DOI: *https://doi.org/10.37405/1729-7206.2025.1(48).165-169*

УДК 330.4:004.93+519.876

Саміра Тимофіївна Пілецька
д-р екон. наук, проф.
ORCID 0000-0002-3638-3002
e-mail: 0508486185@ukr.net,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,

Сергій Олексійович Колесников
канд. фіз.-мат. наук, доц.
ORCID 0000-0002-9538-8858,
ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИЯВЛЕННЯ ФІНАНСОВИХ ПОРУШЕНЬ У СИСТЕМІ ЕКОНОМІЧНОГО ФОРЕНЗІКА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Постановка проблеми. Умови цифровізації економіки зумовлюють зміни в системах управління безпекою підприємств. Швидке поширення цифрових технологій, автоматизація облікових процесів, інтеграція інформаційних систем та використання віддалених каналів платежів формують нову парадигму ведення бізнесу. Зростання обсягів фінансових транзакцій, збільшення кількості контрагентів і швидкість прийняття рішень значно ускладнюють контроль та моніторинг фінансової дисципліни. У таких умовах зростає ризик виникнення як внутрішніх, так і зовнішніх загроз: шахрайських схем, маніпуляцій з даними, навмисного спотворення фінансової інформації.

Особливого значення набуває економічний форензік — міждисциплінарний підхід, що поєднує фінансовий аналіз, аудит, криміналістику та інформаційні технології з метою виявлення, документування та запобігання фінансовим правопорушенням. Економічний форензік виступає реактивним інструментом для розслідування вже допущених правопорушень та активною інновацією у сфері економічної безпеки підприємства, орієнтованою на превентивне виявлення потенційних ризиків та загроз.

Проте застосування традиційних методів форензік-аналізу стикається з низкою обмежень. Передусім, ці методи не завжди здатні обробляти великі обсяги структурованих та неструктурованих даних (Big Data), що генеруються цифровими системами підприємства. Крім того, ручна обробка та аналіз інформації вимагає значного часу та ресурсу, що знижує ефективність прийняття управлінських рішень. У сучасних реаліях необхідні інструменти, здатні оперативно обробляти дані, виявляти приховані закономірності та аномалії, що можуть свідчити про порушення.

У зв'язку з цим зростає інтерес до математичного моделювання як інструменту цифрової трансформації економічного форензіка. Методи машинного навчання, кластерного аналізу, статистичної аномалії, моделювання відстані у багатовимірному просторі дозволяють не лише автоматизувати процес виявлення нетипових транзакцій, але й підвищити точність та надійність системи економічної безпеки.

Аналіз останніх досліджень. Інструменти форензіка набули широкого поширення та популярності в зарубіжній практиці. Водночас в Україні майже відсутній практичний досвід його застосування, що призводить до недостатньої уваги до дослідження питань, пов'язаних із вибором та використанням різноманітних інструментів форензіка. Це також ускладнює оцінку ефективності його впровадження в наукових дослідженнях.

Дискусіям українських науковців щодо сучасного розуміння поняття «форензік», зокрема теоретичним аспектам вивчення цього інструменту, присвячені праці Т. Климко та О. Мельник, поняття «форензік-аудиту» до сучасної облікової теорії запропонувала ввести А. Семенець, яка трактує його як процес дослідження фінансової звітності та господарських операцій підприємства з метою розробки заходів реагування, управління та запобігання шахрайству та ґрунтується на експертному судженні щодо наявності таких фактів, як: порушення законодавства з боку співробітників і керівництва компанії; фальсифікація бухгалтерської та податкової звітності; розкрадання чи неналежне використання активів; корупція і зловживання повноваженнями; ризики шахрайства [4]. Як супутню аудиту послугу розглядає форензік і Д. Долбнєва, яка у своєму дослідженні доходить важливого висновку: саме професійна спільнота бухгалтерів та аудиторів має стати активним учасником процесу підготовки фахівців у сфері форензік-аудиту [3]. Науковці Л. Шостак, А. Федонюк та О. Помазун [8] обґрунтували роль цифрового форензіку як сучасного інструменту забезпечення економічної безпеки підприємств. Економіічну безпеку підприємств досліджують О. Ареф'єва [1], С. Пілецька, І. Мягких, Т. Коритько [5]. О. Рябчук, С. Твердун розглядають форензік як інструмент протидії економічним злочинам та фінансовому шахрайству на підприємстві [6], С. Тютченко визначає функції форензіку як інструменту упере-

дження корпоративного шахрайства та підвищення економічної безпеки підприємств [7].

Незважаючи на наявні дослідження в даній предметній галузі, проведені залишаються невирішеними аспекти математичного моделювання виявлення фінансових порушень у системі економічного форензіка для забезпечення безпеки підприємства в умовах цифрової економіки.

Метою статті є розробка та апробація математичної моделі для виявлення порушень у фінансових даних підприємства як елементу сучасної системи економічного форензіка в умовах цифровізації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Економічний форензік (forensic accounting) — це міждисциплінарна система, що поєднує методи бухгалтерського обліку, аудиту та розслідування з метою виявлення фінансових правопорушень, таких як шахрайство, маніпуляції у звітності, відмивання коштів, внутрішні зловживання тощо. Його застосування є особливо актуальним у межах судових розслідувань, арбітражу або корпоративних перевірок. Як зазначають В. Хопвуд, Дж. Лейнер, Г. Янг (Hopwood, Leiner і Young (2011)): «Судова бухгалтерія — це застосування слідчих та аналітичних навичок з метою вирішення фінансових питань у спосіб, що відповідає стандартам, встановленим судами» [14].

На відміну від традиційного аудиту, економічний форензік має яскраво виражену детективну функцію: він не лише фіксує невідповідності, а й реконструює фінансові сценарії, розкриває наміри та схеми, що стоять за транзакційною поведінкою. Як зазначено в дослідженні Т. Адегбіте, С. Оволабі (Adegbite T., Owolabi S. (2022)) «Поєднуючи процедури аудиту, бухгалтерського обліку та розслідування, судова бухгалтерія дозволяє виявляти численні види економічних злочинів, пов'язаних з фінансовими махінаціями» [9].

Таким чином, економічний форензік стає самостійною галуззю знань і практик, що забезпечують юридичну легітимність фінансового аналізу в умовах складного корпоративного середовища.

Цифровізація фінансової сфери призвела до суттєвого зростання обсягів та складності транзакційних даних. Традиційні методи перевірки, які передбачають ручне вивчення документів або регламентовані аналітичні процедури, стають дедалі менш ефективними. Згідно з дослідженням Аль-Хаді Фатіма Ісмаїл, Шайбані Нагі Алі Аль (AL-Hadi Fatima Ismail, Shaibany Nagi Ali Al (2024)) «Традиційна судова бухгалтерія базується на ручному аналізі даних і все більше виявляється недостатньою для боротьби зі складними кримінальними шахрайствами» [10].

В епоху цифрової економіки фінансове шахрайство набуває нових форм – від бот-операцій у фінтехі до маніпуляцій через автоматизовані міжбанківські системи. Ці виклики вимагають використання не лише бухгалтерських знань, а й технологій з кібербезпеки, цифрового слідства, машинного навчання та системного аналізу. Як підкреслює Бхаве Атул Віжай (Bhave Atul Vijay. (2024)), «Інтеграція систем судової бухгалтерії та управлінського контролю як інструментів боротьби з кібершахрайством дозволяє підприємствам зменшити ризики як у фінансовій, так і в інформаційній сферах» [11].

Форензік в умовах цифровізації економіки включає такі напрямки: цифрове відновлення доказів (digital evidence recovery), аналіз логів транзакцій у режимі реального часу, моделювання поведінкових сценаріїв шахрайства, автоматизоване виявлення аномалій.

У цьому контексті економічний форензік стає частиною загальної системи управління інформаційною безпекою підприємства, що поєднує елементи внутрішнього аудиту, IT-контролю, юридичного супроводу та аналітики великих даних.

Класичні методи економічного форензіка історично формувалися як аналітичні інструменти ретроспективного аналізу, орієнтовані на виявлення маніпуляцій або зловживань у фінансовій звітності підприємств. Вони становлять основу розслідування фінансових правопорушень і досі застосовуються в практиці судово-економічних експертиз.

До таких методів належить аналіз первинної фінансової документації, що охоплює аудит облікових записів, грошових звітів, супровідної документації до фінансових операцій, контрактів, інвойсів, чеків, банківських виписок тощо, який передбачає ретельну ревізію всіх записів з метою виявлення неточностей, подвійних платежів, розбіжностей у даних або ознак підробки документів [14], він є фундаментальним у криміналістичному фінансовому дослідженні, оскільки дозволяє ідентифікувати фактичні сліди протиправних дій.

Важливим методом є горизонтальний та вертикальний фінансовий аналіз (trend analysis та ratio analysis). У першому випадку йдеться про аналіз динаміки фінансових показників підприємства у часі, а у другому – про аналіз структури статей фінансової звітності у відсотках до обраної бази. Підходи дозволяють виявляти значні коливання у витратах, доходах, запасах або зобов'язаннях, які не підкріплені відповідними економічними поясненнями. У галузях з високим рівнем стандартизації такі відхилення можуть прямо свідчити про фінансові маніпуляції.

Ключову роль у виявленні фінансових ризиків відіграє також коефіцієнтний аналіз, який передбачає обчислення та інтерпретацію ключових фінансових індикаторів. Зокрема, це показники ліквідності, платоспроможності, рентабельності, оборотності активів. Виявлення нетипових значень таких коефіцієнтів або їх розбіжностей з галузевими нормативами може свідчити про штучне завищення доходів, приховування боргів або маніпуляції з оцінкою активів.

Окрему увагу приділяють порівняльному аналізу (benchmarking), що полягає у зіставленні показників діяльності досліджуваного підприємства з аналогічними за масштабами, структурою або ринковим положенням компаніями. Відхилення від загальноприйнятих галузевих трендів або статистичних норм можуть свідчити про ймовірні порушення у фінансовій звітності. Зокрема, застосування Z-рахунків, моделей типу Beneish M-score або Altman Z-score у межах такого аналізу демонструє ефективність навіть при мінімальній кількості вихідних даних.

Разом із тим, слід зазначити, що традиційні методи форензіка мають обмеження, які стають особливо відчутними в умовах цифровізації економіки. Вони є трудомісткими, орієнтованими на ретроспективний аналіз та вимагають значного експертного часу для обробки інформації. У зв'язку з цим виникає потреба в модернізації інструментарію економічного форензіка шляхом впровадження цифрових, математично обґрунтованих моделей, здатних до автоматизованого аналізу великих обсягів даних у реальному часі [11].

З огляду на стрімке зростання обсягів цифрових фінансових операцій, а також ускладнення схем шахрайства, класичних методів аудиту стає недостатньо для своєчасного та достовірного виявлення фінансових правопорушень. У зв'язку з цим математичне моделювання посідає дедалі важливіше місце в арсеналі

економічного форензіка, виступаючи інструментом для автоматизованого виявлення аномалій, прихованих закономірностей і нетипових патернів у великих масивах даних.

Аналітика великих даних охоплює методи обробки масивів транзакційної, облікової та поведінкової інформації, що надходить із систем ERP, CRM, платіжних платформ, банківських шлюзів тощо. Застосування таких платформ, як Apache Spark або Google BigQuery, дозволяє здійснювати оперативну перевірку сотень тисяч записів за секунди, виявляючи кореляції, які були б недоступні для ручного аналізу або традиційного аудиту. Системи забезпечують агрегацію, фільтрацію, нормалізацію та візуалізацію транзакцій у реальному часі, що сприяє значному зростанню точності виявлення фінансових порушень.

Одним з найефективніших підходів у цифровому форензіку є використання алгоритмів машинного навчання. Особливої уваги заслуговують методи без учителя (unsupervised learning), зокрема алгоритми кластеризації та виявлення аномалій. Як підкреслюється у дослідженнях Атул Віджей Бхаве (Bhave Atul Vijay (2024)), «... методи навчання без нагляду, зокрема алгоритми виявлення аномалій та кластеризації, відіграють важливу роль у судово-бухгалтерській експертизі, особливо коли дані про шахрайство є обмеженими» [11].

Кластеризаційні моделі, зокрема k-means та DBSCAN, дозволяють формувати групи типових транзакцій, в той час як операції, що не потрапляють до жодного кластера, можуть розглядатись як потенційно підозрілі. Такі підходи корисні при аналізі повторюваних платежів, сегментації клієнтів або оцінці поведінкових патернів бухгалтерів.

Методи виявлення аномалій, як-от Z-score, Mahalanobis Distance, Isolation Forest або автоенкодери, забезпечують автоматичне виявлення записів, що суттєво відхиляються від очікуваних значень у багатовимірному просторі фінансових показників. Автоенкодери (deep autoencoders) – один із ключових інструментів глибокого навчання – навчаються реконструювати вхідні дані. Погана якість реконструкції (висока помилка) свідчить про аномальність відповідного запису. Такі методи активно застосовуються в банківській сфері, зокрема для виявлення шахрайських транзакцій у системах реального часу [13].

Оскільки частина фінансової інформації (контракти, листування, звіти, чати) існує у неструктурованій текстовій формі, дедалі більшого значення набувають методи обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP). Застосування інструментів e-discovery, семантичного аналізу та класифікації документів дозволяє ідентифікувати підозрілі формулювання, приховані ризики або зміни у змісті контрактів, які не були формалізовані у бухгалтерських документах [12]. Крім того, NLP застосовується для виявлення змін тону, стилю або семантичних шаблонів у внутрішній комунікації працівників, що може свідчити про конфлікт інтересів або ознаки змови.

Таким чином, математичне моделювання забезпечує нову якість економічного форензіка – від реактивного інструменту до превентивної системи попередження фінансових правопорушень у цифровому середовищі. Інтеграція цифрових технологій у сферу економічного форензіка відкриває нові можливості для забезпечення фінансової безпеки підприємств. Однією з ключових переваг сучасних аналітичних моделей є здатність до автоматизованої обробки великих масивів даних у режимі реального часу, що забезпечує своєчасне виявлення нетипових транзакцій, що може значно зменшити часові лаги між виникненням аномалії та реагуванням на неї.

Крім оперативності, цифрові форензік-моделі мають здатність виявляти складні шахрайської поведінки. Методи машинного навчання, зокрема алгоритми без учителя (unsupervised learning), дають змогу побудувати моделі поведінки без попередньо визначених класів. Завдяки цьому система може самостійно навчатися на основі «нормальних» фінансових шаблонів та фіксувати відхилення, які потенційно можуть бути ознаками шахрайства [11]. Значною перевагою є й підвищення точності та об'єктивності розслідувань. Завдяки впровадженню нейромереж, автоенкодерів та методів статистичної аномалії (наприклад, Mahalanobis distance), моделі дозволяють виявляти слабкі сигнали шахрайства, які залишаються непоміченими під час традиційного аудиторського аналізу [12]. Цифрові рішення у форензік-дослідженнях також знижують суб'єктивність людського фактору в оцінці ризиків, що сприяє формуванню більш доказової бази у випадку розслідувань.

Однак реалізація моделей цифрового форензіка супроводжується низкою викликів. Найбільш критичним є питання інтерпретації результатів моделей без учителя. Висока кількість хибнопозитивних результатів (false positives) може ускладнити процес прийняття рішень та потребує залучення експертів для валідації таких виявлень [9]. Також слід враховувати значні витрати, пов'язані з впровадженням цифрових форензік-рішень. Йдеться не лише про інвестиції у технологічну інфраструктуру, формування міждисциплінарних команд до складу яких мають входити фахівці з аналітики даних, аудиту, комп'ютерних наук та права. Без належного кадрового потенціалу функціонування таких систем є малоефективним або навіть ризикованим.

Таким чином, цифровий економічний форензік має вагомий потенціал трансформації системи фінансової безпеки підприємств. Його впровадження дозволяє не лише підвищити ефективність виявлення порушень, а й створити передумови для формування стійких систем корпоративного управління. Разом з тим, необхідним є усвідомлення меж застосування таких інструментів, потреба у належному контролі та забезпеченні етичної відповідальності.

У системі економічного форензіка підприємства в умовах цифровізації економіки математичне моделювання стає ключовим інструментом для виявлення фінансових аномалій, які можуть свідчити про ознаки шахрайства, маніпуляцій або порушень внутрішнього контролю. Зростання обсягів транзакцій, розширення електронних каналів обміну даними, впровадження автоматизованих облікових систем створюють як нові ризики, так і нові можливості для розробки алгоритмів аналітичного моніторингу.

Нехай підприємство має множину фінансових записів за певний період часу, які представлено як матрицю ознак [16]:

$$X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}, \qquad x_i \in R^m,$$

де $x_1 = [x_{i1}, x_{s2}, ..., x_{sm}]$ – вектор ознак окремої транзакції або фінансової операції.

Мета моделювання — побудова функції:

$$f: R^m \to \{0,1\},$$

де $f(x_i) = 0$ – транзакція вважається нормальною;

де $f(x_i) = 1$ – транзакція визначена як аномальна.

Через відсутність апріорних міток «шахрайства» для кожного запису, задача моделювання має ознаки **неконтрольованого навчання** (unsupervised learning), а також частково **напівконтрольованого навчання** (semi-supervised learning), якщо в наявності є часткові експертні оцінки [15].

Задача формалізується як задача **кластеризації** з виявленням аномалій або задача **вимірювання відстані до нормального розподілу**:

– побудова метричного простору фінансових транзакцій;

– визначення центру тяжіння нормальної поведінки μ та матриці коваріації Σ.

– визначення відстані Махаланобіса для кожної транзакції [12]:

$$D_M(x_i) = \sqrt{(x_i - \mu)^T S^{-1}(x_i - \mu)},$$

де D_M – відстань Махаланобіса;

x – вектор-стовпець спостереження (точка даних), для якої необхідно обчислити відстань;

μ – вектор-стовпець середніх значень (центр розподілу) для набору даних, з яким порівнюється *x, y* контексті транзакцій, це середні значення всіх характеристик «нормальних» транзакцій.

S – коваріаційна матриця набору даних, з яким порівнюється *x*, показує дисперсію кожної змінної та кореляції між усіма парами змінних у «нормальному» розподілі транзакцій;

S^{-1} – обернена коваріаційна матриця;

T – оператор транспонування (перетворює вектор-стовпець на вектор-рядок).

Транзакції, для яких $D_M(x_i) > \theta$,

де θ – критичне порогове значення, визначаються як **аномальні**.

Система обмежень та допущень:

– модель передбачає апроксимацію нормальної поведінки як квазілінійного багатовимірного розподілу;

– ознаки x_i повинні бути приведені до порівнюваного масштабу (нормалізація або стандартизація);

– для підвищення чутливості моделі до змін у часі можливе введення ковзного вікна або часових лагів.

У реальному середовищі цифрової економіки розроблена модель може бути вбудована в систему раннього попередження про ризики (Early Warning System), що аналізує потік транзакцій у режимі реального часу. Математичне ядро моделі здатне динамічно оновлювати оцінки нормального стану системи, виявляючи не лише статистичні викиди, а й **структурні порушення** – таких як зміна шаблонів поведінки контрагентів, порушення типових графіків платежів або поєднання ознак, які в нормі не зустрічаються.

Таким чином, проаналізоване дослідження системно розкриває трансформацію економічного форензіка від традиційного ретроспективного інструменту аналізу до сучасної, проактивної системи попередження фінансових правопорушень в умовах поглибленої цифровізації економіки. Визначено, що зростання обсягів та складності транзакційних даних, а також поява нових форм фінансового шахрайства, роблять класичні методи перевірки недостатньо ефективними.

У відповідь на виклики дослідження обгрунтована необхідність і можливості впровадження математичного моделювання, методів машинного навчання та обробки природної мови (NLP) в арсенал економічного форензіка. Показано, як ці цифрові інструменти дозволяють здійснювати автоматизоване виявлення аномалій, прихованих закономірностей і нетипових патернів у великих масивах даних у режимі реального часу, забезпечуючи високу точність та об'єктивність розслідувань. Математична модель, зокрема з використанням відстані Махаланобіса, представлена як функціональний елемент системи кіберфінансової безпеки, здатний динамічно оновлювати оцінки та виявляти не лише статистичні викиди, а й структурні порушення.

Незважаючи на виклики, пов'язані з інтерпретацією результатів, необхідністю прозорості та дотриманням етичних аспектів, цифрові рішення у форензіці мають вагомий потенціал для суттєвого підвищення ефективності виявлення фінансових порушень та створення передумов для формування стійких систем корпоративного управління.

Список використаних джерел

1. Ареф'єва О. В., Пілецька С. Т., Сімкова Т. О., Шабалтун М. М. Розробка і прийняття стратегічних рішень підприємства через формування інноваційних моделей розвитку при забезпеченні економічної безпеки. *Економічний аналіз.* 2024. Т. 34. № 4. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2024.04.001.

2. Воронкова А. Е. Економічна безпека підприємства в умовах цифровізації: концептуальні засади та методичні підходи. *Економіка та держава.* 2021. № 9. С. 56–60.

3. Долбнєва Д. Сучасні форми організації внутрішнього аудиту та доцільність їх використання у діяльності підприємств України. *Причорноморські економічні студії.* 2019. Вип. 47-2. С. 133-137. DOI: https://doi.org/10.32843/bses.47-59.

4. Климко Т. Ю., Мельник О. О. Удосконалення роботи внутрішнього аудиту для запобігання фродів на підприємстві. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія «Економіка і менеджмент»*. 2015. Вип. 13. С. 251–254.

5. Пілецька С. Т. Мягких І. Ю., Коритько Т. Ю. Мотиваційне забезпечення розвитку потенціалу підприємства в контексті їх економічної безпеки в умовах циркулярної економіки. *Бізнес-навігатор.* 2025. Вип. 3 (80). С. 170-174. DOI: https://doi.org/10.32782/business-navigator.80-30.

6. Рябчук О. Г., Твердун С. О. Форензік як інструмент протидії економічним злочинам та фінансовому шахрайству на підприємстві. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство.* 2021. Вип. 40. С. 77-82. DOI: https://doi.org/10.32782/2413-9971/2021-40-14/.

7. Тютченко С. М. Функції форензіку як інструменту упередження корпоративного шахрайства та підвищення економічної безпеки підприємств. *Ефективна економіка.* 2021. № 5. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.5.99.

8. Шостак, Л., Федонюк, А., Помазун, О. Кібербезпека в системі формування бізнес-моделі підприємства в умовах цифрової економіки. *Економіка та суспільство.* 2024. № 64. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-37.

9. Adegbite T., Owolabi S. Forensic Accounting: A Theoretical Overview. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences.* 2022. Vol. 12(5). P. 73–88. URL : https://www.researchgate.net/publication/359282194.

10. AL-Hadi Fatima Ismail, Shaibany Nagi Ali Al. Digital Forensic Accounting: An Overview. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing.* 2024.

Vol. 13(8). P. 99-106. DOI: https://doi.org/10.47760/ijcsmc.2024.v13i08.011.

11. Bhave Atul Vijay. Artificial Intelligence for Forensic Accounting: Opportunities and Risks. *Bharatiya Shiksha Shodh Patrika*. 2024. Vol. 43. Issue 1 (III).

12. Duda R. O., Hart P. E. Pattern Classification. 2nd ed. Publisher: Wiley, 2001. URL: https://www.researchgate.net/publication/228058014_Pattern_Classification.

13. Goldstein M., Uchida S. A Comparative Evaluation of Unsupervised Anomaly Detection Algorithms for Multivariate Data. *PLOS ONE*. 2016. Vol. 11(4). DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152173.

14. Hopwood W. S., Leiner J. J., Young G. R. Forensic Accounting and Fraud Examination. 3rd ed. McGraw-Hill Education, 2023. 560 p.

15. Vasarhelyi M. A., Kogan A., Tuttle, B. Big Data in Accounting: An Overview. *Accounting Horizons*. 2015. Vol. 29(2). P. 381–396. DOI: https://doi.org/10.2308/acch-51071.

16. Li Y., Brown D., Gursoy D. Anomaly detection using Mahalanobis distance. *Expert Systems with Applications*. 2020. Vol, 144. Art. no. 113069.

References

1. Arefieva. O. V., Piletska. S. T., Simkova, T. O., Shabaltun, M. M. (2024) Rozrobka i pryiniattia stratehichnykh rishen pidpryiemstva cherez formuvannia innovatsiinykh modelei rozvytku pry zabezpechenni ekonomichnoi bezpeky [Development and adoption of strategic decisions of the enterprise through the formation of innovative development models while ensuring economic security]. *Ekonomichnyi analiz,* 34 (4). DOI: https://doi.org/10.35774/econa2024.04.001 [in Ukrainian].

2. Voronkova, A. E. (2021). Ekonomichna bezpeka pidpryiemstva v umovakh tsyfrovizatsii: kontseptualni zasady ta metodychni pidkhody [Economic security of enterprises in the context of digitalization: conceptual foundations and methodological approaches]. *Ekonomika ta derzhava,* 9, pp. 56-60 [in Ukrainian].

3. Dolbnieva, D. (2019) Cuchasni formy orhanizatsii vnutrishnoho audytu ta dotsilnist yikh vykorystannia u diialnosti pidpryiemstv Ukrainy [Modern forms of internal audit organization and the expediency of their use in the activities of Ukrainian enterprises]. *Prychornomorski ekonomichni studii,* 47-2, pp. 133-137. DOI: https://doi.org/10.32843/bses.47-59 [in Ukrainian].

4. Klymko, T. Yu., Melnyk, O. O. (2015). Udoskonalennia roboty vnutrishnoho audytu dlia zapobihannia frodiv na pidpryiemstvi [Improving the work of internal audit to prevent fraud at the enterprise] [in Ukrainian]. *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Seriia «Ekonomika i menedzhment» – Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series "Economics and Management",* 13, pp. 251–254 [in Ukrainian].

5. Piletska, S. T. Miahkykh, I. Iu., Korytko, T. Yu. (2025). Motyvatsiine zabezpechennia rozvytku potentsialu pidpryiemstva v konteksti yikh ekonomichnoi bezpeky v umovakh tsyrkuliarnoi ekonomiky [Motivational support for the development of enterprise potential in the context of their economic security in a circular economy]. *Biznes-navihator,* 3 (80). pp. 170-174. DOI: https://doi.org/10.32782/business-navigator.80-30 [in Ukrainian].

6. Riabchuk, O. H., Tverdun, S. O. (2021). Forenzik yak instrument protydii ekonomichnym zlochynam ta finansovomu shakhraistvu na pidpryiemstvi [Forensics as a tool for countering economic crimes and financial fraud in the enterprise]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu – Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University. Seriia: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo,* 40, pp. 77-82. DOI: https://doi.org/10.32782/2413-9971/2021-40-14 [in Ukrainian].

7. Tiutchenko, S. M. (2021). Funktsii forenziku yak instrumentu uperedzhennia korporatyvnoho shakhraistva ta pidvyshchennia ekonomichnoi bezpeky pidpryiemstv [The functions of forensics as a tool to prevent corporate fraud and increase the economic security of enterprises]. *Efektyvna ekonomika,* 5. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.5.99 [in Ukrainian].

8. Shostak, L., Fedoniuk, A., Pomazun, O. (2024). Kiberbezpeka v systemi formuvannia biznes-modeli pidpryiemstva v umovakh tsyfrovoi ekonomiky [Cybersecurity in the system of forming a business model of an enterprise in the digital economy] *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society,* 64. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-37 [in Ukrainian].

9. Adegbite, T., Owolabi, S. (2022) Forensic Accounting: A Theoretical Overview. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, Vol. 12 (5), pp. 73–88. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/359282194.

10. AL-Hadi Fatima Ismail, Shaibany Nagi Ali Al. (2024). Digital Forensic Accounting: An Overview. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing,* 13(8), pp. 99-106
DOI: https://doi.org/10.47760/ijcsmc. 2024.v13i08.011.

11. Bhave Atul Vijay. (2024). Artificial Intelligence for Forensic Accounting: Opportunities and Risks. *Bharatiya Shiksha Shodh Patrika*, Vol. 43, Issue 1 (III).

12. Duda, R. O., Hart, P. E. (2001). Pattern Classification. 2nd Ed. Wiley. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228058014_Pattern_Classification.

13. Goldstein, M., Uchida, S. (2016). A Comparative Evaluation of Unsupervised Anomaly Detection Algorithms for Multivariate Data. *PLOS ONE*, Vol. 11(4). DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152173.

14. Hopwood, W. S., Leiner, J. J., Young, G. R. (2023). *Forensic Accounting and Fraud Examination*. 3rd ed. McGraw-Hill Education. 560 p.

15. Vasarhelyi, M. A., Kogan, A., Tuttle, B. (2015). Big Data in Accounting: An Overview. *Accounting Horizons*, 29(2), pp. 381–396.
DOI: https://doi.org/10.2308/acch-51071.

16. Li Y., Brown, D., Gursoy D. (2020). Anomaly detection using Mahalanobis distance. *Expert Systems with Applications*, 144, 113069.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2025
Рецензовано: 16.05.2025

Формат цитування:

Пілецька С. Т., Колесников С. О. Математичне моделювання виявлення фінансових порушень у системі економічного форензіка для забезпечення безпеки підприємства в умовах цифрової економіки. *Вісник економічної науки України.* 2025. № 1 (48). С. 165-169. *DOI: https://doi.org/10.37405/1729-7206.2025.1(48).165-169*

Piletska, S. T., Kolesnykov, S. O. (2025). Mathematical Modeling of Financial Violation Detection in the Economic Forensics System to Ensure Enterprise Security in the Digital Economy. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (48), pp. 165-169. *DOI: https://doi.org/10.37405/1729-7206.2025.1(48).165-169*