

УДК 737.1(161.2:378.28)

Олена Швець

аспірант кафедри історії, археології,
інформаційної та архівної справи,
Центральноукраїнський національний
технічний університет
(Кропивницький, Україна)

Olena Shvets

graduate student of the Department of
history, archaeology,
information and archival affairs,
Central Ukrainian National
Technical University
(Kropyvnytskyi, Ukraine)

e-mail: jelenashvets@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2787-2672

ResearcherID: HNB-8093-2023

ШТЕМПЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ: СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МЕТОДУ

DIE ANALYSIS: CURRENT STATE OF APPLICATION AND PROSPECTS OF DIGITALIZATION OF THE METHOD

Анотація

Постановка проблеми. Вивчення монетних штемпелів є одним з основних методів, що використовується для дослідження фундаментальних складових нумізматичної науки – історії грошового обігу та історії монетного карбування. Детальне вивчення кожної існуючої стародавньої монети допомагає нам скласти загальну картину фіскальної та монетарної політики держави а також зрозуміти, як працювали монетні двори та державні установи, як була організована їхня структура та виробничі процеси. Вичерпне дослідження карбування монет відкриває великі докази, зокрема в економічній історії та використовується для більш глибокого її розуміння. **Мета статті** полягає у дослідженні та висвітленні процесу осучаснення та диджиталізації методу порівняльного штемпельного аналізу, що активно використовується науковцями під час проведення нумізматичних досліджень, та розгляді сучасного стану цього напрямку і перспектив його розвитку.

Основні результати дослідження. Під час нашого дослідження проаналізовано позитивний вплив цифрових технологій на наукові методи у нумізматиці. Також розглянуто існуючі сьогодні способи проведення методу штемпельного аналізу з використанням сучасного програмного забезпечення та спроби застосування нейронних мереж для проведення порівняльного аналізу монетних штемпелів. Результати дослідження свідчать про колосальну еволюцію методу штемпельного аналізу за останні 20 років і підтверджують те, що

цифровізація є ключовим фактором у розвитку будь-яких наукових досліджень. З її активним упровадженням удосконалюються вже існуючі методи, перед науковцями відкриваються нові способи проведення нумізматичних досліджень, нові можливості для вирішення складних завдань, що сприяє інноваціям та прогресу в науковій галузі, економить час та підвищує якість отриманих результатів.

Ключові слова: нумізматика, монета, монетний штемпель, цифрова нумізматика, оцифрування, цифровізація, штемпельний аналіз.

Abstract

The Problem Statement. *The study of coin die is one of the main methods used to study the fundamental components of numismatic science – the history of money circulation and the history of coinage. During the production process of any coin, an imprint of dies (stamps) is stored on it, which were always produced in pairs (upper and lower). On their working surface, a negative image of the obverse and reverse of the future coin is engraved, in particular, portraits of the rulers of the state, coats of arms and other elements that are not just decorative, but carry information about such «official» parts of the history of a certain state as local religion , economic policy, power ambitions, social self-identity and other aspects of the history of ancient space. Based on this, it is worth noting that a detailed study of each existing ancient coin helps us to make a general picture of the fiscal and monetary policy of the state, as well as to understand how mints and state institutions worked, how their structure and production processes were organized. A comprehensive study of coinage reveals a great deal of evidence, particularly in economic history, and is used for a deeper understanding of it.*

The Aim of Article *is to research and highlight the process of modernization and digitalization of the method of comparative die analysis, which is actively used by scientists during numismatic research, and to consider the current state of this direction and its development prospects.*

Scientific novelty. *The first coins in the world appeared in ancient times, and the first mentions of the beginning of conscious collecting and the appearance of numismatists are known to us from the 14th–15th centuries. Coin collecting was the first step towards the emergence of numismatics as a scientific field, the beginning of which can be attributed to the 18th century, when the Austrian priest and numismatist Joseph Eckel created the foundations and principles of systematization of individual coin specimens according to the historical and geographical principle. It was this event that became a major impetus for the development of numismatics as a scientific discipline, whose representatives began a detailed study of coins for a deeper understanding of the history, culture and economy of the world. Over time, this discipline gained expressiveness, due to which its clear directions, tasks and methods were formed. One such basic method is the analysis of coin dies and their comparison, and like any*

scientific method it must evolve and move in step with technological progress, meeting the needs and demands of modern scholars. That is why the study of the current state and development of this method deserves special attention, in order to improve the quality of the results obtained and the possibility of saving the precious time of each researcher.

***The main results of the research.** Our research analyzed the positive impact of digital technologies on scientific methods in numismatics. The current methods of postmark analysis using modern software and attempts to use neural networks for comparative analysis of coin dies were also considered. The results of the study testify to the colossal evolution of the postmark analysis method over the past 20 years, and confirm that digitization is a key factor in the development of any scientific research. It improves the existing methods, opening new ways for scientists to conduct numismatic research, and provides new opportunities for solving complex tasks, which promotes innovation and progress in the scientific field, saves time and improves the quality of the results obtained in the process.*

***Key words:** numismatics, coin, coin die, digital numismatics, digitization, digitalization, dies analysis.*

Постановка проблеми. Вивчення монетних штемпелів¹ є одним з основних методів, що використовується для дослідження фундаментальних складових нумізматичної науки – історії грошового обігу та історії монетного карбування. У процесі виготовлення будь-якої монети на ній зберігається відбиток штампів (штемпелів), які завжди виготовлялись парно (верхній та нижній). На їх робочих поверхнях вигравіруване негативне зображення аверсу та реверсу майбутньої монети, зокрема портрети правителів держави, зображення гербів та інших елементів, що мають не просто декоративне значення, а несуть інформацію про такі «офіційні» частини історії певної держави, як місцева релігія, економічна політика, владні амбіції, громадська самоідентичність та інші аспекти історії стародавнього простору. Виходячи з цього, варто зазначити, що детальне вивчення кожної існуючої стародавньої монети допомагає нам скласти загальну картину фіскальної та монетарної політики держави, а також зрозуміти, як працювали монетні двори та державні установи, як була організована їх структура та виробничі процеси. Вичерпне дослідження карбування монет відкриває великі докази, зокрема в економічній історії, та використовується для більш глибокого її розуміння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми та розвиток цифровізації методів аналізу та вивчення монетних штемпелів знайшли відображення у публікаціях К. Хавгего², М Кемпеля та М. Захарієвої³, Р. Хубер-

¹ Штемпель – нумізматичний термін, що означає металевий інструмент для карбування монет і медалей.

² Howgego, 2005: 109–113.

³ Kampel & Zaharieva, 2008: 11–22.

Мьорка, М. Ньолле, М. Рубіка, М. Хьодльмосера та М. Замбаніні⁴, С. Н. Тіки, К. А. Боіягну, та А. Тігори⁵, З. М. Тейлора⁶, А. Хейнеке, Е. Майера, А. Натараджана, Ю. Юна⁷ та багатьох інших дослідників цього напрямку.

Теоретико-методологічними основами є послідовний аналіз наукових праць та дискусій навколо даного методу, проведення експерименту та розробка методичних рекомендацій щодо його цифрової реалізації, а також дослідження його ролі та перспектив у широкому контексті розвитку нумізматичної науки.

Мета статті полягає у дослідженні та висвітленні процесу осучаснення та диджиталізації методу порівняльного штемпельного аналізу, що активно використовується науковцями під час проведення нумізматичних досліджень, та розгляді сучасного стану цього напрямку і перспектив його розвитку.

Наукова новизна. Одним із таких основних методів нумізматики є аналіз монетних штемпелів та їхнє порівняння, і, як будь-який науковий метод, він повинен розвиватися та рухатись у ногу з технологічним прогресом, задовольняючи потреби та запити сучасних науковців. Саме тому дослідження сучасного стану та розвитку цього методу заслуговує на окрему увагу задля підвищення якості отриманих за рахунок його використання результатів та можливості економії дорогоцінного часу кожного дослідника.

Виклад основного матеріалу дослідження. Штемпельний аналіз монет в цілому є процесом вивчення та ретельного аналізу інформації, що знаходиться на поверхні нумізматичного об'єкта дослідження.

Цей метод, поряд із математичними, технічними та фізичними методами з'ясування складу металу монети, є важливим для уточнення атрибуції досліджуваних монет та їхнього визначення. Також він застосовується для уточнення датування, хронології, визначення обсягу емісії, відслідковування активності роботи монетних дворів, вивчення процесу технологічного виготовлення монет та навіть їх графічної реконструкції.

Даний метод відкриває можливість зрозуміти процес карбування монет навіть у ситуації, коли нумізматичний об'єкт залишається єдиним свідченням, яке несе в собі інформацію про його виготовлення. І навіть за відсутності на ньому датування та наявності пошкодження відбитку або його зношення з часом.

Один із прийомів даного методу – **порівняння монетних штемпелів**, що дозволяє визначити такі факти, як хронологія випуску, час, місце, номінал та технічні особливості виробництва монети. Також він застосовується задля виявлення монетних типів та підтипів, що досягається за допомогою виявлення

⁴ Huber-Mörk & Nölle & Rubik & Hödlmoser & Kampel & Zambanini, 2012.

⁵ Tica & Boiangiu & Tigora, 2013.

⁶ Taylor, 2020.

⁷ Heinecke & Mayer & Natarajan & Jun, 2021.

певних особливостей відбитків та подальшої побудови з них вузлових штемпельних ланцюгів (зі встановленням приналежності окремих монетних типів та підтипів один до одного). Це надає важливу інформацію для уточнення їх хронології та місць карбування, на основі яких можливе укладання топографії знахідок скарбів та окремих монет з метою з'ясування торгових шляхів та міри поширення монет певних держав.

Порівняння монетних штемпелів, фактично, здійснюється шляхом виявлення екземпляра-прототипу, що має найкращий стан збереженості зображення та легенди. Надалі з ним порівнюються інші екземпляри досліджуваної монети задля пошуку наявності або відсутності штемпельних зв'язків.

Цей метод дуже популярний серед дослідників східної нумізматики, його використовують у своїх наукових працях такі зарубіжні та вітчизняні дослідники, як Франсуа де Каллатай⁸, Вольфганг Фішер-Боссерт⁹, Василь Орлик¹⁰, Костянтин Хромов¹¹, Юрій Зайончковський¹² Андрій Бойко-Гагарін¹³ та ін.

На основі отриманих у процесі реалізації даного методу типологічних результатів здійснюється побудова певних штемпельних вузлів, ланцюжків та сіток. Уоррен Есті¹⁴ приділяв велику увагу дослідженню цього прийому в роботі з монетними штемпелями та їх аналізом, наполягаючи на дотриманні правил та основ математичної теорії графів для схематичного та наглядного структурування інформації.¹⁵

Важливість використання основ теорії графів для аналізу та повного розуміння діаграм штемпельних матриць у своїй роботі «Die Boxes, Workstations, Graph Theory and Die Charts» висвітлював доктор Джордж Ватсон¹⁶. У ній автор дослідив різні властивості діаграм штемпельних матриць, зокрема коефіцієнт сумісності, максимальну кількість зв'язків зі зворотною стороною, діаметр, щільність та кластеризацію. Всі вони спрямовані на виявлення аспектів початкового сценарію карбування. Автор зазначає, що концепція «перетинання ліній» у діаграмах штемпельних матриць відрізняється від попередніх обговорень, де розглядалося розташування лицьових і зворотних сторін монет на паралельних лініях. Підкреслюючи складність інтерпретації діаграм штемпельних матриць і труднощі пов'язування конкретних властивостей з окремими виробничими сценаріями, автор вказує на те, що математичний підхід Есті до аналізу графіків –

⁸ Callatay (de), 1999: 91–102; Callatay (de), 2011: 7–29.

⁹ Fischer-Bossert, 2020: 423–476.

¹⁰ Orlyk, 2021: 233–246; Орлик, 2022: 149–159.

¹¹ Хромов, 2006: 366–372; Хромов, 2007: 284–288; Хромов, 2013.

¹² Зайончковський & Тішкін, 2020: 114–130.

¹³ Бойко-Гагарін, 2014; Бойко-Гагарін, 2021.

¹⁴ Esty, 1990: 205–221; Esty, 2006; Esty, 2011.

¹⁵ Wilson, 1996.

¹⁶ Watson, 2022.

єдино можливий для їх коректної інтерпретації. Але розрізнення між використанням спарених штемפלів для монет і роботи кількох монетних майстерень на основі лише зразка зв'язків між монетами неможливе. І хоча математичні підходи у дослідженні монетних штемפלів не повинні бути відкинуті, та розвиток математичних досліджень може призвести до нових ідей (в області вивчення штемпельних матриць), вони повинні доповнюватися суб'єктивним розумінням процесу карбування. Автор підкреслює, що інтерпретація діаграм штемпельних матриць залежить від контекстного знання, тому дослідження інших контекстуальних факторів залишається досить важливим.

Саме тому через актуальність теми та активне використання даного методу у процесі вивчення монетних штемפלів дослідниками по всьому світу хотілося б розглянути основні проблеми, з якими стикалися науковці раніше та стикаються сьогодні. А також оглянути сучасний стан цього методу, його розвиток та способи проведення в епоху цифровізації нумізматичної науки.

На сьогодні з можливостями використання як базового набору інструментів для проведення нумізматичних досліджень, так і сучасного обладнання, інформаційних технологій або програмного забезпечення (далі – ПЗ), існує чотири основних відомих способи проведення порівняльного аналізу штемפלів: *візуальний, графічний ручний, графічний з використанням спеціалізованого ПЗ та машинний (автоматизований)*.

Перш ніж розглянути кожен з них для уникнення необачних висновків важливо зазначити, що який би зі способів не був обраний дослідником для проведення порівняльного аналізу, обов'язково необхідно враховувати та пам'ятати про певні особливості тогочасного процесу карбування стародавніх монет. А також про деякі фізичні або хімічні характеристики штемפלів та їхній можливий вплив на кінцевий результат карбованої монети та майбутні результати дослідження в цілому. До них можуть бути віднесені:

1. Матеріал, з якого були виготовлені штемпелі, та його якість.

Сучасні штемпелі виготовляються з високоміцної сталі, тому набагато менше схильні до зносу в процесі їхньої експлуатації, але матеріали, з яких виготовлялись стародавні штемпелі, звичайно, були іншими. Саме тому процес їхнього зносу міг вплинути на ширину викарбуваних на них ліній. З процесом зносу відбиток лінії буде розширюватись, і глибина рельєфу відбитку буде зменшуватись, тому відбитки на «перших» монетах будуть відрізнятись від відбитків на сотих та тисячних монетах, битих тим самим штемпелем.

2. Зміщення малюнка поля удару через його невідцентрованість.

У результаті цього товщина ліній малюнка могла виявитись різною, і могли бути невідбиті деякі дрібні деталі та елементи малюнка.

3. *Попадання зайвих твердих часток та елементів* на поверхню монетного круга, які могли деформувати малюнок або залишити на ньому певний відбиток.
4. *Нанесення подвійних ударів по монеті*, допущене у процесі її виготовлення.
5. *Використання маточників, пуансонів вдавання до ручного підрізання, додаткового гравірування та інші можливі ситуативні фактори*, що накладає обмеження на аналіз та прямий підрахунок штемпелів, що використовувались монетним двором у конкретний проміжок часу.

Візуальний спосіб порівняння монетних штемпелів найшвидший і найдоступніший, але одночасно і найсуб'єктивніший з усіх можливих, де дослідником лише зорво порівнюються співпадіння між сторонами двох окремих екземплярів.

Застосування даного способу можливе при загальному визначенні стану монети та визначенні її типу (якщо стан відбитку та монети дозволяють ідентифікувати її та мають очевидну неповторність). Але щодо визначення одноштемпельності, то він не може вважатись коректним через людський фактор, прихованість від людського ока можливих дрібних деталей і відсутності можливості документальної фіксації будь-яких гарантій та підтверджень стосовно їхньої одноштемпельності, окрім власної думки і погляду дослідника.



Рис. 1. Фроттаж доларової монети the American Numismatic Association:

<https://www.money.org/thedollarproject>

Графічний ручний спосіб використовується під час порівняльного аналізу та реконструкції з накладенням за допомогою фроттажування¹⁷ або олівцевої протирки. Шляхом розміщення аркуша паперу на монету та обережного проведення кінчиком олівця по всій площині монети створюється її графічна копія (Рис. 1). Такий спосіб активно використовувався до появи сучасної цифрової техніки та навіть фотографії. Після створення протирки на неї накладається прозорий матеріал, на якому в подальшому промальовується контур монетного зображення та легенди. Далі отриманий малюнок накладається на певну сторону іншого екземпляра цього ж типу монети, після чого може бути спроба прийняття рішення стосовно їхньої одноштемпельності.

Свого часу використання даного способу при вивченні карбування монет на рівні індивідуально вигравіруваних штампів зробило революцію в нумізматиці. Але цей спосіб все одно має невеликий відсоток достовірності та точності через можливість втрати деяких елементів на зображенні під час проведення олівцевої протирки (особливо при невеликому рівні рельєфності відбитка штемпеля). Також він має занадто трудомісткий характер, особливо якщо проводити аналіз великої кількості монетних зразків, що дуже сильно обмежило його застосування, залишаючи потреби дослідників у більш зручних і сучасних інструментах не задоволеними.

Графічний з використанням спеціалізованого ПЗ та комп'ютерне накладення цифрових зображень стали можливими після появи комп'ютерного та обладнання для сканування а також цифрових фотоапаратів.

Ще у 2005 році професор грецької та римської нумізматики Оксфордського університету Крістофер Хауге висловився у своїй статті¹⁸ про потенціал аналізу зображень у нумізматиці, де відзначив незаперечні перспективи аналізування зображень і фотографії в галузі нумізматики та (з метою стимулювання даного обговорення для пошуку найкращого шляху нумізматичних досліджень уперед) розглянув пов'язані з ними основні технічні проблеми.

Цей спосіб відкрив науковцям можливість роботи із зображеннями монет з різних цифрових і не цифрових джерел: фотографії або скановані копії самих об'єктів, зображення зі спеціалізованих нумізматичних книг, інформаційних ресурсів тощо. Він скоротив час дослідницького процесу та надав інструменти для автоматичного виділення контурів штемпеля, редагування контрастності, видалення дефектних частин зображення тощо.

¹⁷ Фроттаж (фр. frottage — натирання, протирка) Техніка створення зображення шляхом розміщення аркуша паперу на шорсткій поверхні, такий, як зерниста деревина або мішківина, і натирання паперу кольоровим олівцем або олівцем, доки не буде створено враження якості поверхні речовини, що знаходиться під ним (The Oxford Dictionary of Art and Artists).

¹⁸ Howgego, 2005: 109–113.

Даний метод реалізується шляхом імпортування цифрових зображень об'єктів дослідження у графічне програмне забезпечення з обробки цифрових фотографій із широким спектром необхідних можливостей (наприклад, растровий Adobe Photoshop або векторні Adobe Illustrator, Corel Draw та ін.)¹⁹

Далі визначається «еталонний» екземпляр, на звичайне зображення якого накладається зображення іншого екземпляра (за допомогою інструменту «Шари» (анг. Layers) та корекцією рівня прозорості останнього). Зображення монет аналізуються і на основі отриманих та зафіксованих результатів приймається рішення стосовно їхньої одноштемпельності.

Інколи таке накладення (за умови гарної якості зображення та гарного стану збереженості штемпелів обох екземплярів монет) дає моментальний очевидний результат. Але все ж варто зазначити, що задля більшої коректності та достовірності отриманих результатів правильним буде метод розставлення на додатковому прозорому шарі певних орієнтирів: маркерних точок (уздовж центрів рельєфних виступів відбитку штемпеля), або промальовування контурів (шляхом ручного обведення контурів при великому збільшенні зображення або інструментом «Автоматичне виділення контурів»). Використання будь-яких «автоматичних» інструментів з метою уникнення можливих похибок повинно застосуватися з уважною перевіркою дослідником його результатів.

Цей спосіб може бути проведений таким чином:

1. Перше, з чого варто почати проведення порівняльної роботи таким способом, це збір, перевірка та підготовка зображень нумізматичних об'єктів. Бажано, щоб усі зображення були гарної якості, чіткості та контрастності, а також мали однаковий ракурс зйомки та сканування, тому що це так само може вплинути на якість процесу та результатів.

2. Усі зображення підлаштовуються до необхідних для роботи умов: вони сортуються, нумеруються, за потреби обрізаються у графічному редакторі, регулюється яскравість та контрастність кожного тощо (Рис. 2). Це все робиться, у першу чергу, для того, щоб оптимізувати процес роботи та щоб надалі отримати можливість користуватися цими елементами для ілюстрування, складання таблиць та схем а також відстежування та нотування результатів порівняльного процесу. Тому такі речі краще робити перед початком роботи, щоб потім не заплутатись у процесі її виконання.

¹⁹ Растрова графіка – це зображення, що формується з маленьких квадратних точок (пікселів), векторна – за допомогою кривих ліній, що задані математичною формулою.



Рис. 2. Отримані з різних джерел та підготовлені для порівняльного аналізу зображення аверсів ден'є (денаріїв) Річарда I Левине Серце та Тамплієри, що були карбовані на острові Кіпр

3. Усі зображення імпортуються безпосередньо у графічний редактор (у даному прикладі – це Adobe Photoshop), де створюється новий файл, який буде слугувати фоновою підкладкою під час роботи, та обирається вкладка з «еталонним» зображенням і через програмне меню «Шар» та функцію «Дублювати шар» --> «Дублювати як» вписується назва зображення, яке дублюється, а в меню «Ціль/Документ» – новий створений файл. Це повторюємо з кожним необхідним зображенням, що буде використовуватись у процесі (Рис. 3).

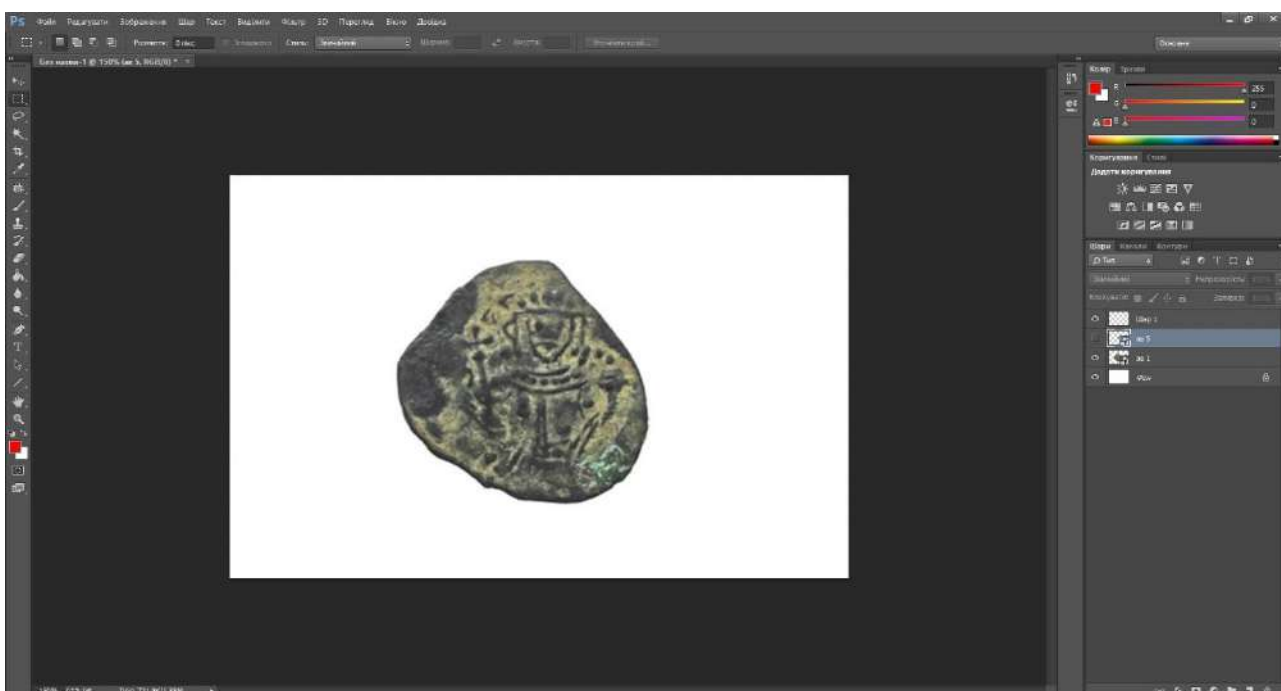


Рис. 3. Відкрите в Adobe Photoshop обране «еталонне» зображення монети, з якою буде проводитись робота

4. На верхній панелі у вкладці «Шар» обирається функція «Створити/Шар...» (або затискається комбінація клавіш Shift+Ctrl+N на клавіатурі), чим створюється новий порожній шар, який з'явиться у переліку шарів справа (він знадобиться для подальшої роботи). Біля кожного шару у правому меню знаходиться іконка з оком, яка відповідає за видимість шару. Після натискання на

неї біля кожного шару послідовно вимикається видимість усіх шарів, окрім прозорого та «еталонного». Прозорий фон обирається, перетягується курсором поверх усіх інших шарів на перше місце у списку робочих шарів і з використанням будь-якого зручного для малювання інструменту з меню зліва (Пензлик або Прямокутник/Лінія/Еліпс і т. д.) та вибором яскравого та контрастного відносно зображення кольору для нього розставляються маркерні точки або промальовуються (при великому збільшенні зображення) основні елементи чекану прямо по контуру еталонного зображення (Рис. 4).

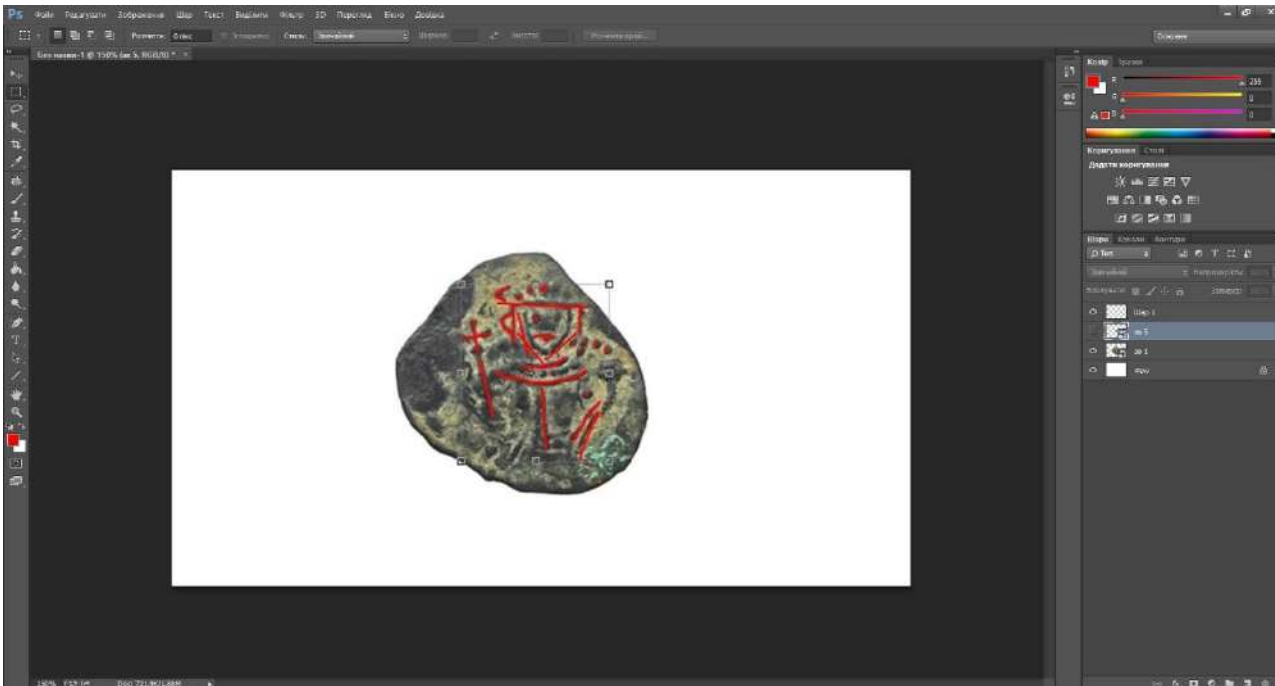


Рис. 4. Промальовування орієнтовних контурів штемпеля на прозорому шарі

5. Після цього по черзі вмикається видимість кожного з робочих шарів (натискається на пустий квадрат біля шару, де знаходилось «око», щоб воно знову стало видимим), з якими проводиться певний ряд маніпуляцій: обирається шар → У верхній вкладці меню «Редагувати» обирається інструмент «Трансформація» → натискається «Масштаб», після чого відкривається нова верхня панель з характеристиками масштабу зображення, де **ОБОВ'ЯЗКОВО** **ОДРАЗУ** варто натиснути кнопку «Зберегти пропорції» між значеннями «W» та «H» (це допоможе уникнути викривлення та некоректної трансформації об'єкта, і процес масштабування буде проходити з урахуванням збереження пропорцій зображення об'єкта).

6. Далі, в меню справа, над списком шарів у вікні «Непрозорість» змінюється показник 100% на 70–75% за допомогою натискання правої клавіші миші на нове

відкрите зображення, обирається спосіб необхідної його трансформації та, орієнтуючись по направляючих стрілках та точках на кутах зображення, масштабується та обертається під «еталонний» екземпляр та схематичні позначки прозорого шару, намагаючись розташувати обидва чекани чітко один на одному. Після цього необхідно повернутись до вікна «Непрозорості» і регулювати його показники, щоб отримати можливість порівняти зображення та побачити їх схожість або відмінність (Рис. 5).



Рис. 5. Порівняльний аналіз штемпелів шляхом регулювання прозорості середнього шару

Такий ряд дій проводиться будь-яку кількість разів і повторюється в роботі з кожним новим шаром зображення, але дуже важливо кожного разу слідкувати за увімкненням «Збереження пропорцій». Отримані результати надалі позначаються у схематичній таблиці або додатково фіксуються задля трекінгу на декількох етапах прозорості (наприклад, 0% д – 25% – 50% – 75% – 100%) шляхом створення скріншотів (клавішею «PrtSc» на клавіатурі та подальшим створенням та збереженням зображень у папку з трекінговими-файлами виконаної роботи).

Подібний метод порівняльного аналізу штемпелів використовувався під час проведення В. Орликом його дослідження «Монети у візантійському стилі з латинськими літерами R–E–X»²⁰ (Рис. 6).

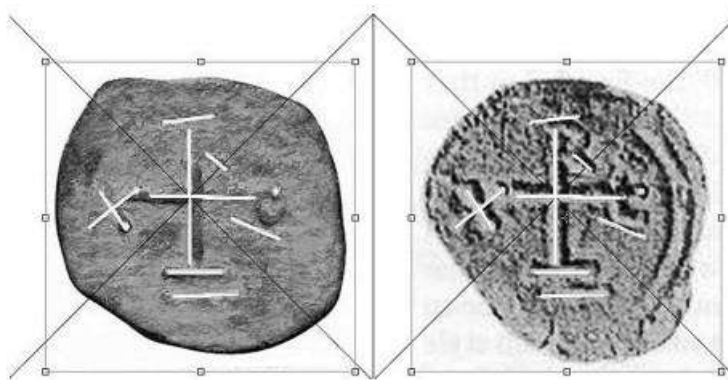


Рис. 6. Ілюстрація проведення комп'ютерного порівняння штемпелів
зі статті Орлика В. М. «Coins in Byzantine Style with the Latin Letters R–E–X»
у The Numismatic Chronicle 181 Offprint, 236 с.

²⁰ Orlyk, 2021: 233–246.

Але варто зазначити, що цей спосіб має певний ряд обмежень, правил та зауважень щодо правильного його проведення. До них відносяться:

1. Як саме було зроблене цифрове зображення, з яким освітленням, і чи були загублені на ньому у процесі його створення деякі зношені важливі деталі монети, що помітні на об'ємному фізичному об'єкті і можуть стати непомітними у пласкій. Тому важливо зрозуміти, що задля якісного результату зображення має бути отримане шляхом сканування або фотографування технікою з високими технічними характеристиками.
2. Варто враховувати пошкодження корозією монети, рівень органічної патини на ній, що може вплинути на «читабельність» зображення.
3. Урахування особливостей цифрового зображення монет з різних металів, оскільки фотографіям монет з одного металу може знадобитись додаткова комп'ютерна обробка зі зміненням контрастності, яскравості, експозиції тощо.

Важливо зазначити, що комп'ютерна обробка фотографії допускається лише з дотриманням незмінності співвідношень зображення та не допуску певних втручань у викривлення пікселів²¹. Це необхідно, щоб уникнути зміни контексту першоджерела, що буде вважатись недостовірним і може бути сприйняти як підганяння цифрового зображення під певні прагнення дослідника задля підтвердження або спростування гіпотези, над якою він працює.

Також варто зазначити, що зображення, отримані різними методами, можуть мати певні оптичні та лінійні викривлення відносно оригіналу та один до одного.

Якщо зображення однієї з порівнюваних монет зазнало значних викривлень та втручання, то отримання достовірного результату не буде можливим. Через це з'являється ризик прийняти помилкове або невірне рішення, що обидві монети бились різними штемпелями.

З іншого боку, навіть при можливих подібних спробах навмисних маніпуляцій задля отримання позитивного результату процес цифрового накладання штемпельних зображень одне на одне все одно не дасть стовідсоткового співпаданя. Навмисне втручання у зображення сьогодні можна перевірити за допомогою ряду спеціалізованих програм та ресурсів (таких як Foto Forensics), що наявні у відкритому доступі та які, окрім повної інформації про зображення, також можуть показати, де саме було реалізовано втручання у пікселі з метою його викривлення або видозмінення.

²¹ Піксель — найдрібніша одиниця цифрового зображення, з якого складається будь-яке растрове комп'ютерне зображення.

Такий спосіб аналізу штемпелів можна назвати гібридним через те, що, не дивлячись на використання програмного забезпечення, великий відсоток роботи все ж виконується вручну.

Машинний метод обробки, автоматичні інструменти, технології розпізнавання цифрових зображень та тривимірних копій монет (особливо таких масштабних напрямів, як давньоримські і давньогрецькі монети, що налічуються тисячами й навіть сотнями тисяч екземплярів) ще п'ятнадцять років тому здавалися для нумізматичних дослідників чимось фантастичним. Але сьогодні, завдяки стрімкому технологічному та цифровому прогресу та проведеній неймовірно масштабній та кропіткій роботі ряду осіб з наукової спільноти, вони нарешті стали реальними, існуючими і, фактично, завершеними.

Над можливістю усунення людського фактору з цього процесу та його повної автоматизації (за допомогою комп'ютерних алгоритмів, які виконували б більшу частину важкої роботи самостійно та допомогли пришвидшити проведення аналізу) протягом останніх років працювало багато закордонних науковців.

На основі розробки методів, пропозицій, результатів проведених експериментів та досліджень в цьому напрямку було опубліковано багато праць: «Розпізнавання старовинних монет на основі про локальні особливості»²², «Програма комп'ютерних досліджень у світі»²³, «Грубозерниста давня класифікація монет за допомогою розпізнавання мотиву зворотного боку на основі зображень»²⁴, «Автоматична класифікація та ідентифікація монет»²⁵, «Автоматична атрибуція давньоримських імперських монет»²⁶, «Читання стародавніх монет: автоматична ідентифікація денаріїв з використанням пошуку аверсної легенди»²⁷, «Метод автоматичної класифікації монет»²⁸ та велика кількість інших.

Усі вони присвячені одній загальній широкій темі – використання машинного навчання, алгоритмів та нейронних мереж²⁹ у розпізнаванні образів на монетах, включаючи штемпелі, для розрізнення певних характерних особливостей, опрацюванні великого об'єму монетних зразків та побудові автоматичного зв'язку однієї монети з іншими.

²² Kampel & Zaharieva, 2008: 11–22.

²³ Alfen (van), 2017.

²⁴ Anwar & Zambanini & Kampel, 2015: 295–304.

²⁵ Huber-Mörk & Nölle & Rubik & Hödlmoser & Kampel & Zambanini, 2012.

²⁶ Arandjelovi'c, 2010: 1728–1734.

²⁷ Arandjelovi'c, 2012: 317–330.

²⁸ Tică Ş. & Boiană & Tigora, 2013.

²⁹ Математичні моделі (або обчислювальні системи), що натхнені біологічними нейронними мережами, і є взаємопов'язаною групою вузлів, які навчаються та працюють за спрощеним принципом тваринного та людського мозку.

На цій хвилі, біля десяти років тому, Річард (Рік) Вітшонке в ANS (the American Numismatic Society³⁰) взяв на себе приватне фінансування розробки програми CADS: Computer Aided Die Study Program³¹, над якою він тісно працював зі своїми колегами в останні роки свого життя, чим започаткував нову еру нумізматичних досліджень. Він сподівався зробити програму вільнодоступною з відкритим кодом для допомоги в нумізматичних дослідженнях, і до 2015 року CADS добре функціонувала з певними типами монет, але все ще вимагала подальшої роботи, щоб повністю запрацювати з широким спектром нумізматичних матеріалів. Також ця програма створювалася з перспективою її інтегрування з іншими великими нумізматичними та археологічними проектами (напр., Pella, Pleiades, OCRE, Portable Antiquities, Nomisma та ін.). Такі проекти можуть надати збірку необробленого нумізматичного матеріалу для серії чи типу, який потім використовуватимуть програми, споріднені з CADS, для створення досліджень за лічені години, а не за тижні, місяці або навіть роки, що в подальшому може послужити основою для розширеного аналізу знахідок та їх картографування.

Більш детально з описом та принципами роботи CADS, особливостями та дискусіями стосовно роботи її алгоритмів можна ознайомитись у таких працях, як «Комп'ютерне дослідження штампів (CADS): Інструмент для проведення нумізматичних досліджень за допомогою комп'ютера бачення та ієрархічна кластеризація»³² М. Тейлора та «Неконтрольоване статистичне навчання для аналізу штампа в античній нумізматичній»³³ А. Гайнеке, Е. Майєра, А. Натараджана та Ю. Юнга.

В основі технологій для таких програм ідентифікації лежить модифікований метод Гауса (алгоритм розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь³⁴ з певною послідовністю операцій, що виконуються над відповідною матрицею коефіцієнтів) з вибором головного елемента, що дозволяє зменшити вплив похибок обчислень та чисельних нестійкостей, і знайти точні розв'язки систем лінійних рівнянь³⁵, метод Оцу та мульти-Оцу (алгоритм розрахунку порога бінаризації, що використовується для отримання чорно-білих зображень в області машинного розпізнавання образів, та його покращена версія),³⁶ теорема Баєса (один із найпотужніших інструментів в теорії ймовірності та статистиці, який описує ймовірність події, спираючись на обставини та минулі знання умов, що могли би бути пов'язані з цією подією)³⁷ та алгоритм Кенні (оператор виявлення

³⁰ Американська Нумізматична спільнота – заснована у 1858 році некомерційна організація, що організована з метою вивчення та збору нумізматичних даних, одна з провідних організацій в області нумізматики у світі.

³¹ Alfen (van), 2017.

³² Taylor, 2020.

³³ Heinecke & Mayer & Natarajan & Jun, 2021.

³⁴ Метод Гауса.

³⁵ Gao & Kovalsky & Daubechies, 2019: 208–236.

³⁶ Otsu, 1979: 62–66.

³⁷ Железнякова & Лебедева & Лебедев, 2018.

контурів з алгоритмом для виявлення широкого спектру контурів на зображеннях)³⁸, які допомагають ідентифікувати зображення (Рис. 7) та контури відбитку на монеті, визначати їх та відхилити, якщо необхідні атрибути зображення знаходяться за межами досліджуваного поля.



Рис. 6. Приклад того, як алгоритми програми CADS ідентифікують зображення та шукають споріднення. «The Computer-Aided Die Study (CADS): A Tool for Conducting Numismatic Die Studies With Computer Vision and Hierarchical Clustering», Zachary McCord Taylo, 16–17 с.

Висновки дослідження

Цифровізація методів нумізматичних досліджень є переламним етапом у розвитку цієї науки. Їх впровадження та розробка нових методологій вже сьогодні демонструє підвищення якості та ефективності проведення досліджень, скорочуючи терміни та покращуючи точність отриманих результатів та наукових висновків.

Використання цифрових технологій та нейронних мереж у нумізматичних дослідженнях відкриває нові перспективи для аналізу та класифікації монетних штемпелів. Навіть за наявності обмежених ресурсів вона сьогодні дозволяє обробляти великі обсяги нумізматичних джерел та матеріалу без залежності від традиційних методів його збору та обробки.

Дискусії та обговорення стосовно вдосконалення використання сучасних методів, алгоритмів та інструментів, за якими варто слідкувати, все ще тривають у науковому світі. Швидкий прогрес у галузі цифрових технологій вимагає від дослідників вивчення нових методів роботи та глибокого розуміння роботи

³⁸ Canny, 1986: 679–698.

програмного забезпечення і нейронних мереж, швидкої адаптації до нової реальності дослідницького середовища.

Але не зважаючи на те, що багато чого ще належить зробити, очевидним є усвідомлення того, що вільне та доступне використання нейронних мереж та штучного інтелекту вже давно перестало бути питанням гіпотетичним, а стало лише питанням часу.

Подяки

Авторка висловлює вдячність своєму вчителю, професору Василю Михайловичу Орлику за надані зображення ден'є (денаріїв) Річарда I Левине Серце та Тамплієрів, що були карбовані на острові Кіпр, а також ілюстрації та інформацію про проведення комп'ютерного порівняння їхніх штемпелів.

References

- Anwar, H., Zambanini, S., M. Kampel, S.** (2015). Coarse-grained ancient coin classification using image-based reverse side motif recognition. *Machine Vision and Applications*, vol. 26, pp. 295–304.
- Arandjelović O.** (2012). Reading ancient coins: Automatically identifying denarii using obverse legend seeded retrieval, Abstracts of Papers: *Computer Vision ECCV 2012*. Springer, pp. 317–330.
- Boiko-Haharin, A.** (2014). Monety Tsentralnoi ta Skhidnoi Yevropy XIV– XVII St.: Protsesy vyhotovlennia ta falshuvannia [The coins of Central and Eastern Europe of XIV – XVII cent.: the processes of the production and falsification]. (*Candidate's thesis*) *Pereiaslav-Khmelnyts. derzh. ped. un-t im. Hryhoriia Skovorody*, URL: https://www.academia.edu/The_coins_of_Central_and_Eastern_Europe_of_XIV_XVII_cent_the_processes_of_the_production_and_falsification_on_Dissertation [in Ukrainian].
- Boiko-Haharin, A.** (2021). Falshyvomonetnytstvo na ukrainskykh zemliakh (1795 – 1917 rr.) [Counterfeiting in Ukrainian lands (1795 – 1917)]. (*Candidate's thesis*) *Pereiaslav-Khmelnytskyi DPU im. H. Skovorody*, URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/c9f1757e-a88a-4299-90bf-6fab2b19fbaa/content> [in Ukrainian].
- Canny, J.** (1986). A Computational Approach To Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 679–698.
- De Callatay F.** (1995). Calculating ancient coin production: Seeking a balance, *The Numismatic Chronicle (1966)*, vol. 155, pp. 289–311.
- De Callatay, F.,** (1999). Etude de technique monétaire : le rapport «nombre de coins de revers/nombre de coins de droit» à l'époque hellénistique [Study of monetary technique: the ratio «number of reverse coins/number of right coins» in the Hellenistic period], *Revue des Archéologues et Historiens de l'Art de Louvain*, XXXII, pp. 91–102. [in French].

- De Callatay, F.** (2011). Quantifying monetary production in Greco-Roman times: A general frame. *Quantifying Monetary Supplies in Greco-Roman Times*, pp. 7–29.
- Esty, W. W.** (1990). The theory of linkage, *NC 150*, pp. 205–221.
- Esty, W. W.** (2006). How to estimate the original number of dies and the coverage of a sample', *NC 166*, pp. 359–364.
- Esty, W. W.** (2011). The geometric model for estimating the number of dies. *Quantifying Monetary Supplies in Greco-Roman Times*, pp. 43–58.
- Fischer-Bossert W.** (2020). Phanes: A Die Study. *White Gold, The American Numismatic Society*, pp. 423–476.
- Gao, T., Kovalsky, S. Z., and Daubechies, I.** (2019). Gaussian process landmarking on manifolds. *SIAM Journal on Mathematics of Data Science*, vol. 1, no. 1, pp. 208–236.
- Heinecke, A., Mayer, E., Natarajan, A., Jun, Y.** (2021). Unsupervised Statistical Learning for Die Analysis in Ancient Numismatics Andreas, *Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV)* URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.00290>
- Howego, C.** (2005). The potential for image analysis in numismatics. *Images and Artefacts of the Ancient World*, pp. 109–113.
- Huber-Mörk, R., Nölle, M., Rubik, M., Hödlmoser, M., Kampel, M., Zambanini, S.** (2012). Automatic coin classification and identification. *Advances in Object Recognition Systems. IntechOpen*. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/36682> .
- Kampel, M., Zaharieva, M.** (2008). Recognizing ancient coins based on local features. *ISVC 2008: Advances in Visual Computing. Springer*, pp. 11–22.
- Khromov, K.** (2006). Pravleniya hanov v Krymskom Uluse Zolotoj Ordy v 1419–1422 gg. po numizmaticheskim dannym [The reign of the khans in the Crimean Ulus of the Golden Horde in 1419–1422. according to numismatic data], *Istoriiko-heohrafichni doslidzhennia v Ukraini : Zb. nauk. pr. Chyslo 9*, pp. 366–372 [in Russian].
- Khromov, K.** (2007). Perekarbuвання inozemnykh monet v Krymskomu ulusi v druhii polovyni KhIII stolittia [Reminting of foreign coins in the Crimean ulus in the second half of the 13th century], *Spetsialni istorychni dystsypliny: pytannia teorii ta metodyky: Zb. nauk. pr. Vyp. 15*, pp. 284–288 [in Ukrainian].
- Khromov, K.** (2013). K voprosu o monetnom dele «imperatorov Solkhata» v 20-e gody XV v. [To the issue of the coinage of the «emperors of Solkhat» in the 20s of the 15th century], *Spetsialni istorychni dystsypliny: pytannia teorii ta metodyky. Zbirka naukovykh prats. K.: NAN Ukrainy, Instytut istorii Ukrainy, Chyslo 22–23* [in Russian].
- Metod Hausa [Gauss method]. Retrieved from URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Metod_Hausa [in Ukrainian].

- Orlyk, V.** (2021). Coins in Byzantine Style with the Latin Letters R–E–X. *The Royal Numismatic Society, The Numismatic Chronicle 181 Offprint*, pp. 233–246.
- Orlyk, V.** (2022). Mednye emissii Taulary vremen Mitridata VI Evpatora stepi i lesostepi Vostochnoj Evropy [Copper emissions of Taulara from the time of Mithridates VI Evpator steppe and forest-steppe of Eastern Europe], *Stratum plus. No. 6. Arheologiya i kul'turnaya antropologiya: Mistika povsednevnosti*, pp. 149–159. [in Russian].
- Otsu, N.** (1979). A threshold selection method from gray-level histograms, *IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. : journal. Vol. 9*, pp. 62–66.
- Tica, S. N., Boiangiu, C. A., Tigora, A.** (2013). A Method for Automatic Coin Classification. Abstracts of Papers: *1st International Conference on Image Processing and Pattern Recognition (IPPR '13)*, URL: https://www.researchgate.net/publication/260019217_A_Method_for_Automatic_Coin_Classification.
- Taylor, Z. M.** (2020). The Computer-Aided Die Study (CADS): A tool for conducting numismatic die studies with computer vision and hierarchical clustering, URL: https://digitalcommons.trinity.edu/compsci_honors/54.
- Van Alfen, P.** (2017). The Computer Aided Die Studies Program, URL: <https://numismatics.org/pocketchange/cads/>.
- Wilson, R. J.** (1996). Introduction to Graph Theory (*4th edition, Harlow*).
- Zaionchkovskyi ,Y., Tishkin, B.** (2020). Khadzhi-Tarkhanski sribni monety khana «Velykoi Ordy» Makhmuda b. Mukhammada b. Tymura [Haji-Tarkhan silver coins of Khan «Great Horde» Mahmud b. Muhammad b. Timur]. *Ukrainskyi numizmatychnyi shchorichnyk, № 4*, pp. 114–130 URL: http://resource.history.org.ua/publ/uns_2020_4_12 [in Ukrainian].
- Zhelezniakova, E., Lebedieva I., Lebediev, S.** (2018). Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka. Empirychni ta lohichni osnovy teorii ymovirnostei. Osnovni teoremy teorii ymovirnostei [Probability theory and mathematical statistics. Empirical and logical foundations of probability theory. Basic theorems of probability theory]. *KhNEU im. S. Kuznetsia*, URL: <http://ebooks.git-elt.hneu.edu.ua/tvms/p-2-5.html> [in Ukrainian].