

УДК 78.2 І; 78.51

DOI <https://doi.org/10.32782/2310-0583-2025-53-02>

РЕКОНСТРУКЦІЯ СТАРОВИННОЇ МУЗИКИ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Сергій Гончарук – аспірант кафедри музикознавства та хорового мистецтва, Львівський національний університет імені Івана Франка
<https://orcid.org/0009-0000-4855-1061>

У статті досліджено наявні напрацювання в сфері реконструкції старовинної музики засобами штучного інтелекту, проведено огляд теоретичних і практичних аспектів розвитку цієї технології, проаналізовано засоби, що використовуються для цифрової обробки та відтворення звучання втрачених музичних інструментів. Особливу увагу приділено історичному контексту еволюції штучного інтелекту та нейронних мереж: від створення фундаментальних концепцій і математичних моделей, розроблених середньовічними вченими, до сучасних алгоритмів глибокого навчання.

Стаття також розглядає еволюцію обчислювального обладнання, починаючи від перших обчислювальних пристроїв, що виникли ще до нашої ери, закінчуючи сучасними суперкомп'ютерами і грид-мережами, які забезпечують аналіз складних акустичних даних. Особливо розглянуто використання штучного інтелекту як в музичній індустрії загалом, так і для реконструкції звучання втрачених музичних інструментів давніх цивілізацій зокрема, таких як епігоніон, ліра, авлос.

Приділено увагу й міждисциплінарному підходу, що передбачає співпрацю музикознавців, культурологів, археологів, фізиків, звукоінженерів, математиків, програмних інженерів тощо. Реалізація подібних проектів вимагає значних обчислювальних потужностей, фінансування та доступу до архівних і археологічних матеріалів. Водночас така реконструкція має не лише наукову та технологічну цінність, але й вагоме культурне та освітнє значення, адже дає змогу відтворити загублене у віках звучання, сприяє глибшому розумінню музичної культури минулого та відкриває нові горизонти для музикознавства та цифрової індустрії загалом.

Ключові слова: старовинне музичне мистецтво, імітування звуку, штучний інтелект, нейронні мережі, синтез та реконструкція звуку, оцифрування архаїчних мелодій, акустичне моделювання.

Вступ. Інтерес до відродження стародавньої музики є свідченням вічної природи самої музики, яка є універсальною мовою, що долає бар'єри часу, з'єднуючи нас із попередніми поколіннями. З плином століть багато стародавніх мелодій згасли в тиші, а музичні інструменти загубилися в роках. Серед численних культурних артефактів стародавніх музичні інструменти посідають особливе місце. Салпінкс, барбітон, авлос, сиринкс колись були голосами давньої Греції, що лунали через храми, театри та громадські площі, проте з плином століть ці інструменти замовкли, а їхні звуки загубилися. Ці інструменти були не просто засобами для розваг, а невід'ємною частиною культурної та релігійної тканини давніх суспільств, супроводжували епічні оповіді, славили богів і відзначали важливі життєві події. Вважалося, що їхні звуки мають силу лікувати, надихати та з'єднувати смертних з божественним. Однак відродження цих втрачених звуків – складне завдання. Археологічні дані дають нам фізичні залишки цих інструментів, але знання про те, як вони грали, як звучали і в якому контексті звучала їхня музика, значною мірою загубилися в часі. Відтворення цих звуків вимагає делікатного балансу між наукою та мистецтвом, що поєднує

фрагменти історії з точністю детектива та креативністю композитора. Завдяки сучасним технологіям стає можливим відродження стародавньої музики – складне завдання, яке полягає в тому, щоб зібрати фрагменти музичних інструментів та композицій, що залишили попередні цивілізації. Ключовим інструментом для реалізації цього завдання є штучний інтелект, застосування якого для реконструкції стародавньої музики лише починають досліджувати, але вже зараз зрозуміло, що цю технологію неможливо ігнорувати, як і її потенціал глибоко змінити спосіб створення, виробництва та споживання музичного продукту. Постійний розвиток штучного інтелекту, можливості якого практично необмежені, обіцяє нову еру, зокрема, в музичній індустрії.

Мета статті – проаналізувати наявні дослідження у сфері відродження та реконструкції звучання стародавніх музичних інструментів засобами штучного інтелекту та подальші перспективи цього напрямку.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведений пошук джерел показав, що наразі небагато проектів, які займаються реконструкцією звучання стародавніх музичних інструментів. До них можна віднести ASTRA і Lost Sounds Orchestra,

які очолював і координував професор університету Англії Рускін (Великобританія) – Домініко Вічінанца (Domenico Vicinanza) [6], команда з університету Соган (Південна Корея) під керівництвом Чон Да-сема (Dasaem Jeong), доцента мистецтва та технологій, яка відтворила кілька творів традиційної корейської музики, використовуючи партитури для конкретних інструментів [4]. Мала кількість таких проєктів може бути пов'язана зі складністю реконструкції, яка потребує наявності сучасного обладнання, залученості великої кількості спеціалістів різних напрямів, від археології, музики до фізики та комп'ютерної інженерії, а також, відповідно, тривалості стратегії та належного фінансування.

Виклад основного матеріалу. Огляд наявних напрацювань і перспектив реконструкції музики засобами штучного інтелекту варто розпочати з висвітлення історичного розвитку теоретичних засад цієї технології.

Майже всі фундаментальні концепції сучасного *штучного інтелекту (ШІ)* були розроблені ще в попередні століття, попри поширену помилкову тезу про те, що використання *нейронних мереж (НМ)* для розпізнавання патернів і симуляції інтелекту з'явилося у 1980-х роках. Насправді такі мережі існували задовго до цього.

У 1676 році Готфрід Вільгельм Лейбніц (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646–1714) опублікував «правило ланцюга диференціального числення» у своїх мемуарах, а Гійом де Лопіталь (Guillaume François Antoine de L'Hôpital; 1661–1704) описав його у своєму підручнику з диференціального числення Лейбніца у 1696 році [2, с. 126]. Сьогодні це правило є ключовим у глибоких НМ.

Можливо, перший відомий приклад розпізнавання образів за допомогою поверхневого навчання датується понад 200 років тому: повторне відкриття карликової планети Церери у 1801 році завдяки Карлу Фрідріху Гауссу (Johann Carl Friedrich Gauß, 1777–1855), який мав точки даних з попередніх астрономічних спостережень, а потім використав різні методи для коригування параметрів, що фактично навчився узагальнювати дані та правильно передбачити нове місцезнаходження Церери.

Практичний ШІ існує щонайменше з 1914 року, коли Леонардо Торрес Кеведо (Leonardo Torres Quevedo, 1852–1936) створив перший шаховий автомат, здатний розігрувати закінчення партії, а теоретичні основи ШІ закладені ще у 1931–1934 роках Куртом Геделем (Kurt Friedrich Gödel, 1906–1978), який довів фундаментальні

обмеження обчислювальних систем. Вже у 1948 році Алан Тюрінг (Alan Turing, 1912–1954) написав ідеї, пов'язані зі штучною еволюцією і навчанням RNN (рекурентна нейронна мережа).

До 1956 року більшість розробок, які ми зараз називаємо ШІ, були відомі як кібернетика і вже тоді фокусувалися на ідеях, подібних до сучасного «глибокого навчання» (*deep learning*). Частково дослідження НМ надихалися будовою людського мозку, що має близько 100 мільярдів нейронів. Деякі з них є вхідними, що передають мозку дані (звук, зір, дотик, біль, голод), інші – вихідним, що керують м'язами. Вважається, що «мозок навчається шляхом зміни сили зв'язків між нейронами та, ймовірно, кодує весь життєвий досвід людини. Так само працюють і штучні НМ, які навчаються розпізнавати мову, рукописний текст або відео, керувати автомобілями тощо» [3, с. 89].

Успішне навчання в архітектурах глибоких зворотних мереж почалося у 1965 році в Україні, коли Олексій Івахненко (1913–2007) представив перші загальні робочі алгоритми навчання для глибоких MLP (багатошаровий перцептрон). Стаття 1971 року вже описувала «мережу глибокого навчання» методом, який залишався популярним у новому тисячолітті, особливо у Східній Європі, де зароджувалося багато концепцій машинного навчання [1].

Як і пізніші глибокі нейронні мережі, мережі О. Івахненка навчалися створювати ієрархічні, розподілені, внутрішні уявлення вхідних даних. Він не називав їх глибокими нейронними мережами, але саме ними вони й були. Насправді термін «глибоке навчання» був введений у машинне навчання набагато пізніше, у 1986 році.

Прориви в алгоритмах глибокого навчання з минулого тисячоліття були б неможливими без постійного вдосконалення та прискорення комп'ютерного обладнання. Будь-яка історія ШІ та глибокого навчання була б неповною без згадки про цю еволюцію, яка триває вже щонайменше два тисячоліття.

Перший механічний спеціалізований калькулятор для простих арифметичних операцій був побудований у 1623 році Вільгельмом Шікардом (Wilhelm Schickard, 1592–1635), одним з кандидатів на титул «батька автоматичного обчислення». У 1673 році вже згаданий Готфрід Вільгельм Лейбніц розробив машину, яка могла виконувати чотири арифметичні операції, а також мала пам'ять. Перші комерційні програмно-контрольовані машини були побудовані у Франції близько 1800 року Жозефом-Марі Жаккардом (Joseph Marie Jacquard, 1752–1834) та іншими,

можливо, першими в сучасному сенсі програмістами, які написали промислове програмне забезпечення.

Між 1935 і 1941 роками Конрад Цузе (Konrad Zuse, 1910–1995) створив перший у світі працюючий програмований універсальний комп'ютер – Z3, що використовував принципи бінарних обчислень Лейбніца, на яких сьогодні працює більшість комп'ютерів. У 1949 році Вернер Якобі (Werner Jacobi, 1904–1985) в компанії “Siemens” подав патент на *напівпровідникову інтегральну схему (IC)* з кількома транзисторами на спільній підкладці. У 1959 році Роберт Нойс (Robert Norton Noyce, 1927–1990) представив монолітну IC, завдяки якій комп'ютери суттєво прискорились, стали більш компактними і доступними. Сучасні процесори та IC містять мільярди транзисторів.

Таким чином, основою сучасного ШІ та глибокого навчання є переважно проста математика останніх століть: числення, лінійна алгебра та статистика, однак для ефективної реалізації цієї основи було необхідне сучасне апаратне забезпечення.

Комп'ютерні технології, зокрема штучний інтелект та машинне навчання, так чи інакше вже багато років використовуються в музичному продакшені та змінюють спосіб створення музики. *Розділення аудіозапису* на окремі частини, такі як вокал та інструменти, за допомогою аналізу частот звуків та глибокого навчання для розпізнавання різних звукових шаблонів застосовують для *ремастеринга* старих пісень, створення реміксів і нових версій музичних композицій, навчання музики через окремих частини композиції, створення караоке-версій пісень шляхом видалення вокалу та аналізу структури музичних творів. *Моделювання голосу* за допомогою ШІ дає змогу відтворювати голос людини для створення нових треків або промов. Спочатку збираються високоякісні аудіозаписи голосу, які використовують для навчання нейромережі. Модель аналізує тембр, ритм та інтонацію, а потім синтезує голос на основі введеного матеріалу. Додаткові коригування допомагають підвищити якість звучання. Ця технологія корисна у рекламі, музиці, розважальній сфері, озвучуванні, роботі віртуальних помічників тощо.

ШІ може покращувати старі аудіозаписи щодо видалення шуму, частотного коригування звуку, компресії та інших оптимізацій. Це дає змогу адаптувати музику минулих десятиліть до сучасних стандартів звуковідтворення. Прикладом можна згадати пісню *Now and Then*, написану Джоном Ленноном (John Lennon, 1940–1980) у

1978 році й завершену Полом Маккартні (Paul McCartney, *1942) та Рінго Старром (Ringo Starr, *1940) у 2023 році за допомогою ШІ, який дав змогу інтегрувати акорди гітариста Джорджа Гаррісона (George Harrison, 1943–2001). У Бразилії співачка Луана Карвальо (Luana Carvalho, *1981) зробила подібне, об'єднавшись у дует зі своєю покійною матір'ю. Вона використала вокальний запис із 1978 року, який було інтегровано у її пісню *Visual* (2020), створивши ефект спільного виконання.

ШІ дає змогу точно імітувати звучання реальних інструментів, а також *створювати нові тембри*, неможливі для традиційних інструментів. Популярні плагіни від Spitfire Audio і Native Instruments широко використовуються у музичній індустрії. Стрімінгові музичні сервіси, такі як Spotify і Apple Music, використовують ШІ для аналізу музичних уподобань користувачів і підбору рекомендацій, *персоналізуючи музичний досвід*.

Проект ASTRA (Ancient instruments Sound/Timbre Reconstruction Application – програма для відновлення звуку/тембру стародавніх інструментів) та “Lost Sounds Orchestra” (Оркестр втрачених звуків) являють собою яскравий приклад використання ШІ як інструмента для повернення життя згаданим раніше стародавнім інструментам. Це подорож до відновлення, яка прагне відновити зв'язок з нашим спільним музичним спадком та знову почути ехо античності. В основі технології ASTRA лежить наука про фізичне моделювання та комп'ютерний синтез, який передбачає створення детальних цифрових моделей стародавніх інструментів на основі археологічних знахідок, історичних записів та художніх зображень. Ці моделі – не просто візуальні уявлення, а складні симуляції, що відтворюють фізичні властивості інструментів, від матеріалів, з яких вони були зроблені, до техніки звуковидобування в процесі виконання творів. Проблема є комплексною, оскільки вимагає не лише розуміння фундаментальних принципів звукоутворення, математичного моделювання та фізичної конструкції інструментів, але й культурного контексту, інтерпретації нотних записів. Крім того, ця задача потребує оркестрації складних алгоритмів, які здатні змоделювати, як саме звукові коливання взаємодітимуть з різними структурами віртуальних матеріалів інструментів. Цей процес, відомий як комп'ютерний синтез, подібний до навчання комп'ютера «говорити» мовою стародавньої музики. Обчислювальні труднощі такого завдання величезні: для генерації кількох секунд звуку може знадобитися

довгий час обробки, що вимагає великих обсягів обчислювальної потужності, яку забезпечує спільне використання розподілених обчислювальних ресурсів завдяки високошвидкісним мережам та *grid*-технології [5]. *ASTRA* використовує ці засоби для розподілу обчислювального навантаження між кількома серверами, що значно скорочує час, необхідний для генерації звуків.

Одним з яскравих прикладів успіху проекту є відтворення епігоніону (*ἐπιγονίον*) – стародавнього грецького струнного інструмента. Не маючи фізичного зразка, дослідники спиралися на історичні записи для цифрового моделювання. Результатом став віртуальний епігоніон, за допомогою якого можна було створити звуки, яких не чули понад тисячу років.

Формування такого музичного колективу, як *Lost Sounds Orchestra*, є прямим результатом проекту *ASTRA*, новаторської ініціативи, що зробила складну систему комп'ютерного моделювання. Ця система дає змогу дослідникам генерувати звуки, які колись створювали стародавні інструменти, навіть з тих інструментів, що зараз є лише фрагментами своїх колишніх форм. Коли археолог знаходить пошкоджену реліквію стародавнього музичного інструмента, *ASTRA* може розшифрувати його звуки, а «Оркестр втрачених звуків» – змусити його знову зазвучати. Семпли (*sample*) створюються за допомогою інфраструктури *European Grid Initiative*, використовуючи мережу *GEANT*, а потім завантажуються на ноутбук, підключений до *MIDI*-контролера для виступів.

Висновки. Культурну користь від відтворення стародавньої музики неможливо переоцінити. Це міждисциплінарний виклик, що об'єднує істори-

ків, археологів, фізиків, інженерів і комп'ютерних науковців. Археологи надають фізичні залишки та історичний контекст інструментів. Музиканти та музикознавці інтерпретують культурне та художнє значення цих реліктів. Фізики та звукоінженери досліджують акустику та матеріали, а комп'ютерні фахівці створюють алгоритми, що відновлюють ці звуки до життя. Ця співпраця є прикладом того, як різні галузі можуть гармонійно об'єднуватися для досягнення спільної мети.

Важливість проектів, подібних *ASTRA*, виходить за межі музикознавства. Реконструкція стародавньої музики засобами ШІ, хоча і є складним і високовартісним напрямом, нагадує нам про могутність музики та безмежний потенціал людської винахідливості. Це злиття різних дисциплін: від археології та історії до фізики та інформатики. Відродження старовинної музики відкриває нам унікальне вікно в минуле, збагачуючи наше розуміння культур, що сформували сучасний світ. Фактично це не просто відтворення звуків, а відтворення історії. Крім того така реконструкція відкриває безліч освітніх можливостей, де можна вивчати еволюцію інструментів та музичні теорії, аналізуючи, як давні лади впливають на сучасні композиції. Історія оживає, коли чути звуки, які колись звучали в грецьких амфітеатрах або римських палацах. Музеї, культурні установи та онлайн-платформи можуть використовувати реконструйовані звуки для створення інтерактивних виставок та навчальних програм. Залучення до вивчення світової музичної спадщини в багатимірний спосіб дає можливість глибше пізнати історію мистецтва та технологій.

Література

1. Ivakhnenko A. Polynomial theory of complex systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1971. № 4. P. 364–378.
2. Leibniz G.W., Child J.M. (translator). *The Early Mathematical Manuscripts of Leibniz*. Merchant Books, 2007. 236 p.
3. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*. 2015. № 61. P. 85–117.
4. AI restores lost music by King Sejong. URL: <https://www.koreaherald.com/article/3408034> (дата звернення: 18.01.2025).
5. Foster Ian. What is the Grid? A Three Point Checklist. URL: <https://web.archive.org/web/20141122035905/http://dlib.cs.odu.edu/WhatIsTheGrid.pdf> (дата звернення: 20.12.2024).
6. Vicinanza Domenico. URL: <https://theconversation.com/profiles/domenico-vicinanza-1497038> (дата звернення: 10.01.2025).

References

1. Ivakhnenko, A. (1971). Polynomial theory of complex systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 4. P. 364–378. [in English]
2. Leibniz G.W. (2007) Child J.M. (translator), *The Early Mathematical Manuscripts of Leibniz*. Merchant Books. 236 p. [in English]
3. Schmidhuber J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61. P. 85–117. [in English]
4. AI restores lost music by King Sejong. URL: <https://www.koreaherald.com/article/3408034>. [in English]

5. Foster Ian. What is the Grid? A Three Point Checklist. URL: <https://web.archive.org/web/20141122035905/http://dlib.cs.odu.edu/WhatIsTheGrid.pdf>. [in English]
6. Vicinanza Domenico. URL: <https://theconversation.com/profiles/domenico-vicinanza-1497038>. [in English]

Serhii Honcharuk – Postgraduate Student at the Department of Musicology and Choral Arts, Ivan Franko National University of Lviv

Exploring ancient music reconstruction using artificial intelligence

The article explores existing developments in the field of reconstructing ancient music using artificial intelligence, providing an overview of the theoretical and practical aspects of the advancement of this technology. It analyzes the tools used for digital processing and the reproduction of the sound of lost musical instruments. Particular attention is given to the historical context of the evolution of artificial intelligence and neural networks, starting from the creation of fundamental concepts and mathematical models developed by medieval scholars to modern deep learning algorithms.

The study also examines the evolution of computational hardware, from the earliest computing devices that emerged before our era to modern supercomputers and grid networks that enable the analysis of complex acoustic data. Special focus is placed on the use of artificial intelligence in the music industry in general and, more specifically, for reconstructing the sound of lost musical instruments from ancient civilizations, such as the epigonion, lyre, aulos, and others.

Attention is also given to the interdisciplinary approach, which involves collaboration among musicologists, cultural scholars, archaeologists, physicists, sound engineers, mathematicians, software engineers, and others. The implementation of such projects requires significant computational resources, funding, and access to archival and archaeological materials. At the same time, this reconstruction has not only scientific and technological value but also significant cultural and educational importance, as it allows for the recreation of sounds lost through the ages, contributes to a deeper understanding of past musical cultures, and opens new horizons for musicology and the digital industry as a whole.

Key words: ancient music art, sound imitation, artificial intelligence, neural networks, sound synthesis and reconstruction, digitization of archaic melodies, acoustic modeling.