

Нестеренко Оксана Олександрівна,
д.е.н., професор, завідувач кафедри управління та
адміністрування, Харківський національний
університет ім. В.Н. Каразіна

Nesterenko Oksana, Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of the Department of Management and Administration,
V. N. Karazin Kharkiv National University,
<https://orcid.org/0009-0007-5980-3253>

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ФОРЕНЗІК-ДІАГНОСТИКИ ДОСТОВІРНОСТІ ОБЛІКУ ВИТРАТ НА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКИ ІННОВАЦІЙНО-АКТИВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

METHODOLOGICAL APPROACHES TO FORENSIC DIAGNOSTICS OF THE RELIABILITY OF ACCOUNTING FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT EXPENSES OF INNOVATION-ACTIVE ENTERPRISES

Нестеренко О. О. Методичні підходи до форензик-діагностики достовірності обліку витрат на дослідження та розробки інноваційно-активних підприємств. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2025. Том 10. № 4. С. 329 – 332.

Nesterenko O. Methodological approaches to forensic diagnostics of the reliability of accounting for research and development expenses of innovation-active enterprises. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2025. Volume 10. № 4, pp. 329 – 332.

У статті розглянуто методичні підходи до форензик-діагностики достовірності обліку витрат на дослідження та розробки в інноваційно-активних підприємствах. Проаналізовано специфіку витрат на дослідження та розробки як об'єкта форензик-діагностики. Обґрунтовано трикошторну архітектуру верифікації, яка інтегрує аналітичні процедури на рівні первинних даних, синтетичного обліку та фінансової звітності. Систематизовано вісім основних типів облікових маніпуляцій з витратами на НДДКР. Розроблено систему індикаторів ризику облікових маніпуляцій, згрупованих за фінансовими, операційними та управлінськими категоріями. Обґрунтовано застосування закону Бенфорда для виявлення аномалій у структурі первинних документів та цифрового конструювання даних.

Ключові слова: форензик-діагностика, витрати на дослідження та розробки, облікові маніпуляції, фінансове шахрайство, закон Бенфорда, інноваційно-активні підприємства, капіталізація витрат, достовірність обліку, індикатори ризику, фінансова звітність.

The article discusses methodological approaches to forensic diagnostics of the reliability of accounting for research and development costs in innovation-active enterprises. It shows that, in the context of digitalisation and the growing role of innovation, R&D accounting is one of the most vulnerable areas for manipulation and fraud, resulting in an average annual loss of 5% of revenue. Traditional financial audits detect only three to four per cent of fraud cases, while whistleblowers identify forty-three per cent, indicating the limited effectiveness of classical approaches. The specifics of R&D costs as an object of forensic diagnostics are analysed, with the transition from research to development stage defined by high levels of professional judgement, uncertainty about future economic benefits, and technical complexity that creates information asymmetry between management and stakeholders. A three-contour verification architecture is justified, integrating analytical procedures at the primary data level using digital forensics, synthetic accounting with correspondence analysis, and financial reporting using statistical models. Eight main types of accounting manipulations are systematised, including improper capitalisation of research costs, premature capitalisation, 'big bath' strategy, unjustified extension of depreciation periods, conversion of operating to capital expenses, and fictitious expenses from related parties. A system of risk indicators grouped into financial, operational, and managerial categories with critical values is developed. The application of Benford's law to identify anomalies in primary documents is justified, as 72% of confirmed fraud cases showed significant deviations from the natural number distribution. The practical value lies in applying the proposed approaches to early detect financial reporting distortions, protect investor interests, and ensure financial market stability amid the growing importance of innovation for enterprise competitiveness.

Keywords: forensic diagnostics, research and development costs, accounting manipulations, financial fraud, Benford's law, innovation-active enterprises, capitalisation of costs, accounting reliability, risk indicators, financial reporting.

Вступ

У сучасних умовах цифровізації економіки та зростання ролі інноваційної діяльності як ключового драйвера конкурентоспроможності підприємств достовірність обліку витрат на дослідження та розробки (НДДКР) набуває критичного значення для прийняття управлінських рішень, захисту інтересів інвесторів та забезпечення стабільності фінансових ринків. Водночас, емпіричні дослідження засвідчують, що саме облік інноваційних витрат є однією з найбільш вразливих зон для здійснення облікових маніпуляцій та фінансового шахрайства. За оцінками Асоціації сертифікованих експертів з розслідування шахрайства (ACFE), корпоративне шахрайство призводить до втрати в середньому 5% виручки щорічно, причому неправомірна капіталізація витрат визнана одним з найпоширеніших методів викривлення фінансової звітності [1].

Парадокс сучасної ситуації полягає в тому, що традиційні процедури фінансового аудиту значно поступаються виявленню шахрайських схем порівняно з іншими методами. Так, сигнали від інформаторів стали причиною виявлення близько 43% усіх випадків шахрайства, тоді як внутрішні аудиторів ідентифікували приблизно 14–15% випадків, а зовнішні аудиторів виявили лише близько 3–4% випадків шахрайства [1]. Така диспропорція свідчить про обмежену ефективність традиційного фінансового аудиту у виявленні економічних зловживань і підкреслює важливість застосування сучасних підходів, зокрема форензик-діагностики, для забезпечення достовірності обліку.

Проблематика достовірності обліку витрат на дослідження та розробки, а також пов'язаних із цим ризиків фінансових викривлень і шахрайства, є предметом активних наукових дискусій у працях вітчизняних і зарубіжних дослідників. Значна частина досліджень зосереджена на обліковому трактуванні витрат на НДДКР, зокрема на проблемах їх ідентифікації, класифікації та вибору між списанням і капіталізацією.

Так, у роботах К. В. Безверхого та Т. Я. Сенчук розкрито організаційні та методичні аспекти обліку витрат на дослідження і розробки в умовах національного регулювання, акцентовано увагу на неоднозначності критеріїв визнання таких витрат активами та ризиках суб'єктивних управлінських рішень у процесі формування фінансової звітності [2; 3]. Р. В. Романів у своєму порівняльному аналізі виявляє значні розбіжності між національними положеннями бухгалтерії та міжнародними стандартами у трактуванні обліку НДДКР, що ускладнює формування достовірної і порівнянної інформації про інноваційну діяльність суб'єктів господарювання [4].

Зарубіжні дослідження здебільшого фокусуються на порівняльному аналізі стандартів обліку НДДКР та впливі облікової політики на фінансові результати й інвестиційну привабливість компаній. Зокрема, С. Шрайбер

здійснює ґрунтовний аналіз відмінностей між МСФЗ, US GAAP та національними регуляторними системами щодо обліку витрат на дослідження та розробки, підкреслюючи високий рівень дискреційності управлінських рішень у сфері капіталізації витрат [5].

Водночас низка емпіричних робіт доводить, що витрати на НДДКР часто використовуються як інструмент маніпулювання фінансовими результатами. Так, Б. Грабінська та К. Грабінський встановили статистично значущий зв'язок між обсягами витрат на R&D і практиками управління прибутком, що підтверджує підвищений ризик викривлення фінансової звітності в інноваційно активних компаніях [6].

Окремий науковий напрям формують дослідження у сфері форензик-аудиту та форензик-діагностики, які розглядаються як інструменти виявлення прихованих фінансових зловживань. Зокрема, Н. Еллілі та П. К. Озілі у своїх роботах систематизують сучасні підходи до форензик-аудиту, наголошуючи на його перевагах порівняно з традиційним аудитом у контексті детекції складних схем маніпулювання фінансовими показниками [7; 8]. О. Г. Рябчук та А. М. Вишняк доводять, що поєднання інструментів форензик та аудиту дозволяє значно підвищити рівень захисту підприємств від фінансових шахрайств [9].

Разом з тим, попри наявність значної кількості праць, присвячених окремо обліку витрат на НДДКР та форензику, питання методичної інтеграції форензик-діагностики у процес перевірки достовірності обліку інноваційних витрат залишаються недостатньо дослідженими. Це зумовлює необхідність розроблення комплексних методичних підходів, спрямованих на виявлення облікових викривлень і шахрайських схем саме у сфері формування витрат на дослідження та розробки.

Разом з тим, попри наявність значної кількості праць, присвячених окремо обліку витрат на НДДКР та форензику, питання методичної інтеграції форензик-діагностики у процес перевірки достовірності обліку інноваційних витрат залишаються недостатньо дослідженими. Це зумовлює необхідність розроблення комплексних методичних підходів, спрямованих на виявлення облікових викривлень і шахрайських схем саме у сфері формування витрат на дослідження та розробки.

Формулювання цілей статті

Метою статті є обґрунтування та розробка методичних підходів до форензик-діагностики достовірності обліку витрат на дослідження та розробки, спрямованих на виявлення облікових викривлень, маніпуляцій і шахрайських схем у процесі формування фінансової звітності підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження

Форензик-діагностика витрат на дослідження та розробки становить спеціалізований напрям форензику, що інтегрує методи судової бухгалтерії, аналітичних процедур підвищеного рівня та цифрових технологій для виявлення облікових маніпуляцій, прихованого шахрайства та системних викривлень у процесі формування фінансової звітності інноваційно-активних підприємств. На відміну від традиційного фінансового аудиту, що оцінює достовірність звітності через вибіркове тестування сальдо рахунків та операцій, застосовує цілеспрямований підхід до пошуку доказів навмисних викривлень через аналіз аномальних патернів у первинних даних, незвичних відхилень від математичних законів природного розподілу цифр.

Специфіка витрат на дослідження та розробки як об'єкта форензик-діагностики зумовлена кількома факторами. По-перше, високий рівень професійного судження при визначенні моменту переходу від стадії дослідження до стадії розробки надає обліково-управлінському персоналу значні можливості для альтернативного вибору доцільної політики. По-друге, невизначеність майбутніх економічних вигод від НДДКР ускладнює об'єктивну оцінку доцільності капіталізації витрат. По-третє, технічна складність інноваційних проектів створює інформаційну асиметрію між менеджментом та зовнішніми стейкхолдерами.

Концептуальна модель форензик-діагностики витрат на НДДКР базується на триконтурній архітектурі верифікації, яка інтегрує аналітичні процедури на рівні первинних даних, синтетичного обліку та фінансової звітності (рис. 1).

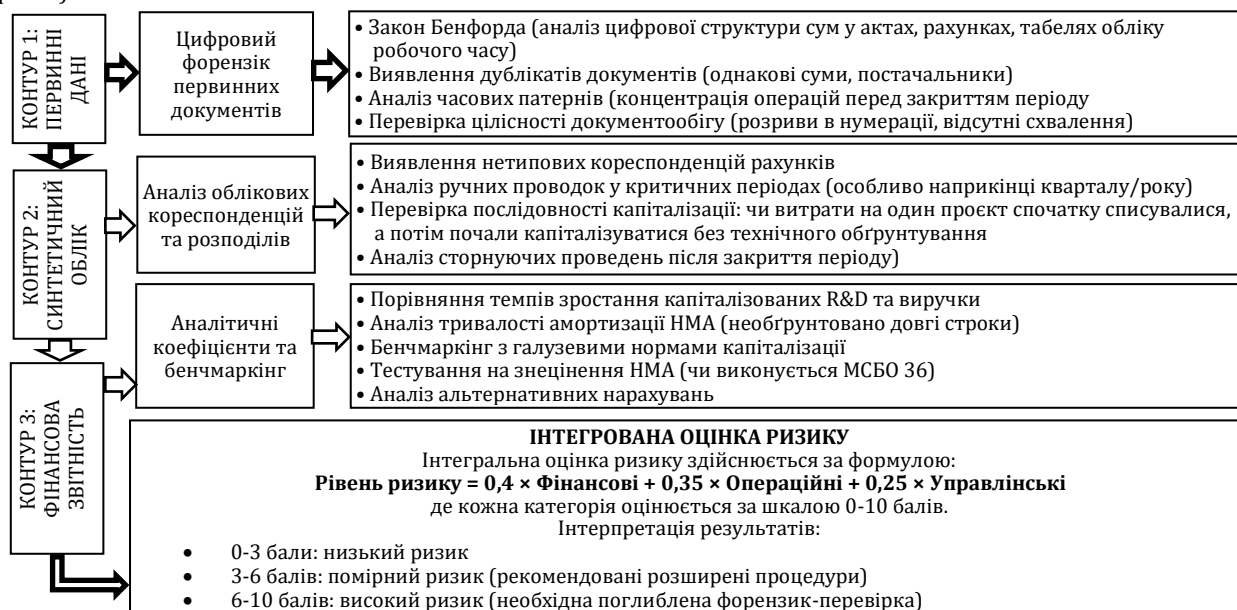


Рис. 1. Триконтурна архітектура форензик-діагностики витрат на НДДКР. Джерело: розроблено автором

Перший контур застосовує методи цифрового форензику для виявлення аномалій у структурі первинних документів. Закон Бенфорда, що описує розподіл першої значущої цифри в природних наборах даних, є ефективним інструментом виявлення маніпуляцій [10]. Як цілком слушно зазначають С. В. Івахненко та В. В. Івахненкова аудиторі, які використовують Закон Бенфорда, щоб знайти докази фальшивих вхідних даних, мають знати про

особливості застосування підходів, що базуються на вивченні частоти появи цифр та на розрахунках статистичних критеріїв [11].

Другий контур фокусується на аналізі облікових кореспонденцій, особливу увагу приділяючи ручним коригуванням наприкінці звітної періоду. Дослідження засвідчують, що підприємства, схильні до управління прибутком, демонструють аномально високу частоту ручних проводок у останньому місяці кварталу [12]. Третій контур застосовує статистичні моделі для виявлення дискреційних нарахувань та порівняння з галузевими бенчмарками.

На основі узагальнення наукових праць та аналізу корпоративних скандалів нами систематизовано основні схеми облікових маніпуляцій з витратами на дослідження та розробки (табл. 1).

Таблиця 1. Типологія облікових маніпуляцій з витратами на НДДКР

Тип маніпуляції	Механізм реалізації	Індикатори виявлення
Неправомірна капіталізація витрат на дослідження	Витрати на фундаментальні дослідження класифікуються як розробки та капіталізуються без виконання критеріїв МСБО 38	<ul style="list-style-type: none"> Різке зростання частки капіталізованих R&D (>20% за рік) Капіталізація на ранніх стадіях проєктів Відсутність технічної документації
Передчасна капіталізація	Витрати капіталізуються до виконання всіх шести критеріїв МСБО 38	<ul style="list-style-type: none"> Капіталізація одночасно з початком проєкту Відсутність бізнес-планів Короткий час між початком та капіталізацією
«Велика ванна» (Big Bath)	Раптове списання великих обсягів капіталізованих R&D як знецінення	<ul style="list-style-type: none"> Аномально великі списання НМА (>30%) Списання збігається зі зміною керівництва Відсутність попередніх індикаторів проблем
Невиправдане подовження строків амортизації	Строки корисного використання встановлюються необґрунтовано довгими	<ul style="list-style-type: none"> Строки значно перевищують галузеві норми Строки довші за життєвий цикл технології
Переведення операційних витрат у капіталі	Поточні витрати класифікуються як витрати на розробки	<ul style="list-style-type: none"> Зростання капіталізації без збільшення R&D-персоналу Капіталізація операційних витрат
Фіктивні витрати від пов'язаних сторін	Контракти на R&D-послуги з пов'язаними сторонами за завищеними цінами	<ul style="list-style-type: none"> Витрати від пов'язаних сторін значно вищі ринкових Відсутність обґрунтування цін

Джерело: розроблено автором

Закон Бенфорда стверджує, що в природних наборах числових даних перша значуща цифра має специфічний розподіл: «1» з'являється у 30,1% випадків, «2» – у 17,6%, і так далі до «9» – 4,6% [14]. Відхилення від цього розподілу може свідчити про маніпуляції.

Послідовність застосування: формування вибірки – виокремити операції за рахунками витрат на НДДКР (мінімум 500-1000 операцій); розрахунок фактичного розподілу – для кожної операції виділити першу значущу цифру; статистичне тестування застосувати критерій хі-квадрат для оцінки відхилень; аналіз аномалій – ідентифікувати цифри з найбільшими відхиленнями; деталізація – перевірити первинні документи підозрілих операцій.

Таблиця 2. Система індикаторів ризику облікових маніпуляцій з витратами на НДДКР

Індикатор	Критичне значення	Інтерпретація
Фінансові індикатори		
Темп зростання капіталізованих R&D	>150% від темпу зростання виручки	Можлива агресивна капіталізація
Частка капіталізованих R&D у загальних R&D	>галузевої норми +20 п.п.	Відхилення від галузевої практики
Коефіцієнт амортизації НМА	<галузевої норми -30%	Можливе подовження строків
Операційні індикатори		
Частка ручних проводок у загальних	>15% в останньому місяці кварталу	Ознака маніпуляцій
Зміна методології розподілу витрат	Так/Ні	Потребує обґрунтування
Відхилення від закону Бенфорда	$\chi^2 > 15,51$	Аномальна структура даних
Управлінські індикатори		
Зміна ключових осіб (CEO/CFO)	Так/Ні	Підвищений ризик «великої ванни»
Тиск на досягнення цільових показників	Високий	Мотивація до маніпуляцій
Слабкість внутрішнього контролю	Так/Ні	Можливість маніпуляцій

Джерело: розроблено автором

Дослідження показують, що у 72% випадків підтвердженого шахрайства спостерігалися значні відхилення від закону Бенфорда [15]. Для комплексної оцінки ризику облікових маніпуляцій з витратами на НДДКР розроблено систему індикаторів, згрупованих за категоріями (табл. 2).

Для ефективного впровадження форензик-діагностики витрат на НДДКР пропонується наступна послідовність дій (рис. 2). Критично важливим є використання спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизації аналітичних процедур. Застосування комп'ютеризованих методів аудиту, як частини процесу аудиту, полегшило використання складних статистичних інструментів, таких як цифровий аналіз за Законом Бенфорда. Наприклад, аудитор, який застосовує аналіз за Законом Бенфорда, використовуючи програмне забезпечення ACL, потрібно тільки вказати відповідне поле даних, щоб успішно запустити команду [11]. Інструменти на кшталт ACL, IDEA або спеціалізовані бібліотеки Python



Рис. 2. Методичні підходи до форензик-діагностики витрат на НДДКР. Джерело: розроблено автором

дозволяють обробляти великі обсяги даних та виявляти аномалії, які неможливо ідентифікувати вручну.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Форензик-діагностика витрат на дослідження та розробки є ефективним інструментом виявлення облікових маніпуляцій та шахрайства в інноваційно активних підприємствах. Розроблена триконтурна архітектура верифікації дозволяє здійснювати комплексну перевірку достовірності обліку на рівні первинних даних, синтетичного обліку та фінансової звітності.

Застосування закону Бенфорда для аналізу цифрової структури первинних документів дозволяє виявляти аномалії, що можуть свідчити про штучне конструювання даних. Систематизація восьми основних типів облікових маніпуляцій з витратами на НДДКР та розробка системи індикаторів ризику створюють методичну основу для раннього виявлення потенційних викривлень фінансової звітності.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою моделей машинного навчання для автоматичного виявлення складних схем маніпуляцій, адаптацією методики форензик-діагностики до специфіки обліку цифрових активів та зелених інновацій, а також інтеграцією нефінансових індикаторів сталого розвитку у систему оцінки ризиків облікових викривлень.

Література

1. Occupational Fraud 2024: A Report To The Nations. URL: <https://legacy.acfe.com/report-to-the-nations/2024/>.
2. Безверхий К. В. Організація обліку витрат на дослідження та розробки. *Фінанси, облік і аудит*. 2009. № 13. С. 159–168.
3. Сенчук Т. Я. Організація обліку витрат на дослідження та розробки. Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу. *Міжнародний збірник наукових праць*. 2011. Вип. 3(21). С. 346–351.
4. Романів Р. В. Обліково-аналітичне відображення витрат на НДДКР у вітчизняній та міжнародній нормативній базі: порівняльний аспект. *Вісник Економіки*. 2025. № 3. С. 106–118. DOI: <https://doi.org/10.35774/visnyk2025.03.106>.
5. Schreiber S. Accounting For Research And Development Costs And Similar Costs: Differences And Similarities Between Us Gaap, Ifrs And German Commercial Code. *Journal of European Economy*. 2017. Vol. 5. № 4. P. 399–414. <https://jeej.wunu.edu.ua/index.php/enjee/article/view/1014>.
6. Grabińska B., Grabiński K. The impact of R&D expenditures on earnings management. *Argumenta Oeconomica Cracoviensia*. 2017. №17. P. 53–72. DOI: <https://doi.org/10.15678/AOC.2017.1704>.
7. Ellili N., Nobanee H., Haddad A., Alodat A. Y., AlShalloudi M., Emerging trends in forensic accounting research: Bridging research gaps and prioritizing new frontiers. *Journal of Economic Criminology*. 2024. Volume 4. <https://doi.org/10.1016/j.jeconc.2024.100065>.
8. Ozili P. K. Forensic accounting research around the world. *Journal of Financial Reporting and Accounting*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/JFRA-02-2023-0106>.
9. Рябчук О. Г., Вишняк А. М. Роль форензика та аудиту в боротьбі з фінансовим шахрайством. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2025. Вип. 2(116). С. 127–133. DOI: <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2025-2-18>.
10. Nigrini M. J. *Benford's Law: Applications for Forensic Accounting, Auditing, and Fraud Detection*. Wiley, 2012. 330 p.
11. Івахненко С. В., Івахненкова В. В. Закон Бенфорда в аудиті фінансової звітності. Матеріали міжн. наук.-метод. Інтернет-конференції «Проблеми математичної освіти: виклики сучасності (2018)» : зб. матеріалів. Вінниця: ВНТУ, 2018. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/pmocv/pmocv/paper/viewFile/5579/4733>.
12. Gerakos J. Discussion of detecting earnings management: A New Approach. *Journal of Accounting Research*. 2012. № 50(2). DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-679X.2012.00452.x>.
13. Mulford C. W., Comiskey E. E. *The Financial Numbers Game*. Wiley, 2002. URL: https://nacm.org/pdfs/gscfm/FW_TheFinancialNumbersGame.pdf.
14. Benford F. The Law of Anomalous Numbers. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 1938. №78. P. 551–572.
15. Durtschi C., Hillison W., Pacini C. The Effective Use of Benford's Law to Assist in Detecting Fraud in Accounting Data. *Journal of Forensic Accounting*. 2004. №5. P. 17–34.

References

1. ACFE. (2024). *Occupational Fraud 2024: A Report to the Nations*. Association of Certified Fraud Examiners. Available at: <https://www.acfe.com/report-to-the-nations/2024/>.
2. Bezverkhyy, K. V. (2009). Orhanizatsiia obliku vytrat na doslidzhennia ta rozrobky [Organization of accounting for research and development costs]. *Finansy, oblik i audyt*, no. 13, pp. 159–168.
3. Senchuk, T. Ya. (2011). Orhanizatsiia obliku vytrat na doslidzhennia ta rozrobky [Organization of accounting for research and development costs]. *Problems of theory and methodology of accounting, control and analysis*, iss. 3(21), pp. 346–351.
4. Romaniv, R. V. (2025). Oblikovo-analitychne vidobrazhennia vytrat na NDDKR u vitchyznianiі ta mizhnarodnii normatyvniі bazi: porivnialnyi aspekt [Accounting and analytical reflection of R&D costs in domestic and international regulatory frameworks: a comparative aspect]. *Herald of Economics*, no. 3, pp. 106–118. <https://doi.org/10.35774/visnyk2025.03.106>.
5. Schreiber, S. (2017). Accounting For Research And Development Costs And Similar Costs: Differences And Similarities Between Us Gaap, Ifrs And German Commercial Code. *Journal of European Economy*, vol. 5, no. 4, pp. 399–414. Available at: <https://jeej.wunu.edu.ua/index.php/enjee/article/view/1014>.
6. Grabińska, B., & Grabiński, K. (2017). The impact of R&D expenditures on earnings management. *Argumenta Oeconomica Cracoviensia*, no. 17, pp. 53–72. <https://doi.org/10.15678/AOC.2017.1704>.
7. Ellili, N., Nobanee, H., Haddad, A., Alodat, A. Y., & AlShalloudi, M. (2024). Emerging trends in forensic accounting research: Bridging research gaps and prioritizing new frontiers. *Journal of Economic Criminology*, vol. 4. <https://doi.org/10.1016/j.jeconc.2024.100065>.
8. Ozili, P. K. (2023). Forensic accounting research around the world. *Journal of Financial Reporting and Accounting*. <https://doi.org/10.1108/JFRA-02-2023-0106>.
9. Riabchuk, O. H., & Vyshniak, A. M. (2025). Rol forenziku ta audytu v borotbi z finansovym shakhraistvom [The role of forensics and audit in the fight against financial fraud]. *Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade*, iss. 2(116), pp. 127–133. <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2025-2-18>.
10. Nigrini, M. J. (2012). *Benford's Law: Applications for Forensic Accounting, Auditing, and Fraud Detection*. Wiley. 330 p.
11. Ivakhnenkov, S. V., & Ivakhnenkova, V. V. (2018). *Zakon Benforda v audyti finansovoi zvitnosti* [Benford's Law in the audit of financial statements]. Proceedings of the International Scientific-Methodological Internet Conference "Problems of Mathematical Education: Challenges of Modernity". Vinnytsia: VNTU. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/pmocv/pmocv/paper/viewFile/5579/4733>.
12. Gerakos, J. (2012). Discussion of detecting earnings management: A New Approach. *Journal of Accounting Research*, no. 50(2). <https://doi.org/10.1111/j.1475-679X.2012.00452.x>.
13. Mulford, C. W., & Comiskey, E. E. (2002). *The Financial Numbers Game*. Wiley. Available at: https://nacm.org/pdfs/gscfm/FW_TheFinancialNumbersGame.pdf.
14. Benford, F. (1938). The Law of Anomalous Numbers. *Proceedings of the American Philosophical Society*, no. 78, pp. 551–572.
15. Durtschi, C., Hillison, W., & Pacini, C. (2004). The Effective Use of Benford's Law to Assist in Detecting Fraud in Accounting Data. *Journal of Forensic Accounting*, no. 5, pp. 17–34.

Стаття надійшла до редакції / Received 28.11.2025

Прийнята до друку / Accepted 05.12.2025