees. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2024. 236 p.
24. Rose M., Hassen H. Survey of random forest pruning techniques. Computer Science & Information Technology. 2019. Vol. 9, № 18. Pp. 99-109. DOI: 10.5121/csit.2019.91808.
25. Що таке функціональні вимоги: приклади та шаблони. URL: <https://visuresolutions.com/uk/alm-guide/функціональні-вимоги/> (дата звернення: 29.11.2025).
26. Каграманова Ю. Як будувати UML-діаграми. Розбираємо три найпопулярніші варіанти. URL: <https://dou.ua/forums/topic/40575/> (дата звернення: 29.11.2025).
27. Salame N. The decision tree algorithm use in supervised machine learning. International Journal of Scientific Research in Engineering and Management. 2023. № 7. DOI: 10.55041/IJSREM24665.
28. Rana R. S. Employee/HR Dataset (All in One) URL: <https://www.kaggle.com/datasets/ravindrasinghrana/employeeedataset> (дата звернення: 29.11.2025).

## REFERENCES

1. I. Protsyk, and N. Kara, "Plynnist kadriv na pidpriemstvi ta shliakhy yii zmeshennia," *Molodyi vchenyi*, vol. 3 (79), 2020, pp. 246-252, doi: 10.32839/2304-5809/2020-3-79-52.
2. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv, DSTU ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT), DP «УкрНДНЦ», Kyiv, 2016.
3. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy, DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT), DP «УкрНДНЦ», Kyiv, 2016.
4. Upravlinnia yakistiu. Yakist orhanizatsii. Nastanovy shchodo dosiahnennia staloho uspikhu, DSTU ISO 9004:2018 (ISO 9004:2018, IDT), DP «УкрНДНЦ», Kyiv, 2020.
5. Tymbaliuk, N. Pavlika, and S. Tymbaliuk, "Dynamika rynku pratsi v Ukraini pid chas viiny: analiz mihratsiinykh tendentsii ta pokaznykiv bezrobittia," *Innovatsiina ekonomika*, vol. 2, pp. 101-109, 2023, doi: 10.37332/2309-1533.2023.2.13.
6. Svydruk, and M. Kardash, "Vplyv shtuchnoho intelektu na motyvatsiiu pratsi," *Visnyk LTEU. Ekonomichni nauky*, vol. 78, pp. 49-54, 2024, doi: 10.32782/2522-1205-2024-78-07.
7. Y. Bibikova, and A. Evstifeeva, "HR administration in Ukraine and its automation – a must-have for business in 2025," *accace.com*, 2025. [Online]. Available: <https://accace.com/hr-administration-in-ukraine/> [Accessed Nov. 29, 2025].
8. O. Prystemskyi, and A. Pashynnyi, "Vplyv suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii na efektyvnist upravlinnia pidpriemstvom," In Proc. Aktualni problemy menedzhmentu: teoretychni i praktychni aspekty: Materialy shostozi mizhnar. nauk.-prakt. konf., 28-29 veresnia 2023 r., 2023, pp. 306-308.
9. D. Drynov, K. Voitek, and R. Tymoshenko, "Shtuchnyi intelekt v protsesi pryiniattia ta realizatsii upravlinskykh rishen," *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Ekonomika*, vol. 18, pp. 74-79, 2023, doi: 10.32782/2708-0366/2023.18.7.
10. Basapur, L. Metgud, and S. Tenginakai, "Employee Attrition Prediction Using Ensemble Learning," in *Lecture Notes in Networks and Systems*. Bhopal, 2026, pp. 431-442, doi: 10.1007/978-981-96-5726-1\_30.
11. Danyliuk, L. Babala, and N. Khoma, "HRM Systems of Personnel Management," *Economic Analysis*, vol. 32, no. 3, pp. 240-246, 2022, doi: 10.35774/econa2022.03.240.
12. S. O. Onal, M. Pak, and J. P. Leider, "Using Machine Learning Methods to Examine Turnover Rates in State Health Agencies," *Journal of Public Health Management & Practice*, vol. 32 (1S), pp. S68-S75, 2026, doi: 10.1097/PHH.0000000000002251.
13. C. Zhang, and W. Han, "Ensembles of decision trees and gradient-based learning for employee turnover rate prediction," *PeerJ Computer Science*, vol. 10, e2387, 2024, doi: 10.7717/peerj-cs.2387.
14. K. Redelinghuys, "Assessing the Impact of Person-Environment fit on Turnover Intention Through Multiple Linear Regression," *Psychological Reports*, vol. 128, iss. 6, pp. 4641-4662, 2025, doi: 10.1177/00332941231219957.
15. M. Fuzi, N. Ashykin, "Understanding Turnover Intentions in the Financial Services Sector: A Systematic Review of the Quit Mindset," *SAGE Open*, vol. 15, iss. 4, 2025, doi: 10.1177/21582440251385892.
16. A. Kudaibergen, A. S. Kalykova, and K. S. Zhakipbekov, "Analysis of Workforce Stability Factors in Pharmacy Organizations," *ScienceRise: Pharmaceutical Science*, vol. 56, iss. 4, pp. 78-87, 2025, doi: 10.15587/2519-4852.2025.335443.
17. H. C. Ratliff, J. Case, and H. M. Kim, "Turnover in Nursing Homes That Serve Residents With Serious Mental Illness," *Journal of the American Medical Directors Association*, vol. 26, iss. 12, 105914, 2025, doi: 10.1016/j.jamda.2025.105914.



18. D. Avrahami, D. Pessach, and G. Singer, "A human resources analytics and machine-learning examination of turnover: implications for theory and practice," *International Journal of Manpower*, 43 (6), pp. 1405–1424, 2022, doi: 10.1108/IJM-12-2020-0548.
19. C. Napper, *People Analytics: Using Data-Driven HR and Gen AI as a Business Asset*. London: Kogan Page Ltd, 2025.
20. M. Edwards, K. Edwards, and D. Jang, *Predictive HR Analytics: Mastering the HR Metric. 3rd ed.* London: Kogan Page Ltd., 2024.
21. D. Cook, *Practical Machine Learning with H2O: Powerful, Scalable Techniques for Deep Learning and AI*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2016.
22. D. Montgomery, G. Vinind, and E. Peck, *Introduction to linear regression analysis. 6th ed.* Hoboken, NJ: Wiley, 2021.
23. O. Theobad, *Machine learning and AI for absolute beginners: decision trees*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2024.
24. M. Rose, and H. Hassen, "Survey of random forest pruning techniques," *Computer Science & Information Technology*, vol. 9, no. 18, pp. 99-109, 2019, doi: 10.5121/csit.2019.91808.
25. Visure, "Shcho take funktsionalni vymohy: pryklady ta shablony," [visuresolutions.com](https://visuresolutions.com/uk/alm-guide/функціональні-вимоги/). [Online]. Available: <https://visuresolutions.com/uk/alm-guide/функціональні-вимоги/> [Accessed Nov. 29, 2025].
26. Yu. Kahramanova, "Yak buduvaty UML-diahramy. Rozbyraemo try naipopuliarnishi varianty," DOU, 2022. [Online]. Available: <https://dou.ua/forums/topic/40575/> [Accessed Nov. 29, 2025].
27. N. Salame, "The decision tree algorithm use in supervised machine learning," *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, no. 7, 2023, doi: 10.55041/IJSREM24665.
28. R. S. Rana, "Employee/HR Dataset (All in One)," [kaggle.com](https://www.kaggle.com/datasets/ravindrasinghrana/employeeedataset), 2023. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/ravindrasinghrana/employeeedataset> [Accessed Nov. 29, 2025].

Отримана в редакції 05.12.2025. Прийнята до друку 16.10.2025. Received 05 December 2025. Approved 16 December 2025. Available in Internet 30 December 2025