

УДК 781.6:78.02:004.8

DOI 10.32461/2226-3209.1.2025.328003

Цитування:

Смаліус Ю. П. Еволюція алгоритмічних технік у музичних композиціях як передумова інтеграції штучного інтелекту до мистецтва. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв* : наук. журнал. 2025. № 1. С. 386–391.

Смаліус Юрій Павлович,

аспірант Національної академії
керівних кадрів культури і мистецтв
<https://orcid.org/0009-0004-1264-9226>
dmz2123.ysmalius@dakkim.edu.ua

Smalius Yu. (2025). Evolution of Algorithmic Techniques in Musical Compositions as a Prerequisite for the Integration of Artificial Intelligence into Art. *National Academy of Managerial Staff of Culture and Arts Herald: Science journal*, 1, 386–391 [in Ukrainian].

ЕВОЛЮЦІЯ АЛГОРИТМІЧНИХ ТЕХНІК У МУЗИЧНИХ КОМПОЗИЦІЯХ ЯК ПЕРЕДУМОВА ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДО МИСТЕЦТВА

Мета статті полягає у вивченні еволюції алгоритмічних технік музичних композицій і технік формалізації музичних структур. **Методологія роботи** включає аналітичний, структурно-функціональний, узагальнюючий методи дослідження. **Наукова новизна.** На основі оцінки культурного значення ранніх експериментів з автоматизацією композицій, які набули рис виразності наприкінці XVIII століття, далі – у період появи перших систем музичної алеаторики і внеском видатних представників комп'ютерної музики Макса Метьюза і Лаєрна Хіллера, обґрунтовано еволюційний шлях від алгоритмічних технік музичних композицій, технік формалізації музичних структур до становлення сучасних цифрових технологій. **Висновки.** Визначено основні етапи формування та еволюції алгоритмічних технік музичних композицій, а також розглянуто процеси формалізації музичних структур у контексті технологічного прогресу. Історія систематичних підходів до створення музики свідчить про поступову зміну принципів композиції: від ізоритмічних технік пізнього Середньовіччя та експериментальних «музичних ігор» епохи Просвітництва до сучасних методів, що використовують цифрові алгоритми та штучний інтелект. Виокремлено ключові етапи еволюції алгоритмічної музики: першоджерельна ідея формалізації музичних структур, яка слугувала основою для подальшого розвитку композиційних технік; експериментальні алгоритми XVIII–XIX століть, що включали стохастичні методи та механічні принципи побудови музичних послідовностей; цифрова революція XX століття з появою комп'ютерної автоматизації стали можливими перші експерименти зі створення музики на основі стохастичних і детермінованих моделей. Усі зазначені елементи здійснили вплив на появу сучасних алгоритмів не лише з імітацією стилю класичних композиторів, а й виникненню автономних музичних композицій з новими підходами до творчості. Обґрунтовано, що алгоритмічні техніки композиції, що зароджувалися століттями, досягли нового якісного рівня завдяки штучному інтелекту.

Ключові слова: штучний інтелект, автоматизація, генерована музика, історія музики, алгоритмічні моделі, нейронні мережі глибокого навчання.

Smalius Yurii, Postgraduate Student, National Academy of Managerial Staff of Culture and Arts

Evolution of Algorithmic Techniques in Musical Compositions as a Prerequisite for the Integration of Artificial Intelligence into Art

The purpose of the article is to examine the evolution of algorithmic techniques in the domain of musical composition, as well as the methods of formalising musical structures. **The methodology of the study** incorporates analytical, structural-functional, and generalising approaches. **Scientific novelty.** This study builds on an assessment of the cultural significance of early experiments with compositional automation. These experiments gained expressive characteristics by the late 18th century and subsequently evolved through the emergence of the first systems of musical aleatoricism. Prominent computer music figures such as Max Mathews and Lejaren Hiller also contributed to this development. This study substantiates the evolutionary pathway from algorithmic composition techniques and musical structure formalisation methods to the advent of modern digital technologies. **Conclusions.** The formation and evolution of algorithmic techniques in musical composition have been the subject of much research, with many scholars examining the processes of musical structures formalisation within the context of technological progress. The history of systematic approaches to music creation demonstrates a gradual shift in compositional principles: from the isorhythmic techniques of the late Middle Ages and the experimental “musical games” of the Enlightenment to contemporary methods incorporating digital algorithms and artificial intelligence. Key stages in the evolution of algorithmic music are

highlighted: the original concept of musical structures formalisation, which provided the foundation for further development of compositional techniques; the experimental algorithms of the 18th and 19th centuries, integrating stochastic methods and mechanical principles for musical sequences creation; and the digital revolution of the 20th century, which, through computer automation, facilitated the first experiments in music generation based on stochastic and deterministic models. The influence of these elements on the emergence of contemporary algorithms is evident, as they have expanded beyond the imitation of classical composers' styles to the creation of autonomous musical compositions featuring novel creative approaches. It is substantiated that, after centuries of evolution, algorithmic composition techniques have now attained a new qualitative level through artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence, automation, generative music, music history, algorithmic models, deep learning neural networks.

Актуальність теми дослідження. Штучний інтелект (ШІ) дедалі відчутніше впливає на різні сфери життя, зокрема на музичну культуру і мистецтво. Стрімкий розвиток обчислювальних потужностей комп'ютерів та прогрес у глибокому навчанні нейронних мереж надали митцям та професіоналам музичної сфери інноваційні інструменти, які змінюють уявлення про можливості у композиції, обробці та генерації музики. Попри значні технічні досягнення, системне наукове осмислення культурних наслідків використання ШІ в музиці лише розпочинається та вважається доцільним проаналізувати передтечі, що сформували еволюцію мислення, яка стала рушійною силою у створенні цих інструментів.

Аналіз досліджень і публікацій. Важливою науковою працею, яка надає розуміння контексту зародження, розвитку та адаптації підходів до формалізації музичних творів та їх еволюції у алгоритмічні техніки, є стаття Майкла Едвардса «Алгоритмічна композиція: обчислювальне мислення в музиці» (Edwards, 2011). Цей підхід сприяє побудові дорожньої карти дослідження, спираючись, в свою чергу, на роботи Д. Лігеті, які слугують своєрідним містом, що об'єднує музичну теорію та усвідомлення ролі підходів до формалізації та, як результат, автоматизації створення музичних творів (Ligeti, 1966). Важливою складовою, що надає розширене розуміння рушійних процесів прагнення до формалізації та автоматизації створення музичного тексту є робота Еріка Крістенсена «Музичний часопростір: теорія музичного слухання», де всеосяжно розглядаються питання специфіки людської пам'яті, особливо короткострокової, в контексті формування очікувань наступних подій як наслідку спроможності сприймати потік аудіальної інформації та одночасно співставляти таку інформацію із накопиченим досвідом слухача (Christensen, 1996). У своїй роботі Джонатан Крамер переконливо обґрунтовує вплив чисел Фібоначчі на творчість композиторів епохи, звертаючи увагу на те, що навколо яких виросла навіть певна

міфологія, що пояснюється як їх численними дивовижними та елегантними математичними властивостями, так і тим, що вони постійно з'являються у фізичному світі в на перший погляд несуміжних контекстах на творчість композиторів (Kramer, 1973). Окремої уваги заслуговують дослідження Стівена Хеджеса, який у своїй статті «Музична гра в кості у XVIII столітті» розглядає феномен зародження музичної алеаторики на прикладі гри, яка мала елементи підготовленої послідовності нотної інформації та випадкового чисельного вибору одної з них, що при повторенні утворює низку комбінацій, які можуть сприйматись як новий музичний твір. У цій роботі автор аналізує її статистичні властивості, показуючи, що випадковість могла створювати когерентну музику, що свідчить про ранній інтерес до систематичних підходів у композиції (Hedges, 1978). Змістовний аналіз результатів власних досліджень (Matthews, 1963) та ретроспективний погляд на створення перших проєктів у сфері електронного звукоутворення за допомогою обчислювальної техніки представляє Макс Мет'юз (Matthews, 1997). Базою для всеосяжного розуміння специфіки досліджень, що здійснювались Лаєрном Хіллером за допомогою комп'ютера Іліак 1 та вплив результатів цих експериментів є його власна наукова робота у співавторстві із Л. Айзаксоном (Hiller, Isaacson, 1959).

Мета статті полягає у вивченні еволюції алгоритмічних технік музичних композицій і технік формалізації музичних структур. Для досягнення мети були виокремлені завдання: дослідити і оцінити вплив інновацій в площині технік формалізації та автоматизації створення музики як генезису сучасних нейронних мереж із глибоким навчанням та можливостями штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу. За інформацією дослідника та музикознавця Майкла Едвардса, композитор Дьордь Лігеті писав: «Оскільки ми спонтанно порівнюємо будь-який новий елемент, що з'являється у свідомості, з уже пережитими елементами, і, виходячи з цього порівняння, робимо висновки щодо майбутніх елементів, ми рухаємося крізь

музичну споруду, ніби вона існує в своїй цілісності. Взаємодія асоціації, абстракції, пам'яті та передбачення є передумовою для формування системи зв'язків, що дає змогу усвідомити концепцію музичної форми» [8, 21].

Це стає можливим, за Едвардсом, завдяки самій природі сприймання людиною аудіальної інформації. А точніше когнітивної її обробки, що може вирізняти поняття сприйняття аудіальної інформації та поняття слухання.

Інший музикознавець, Ерік Крістенсен писав про це так: «Затримка інформації в короткотривалій пам'яті дає змогу сприймати цілісні музичні одиниці, порівнювати їх з іншими подіями в музичному потоці, свідомо чи підсвідомо співставляти з попереднім музичним досвідом, збереженим у довготривалій пам'яті, і безперервно формувати очікування наступних музичних подій» [6].

Саме цей компонент очікування є фундаментальною технікою, якою користуються композитори – особливість музичного сприйняття, що формалізує структуру творів. І хоча неможна ототожнювати формальне планування з алгоритмічними техніками, проте, як стверджує Едвардс: «Перехід від першого до другого був історично неминучим» [8].

Перші ідеї щодо можливості формалізації, а в сучасному контексті – автоматизації, походять з робіт винахідника лінійної нотації Гвідо д'Ареззо, який ще у 1020-х роках розробляв формальний метод накладання тексту на музику. Втілювалось це шляхом призначення відповідного звуку для кожної голосної літери у тексті [15]. Отже, мелодія змінювалась залежно від послідовності голосних літер у тексті. Пізніше, у XIV–XV століттях сформувалася квазіалгоритмічна ізоритмічна техніка, де ритмічні цикли (*talea*) повторювалися, часто поєднуючись із мелодичними циклами (*color*) однакової або різної довжини. Хоча теоретично це могло призводити до надзвичайно тривалих форм, на практиці зазвичай повторення ритму й мелодії збігалось швидше. Як справедливо зазначає Едвардс, якщо повторення набуває природи традиції, тобто охоплює у часі не окремий період, а цілі епохи, це стає частиною пам'яті. Така пам'ять включає як короткі мотиви, так і довші теми та була рушійною силою у розвитку музичної форми. У західній традиції це повторення набувало різноманітних виражень, як-от класичне рондо (наприклад, структура АВАСА), барокова fuga чи класична сонатна форма [8].

Від Середньовіччя, через епоху Просвітництва і до XX століття науковці, такі як Х'юго Нортон з університету Бостона, Ернст Левдай з Лондона, Готтфрід Коенінг, знаходять вплив числових послідовностей на твори композиторів. Цікавим прикладом може слугувати ізоритмічний мотет Guillaume Dufay (1400–1474) *Nuper Rosarum Flores*, написаний для освячення Флорентійського, що мав структуру 6:4:2:3, яка була представленням пропорцій нави, вітрила (перетину), апсиди та висоти арки собору. Точаться також окремі дискусії у музикознавчій спільноті, в роботах Роя Ховата та згадуваного вище Х'юго Нортона, як окремі приклади, про те, наскільки свідомо композитори застосовували пропорційні системи, зокрема пов'язані з числами Фібоначчі та «золотим перетином». Такі музичні представлення відношень Фібоначчі виявлені, зокрема, у творах Баха [24] Шуберта [13] і Бартока [18], у низці робіт XX століття [17].

Історія автоматизації музичної композиції має глибоке коріння і сягає щонайменше XVIII століття, коли з'явилися перші системи музичної алеаторики, найвідомішою з яких стала *Musikalisches Würfelspiel* («Музична гра в кістки»). Цей метод, часто приписуваний Моцарту, хоча подібні системи розробляли й інші композитори того часу, представляв собою одну із перших спроб формалізувати творчий процес за допомогою ймовірнісних алгоритмів. «*Musikalisches Würfelspiel*» дозволяє створювати випадкові музичні твори шляхом кидання гральних кісток, які визначають послідовність музичних фрагментів. Ця техніка була популярна у XVIII столітті і використовувалася для написання нескінченної кількості варіацій музичних творів. Це відображало інтерес епохи до випадковості та порядку, слугуючи одночасно потенційним інструментом для перших історичних спроб оптимізації музичного виробництва та розвагою для аматорів.

У своїй ґрунтовній роботі Стівен Хеджес звертає увагу на те, що гра була популярною формою розваги, але не вважалася серйозним мистецтвом, а радше інтелектуальною забавкою. Дослідник аналізує її статистичні властивості, показуючи, що випадковість могла створювати когерентну музику, що свідчить про ранній інтерес до систематичних підходів у композиції. Культурологічно, це демонструє прийняття механізованих форм мистецтва в межах розваги, впливаючи на сприйняття музики як доступного культурного продукту.

Такі експерименти заклали основи для розуміння музичної композиції як процесу, що піддається формалізації та автоматизації. За Хеджесом, «Поява «музичних ігор у кості» була тісно пов'язана з раціоналістичними тенденціями епохи Просвітництва та зростаючим інтересом до математичної формалізації різних аспектів людської діяльності, включаючи мистецтво» [10]. Далі він зазначає, що ці ігри «відображали загальний інтелектуальний клімат того часу, коли раціональне пізнання світу стало домінуючою парадигмою» [10].

Музичні ігри в кості видавалися переважно для фортепіано до першої половини XIX століття, що відображало популярність цього інструмента в тогочасних салонах. Основною вимогою до гравців було вміння читати ноти та достатнє володіння фортепіано, що робило ці ігри доступними для освічених верств суспільства. Системи склалися з таблиць, де кожен кидок кубиків відповідав певному музичному фрагменту, який гравець мав виконати. Наприклад, для створення менуета чи вальсу використовувалися заздалегідь написані заходи, які комбінувалися випадковим чином.

Перші кроки у сфері електронного звукоутворення за допомогою обчислювальної техніки сягають початку 1950-х років. Особливої уваги заслуговують роботи Макса Мет'юза (Max Mathews) та його колег у Bell Telephone Laboratories у зазначений період. Саме вони започаткували методи синтезу звуку за допомогою цифрових комп'ютерів і зробили перші «семпловані» (sample-based) звуки (David, Mathews & McDonald, 1959). Завдяки поданню звукових хвиль у вигляді вибірок (семплів) з'явилася можливість згенерувати майже будь-яку форму хвилі. У той час для збереження цих семплів використовували великі магнітні стрічкові накопичувачі, а для відтворення – спеціальний 12-бітний вакуумно-ламповий цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), розроблений компанією Epsco (Roads, 1980). Сьогодні ми звикли до компактних ЦАП та АЦП (аналог-цифрових перетворювачів), але в ті роки обладнання було громіздким і дорогим, що значно ускладнювало робочий процес.

Паралельно з цим у різних дослідницьких центрах (зокрема при університетах та приватних корпораціях) почали з'являтися проекти, спрямовані на синтез та маніпуляцію звуковими сигналами безпосередньо в цифровій формі. Такі дослідження стали основою для подальшого розвитку комп'ютерної музики

та цифрових аудіосистем, що згодом переросли у розробку програмного забезпечення для звукозапису, звукових редакторів та синтезаторів. Зі стрімким розвитком мікропроцесорних технологій комп'ютерний синтез став доступнішим і отримав поштовх до комерціалізації (у 1970–1980-х роках).

У XXI столітті згадані ранні роботи розглядаються як фундаментальні експерименти, які не лише демонструють технічні можливості доби, а й засвідчують народження нової естетики у музичному мистецтві, де звукові хвилі можуть бути описані, змодельовані та згенеровані у вигляді послідовності чисел.

Bell Labs була заснована як дослідницький підрозділ AT&T (1925) і стала ключовим осередком інновацій у XX столітті, зробивши внесок у розвиток транзистора, лазера та комп'ютерної музики. Лабораторія зосередилася на дослідженні дискретизації та цифрової обробки звуку, що було частиною ширших зусиль щодо проведення інноваційних досліджень у галузі телекомунікацій і комп'ютерних технологій (1950). Цей напрям став можливим завдяки технологічним досягненням того часу, зокрема використанню магнітної стрічки як стандартного носія для зберігання цифрових даних, що відкрило шлях до експериментів із комп'ютерною обробкою звуку.

Першопроходець комп'ютерної музики Макс Мет'юз розробив програму Music I для комп'ютера IBM 704 (1957). Вперше цей комп'ютер було представлено у 1954 році як першу масово вироблену електронно обчислювальну машину, оснащеною апаратними засобами для виконання обчислень з рухомою комою. Ця можливість дозволяла IBM 704 ефективно виконувати складні математичні обчислення, що робило його особливо придатним для наукових застосувань, включаючи створення цифрових музичних даних.

Програма генерувала звукові сигнали, які зберігалися на магнітній стрічці, а потім відтворювалися, змінюючись з дискретних значень на аналоговий сигнал за допомогою унікального 12-бітного цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) на вакуумних лампах, що був доступний у Bell Labs. Цей проєкт став першим кроком у демонстрації можливостей комп'ютерів у створенні музики, заклавши основу для подальшого розвитку цифрового аудіо.

Результати проєкту були детально задокументовані Максом Мет'юзом у наукових

публікаціях. Він опублікував статтю в *Journal of the Audio Engineering Society* (1959), описавши процес комп'ютерної генерації музики. У статті в журналі *Science* були розглянуті комп'ютери як музичні інструменти (1963). Практичним доказом успіху стала композиція *The Silver Scale* (1957) Ньюмена Гутмана, яка була створена за допомогою Music I [22].

Відомо про перший в історії твір, що був згенерований комп'ютером. Загальновизнаним першим композитором, що застосував комп'ютерні програми в алгоритмічній композиції, вважається Лаєрн Хіллер. Університети США середини XX століття мали унікальне спеціалізоване комп'ютерне обладнання. ІЛПАК I, також відомий як Іллінойський автоматичний комп'ютер, був оснащений 2800 вакуумними лампами і мав розміри десять футів у висоту, два фути в ширину і вісім з половиною футів у довжину. Загальна вага машини становила п'ять тон. Викладачі Університету Іллінойса Лаєрн Хіллер та Леонард Айзексон проводили дослідження, експериментуючи із вхідними даними, результатом яких, зокрема, стала Ілліакська сюїта [11]. Це музичний текст створений за допомогою математичних алгоритмів, що були побудовані на дослідженнях музичної теорії і правил композиції та примітивного, із сучасного розуміння, комп'ютера.

Твір складався з чотирьох частин, кожна з яких представляла різні музичні стилі. Ілліакська сюїта продемонструвала універсальність комп'ютерно-генерованої музики. Результати цієї роботи не лише звернули увагу наукової та творчої спільноти на можливість використання комп'ютерів для художнього вираження, але й спричинили міждисциплінарний діалог комп'ютерних науковців та музичних теоретиків. Остаточна версія Ілліакської сюїти була виконана струнним квартетом перед Ілліні Юніон (1956).

Проект стимулював подальші наукові дослідження в галузі алгоритмічної композиції та комп'ютерно-генерованої музики, надихаючи наступні покоління композиторів і комп'ютерних вчених. В історичному контексті алгоритмічної композиції ключовий поділ існує між невизначеними та визначеними моделями. Невизначені моделі спираються на стохастичні або випадкові методи, такі як ланцюги Маркова, тоді як визначені моделі забезпечують стабільний, фіксований результат незалежно від кількості повторних запусків [25]. До прикладів визначених моделей

належать: Клітинні автомати, які можуть бути як детермінованими, так і стохастичними, що іноді викликає суперечки щодо їх природи [25]; Системи Лінденмаєра, відомі своєю чіткою структурою [25]; Алгоритми «спрямованого пошуку» Чарльза Еймса, що відбирають властивості музичного матеріалу за заданими обмеженнями [1]. Такий підхід дозволяє адаптувати алгоритми до музичного виробництва, зберігаючи логічність і контекстуальність викладу.

Висновки. Визначено основні етапи формування та еволюції алгоритмічних технік музичних композицій, а також розглянуто процеси формалізації музичних структур у контексті технологічного прогресу. Історія систематичних підходів до створення музики свідчить про поступову зміну принципів композиції: від ізоритмічних технік пізнього Середньовіччя та експериментальних «музичних ігор» епохи Просвітництва до сучасних методів, що використовують цифрові алгоритми та штучний інтелект. Виокремлено ключові етапи еволюції алгоритмічної музики: першоджерельна ідея формалізації музичних структур, яка слугувала основою для подальшого розвитку композиційних технік; експериментальні алгоритми XVIII–XIX століть, що включали стохастичні методи та механічні принципи побудови музичних послідовностей; цифрова революція XX століття – з появою комп'ютерної автоматизації стали можливими перші експерименти зі створення музики на основі стохастичних і детермінованих моделей. Усі зазначені елементи здійснили вплив на появу сучасних алгоритмів не лише з імітацією стилю класичних композиторів, а також на виникнення автономних технік музичної композиції з новими підходами до творчості. Обґрунтовано, що алгоритмічні техніки композиції, що зароджувалися століттями, досягли нового якісного рівня завдяки штучному інтелекту.

Література

1. Ames C. Stylistic automata in Gradient. *Computer Music Journal*. 1983. № 7(4). Pp. 45–56.
2. Austin L., Cage J., Hiller L. An interview with John Cage and Lejaren Hiller. *Computer Music Journal*. 1992. № 16(4). Pp. 15–29.
3. Bel B. Migrating musical concepts: An overview of the Bol processor. *Computer Music Journal*. 1998. № 22(2). Pp. 56–64.
4. Bewley J. Lejaren A. Hiller: Computer Music Pioneer. Music Library Exhibit, University of Buffalo, 2004.

5. Brümmer, L. Using a digital synthesis language in composition. *Computer Music Journal*. 1994. № 18(4). Pp. 35–46.
6. Christensen E. The Musical Timespace, a Theory of Music Listening. Aalborg University Press, Aalborg, Denmark, 1996.
7. Cope D. Experiments in Musical Intelligence. A-R Editions, Madison, WI, 1996.
8. Edwards M., Algorithmic composition: computational thinking in music. *Commun. ACM* 54, 7 (July 2011), 58–67. DOI: <https://doi.org/10.1145/1965724.1965742>.
9. Eisen C., Keefe S. P. (Eds.). The Cambridge Mozart Encyclopedia. Cambridge University Press, Cambridge, England, 2006.
10. Hedges, Stephen A. DICE MUSIC IN THE EIGHTEENTH CENTURY. *Music & Letters*. 1978. №59. Pp. 180–187.
11. Hiller L. Computer music. *Scientific American*. 1959. № 201(6). Pp. 109–120.
12. Holmes T. Electronic and Experimental Music. Taylor & Francis Ltd, London, 2003.
13. Howat R. Architecture as drama in late schubert. *Schubert Studies*, B. Newbould, Ed. Ashgate Press, London, 1998, 168–192.
14. Jordanous A., Smaill A. Investigating the role of score following in automatic musical accompaniment. *Journal of New Music Research*. 2009. № 38(2). Pp. 197–209.
15. (22) Kirchmeyer, H. On the historical construction of rationalistic music. *Die Reihe* 8 (1962), 11–29.
16. Koenig G. M. Aesthetic integration of computer-composer scores. *Computer Music Journal*. 1983. №7(4). Pp. 27–32.
17. Kramer J. The Fibonacci series in 20th century music. *Journal of Music Theory*. 1973. №17. Pp. 111–148.
18. Lendvai E. Bela Bartók: An Analysis of His Music. Kahn & Averill, London, 1971.
19. Lerdahl F., Jackendorff R. A *Generative Theory of Tonal Music*. MIT Press, Cambridge, MA, 1983.
20. Lewis G. Too many notes: Computers, complexity, and culture in Voyager. *Leonardo Music Journal*. 2000. № 10. Pp. 33–39.
21. Ligeti G. Über form in der neuen musik. *Darmstädter Beiträge zur neuen Musik*. 1966. №10. Pp. 23–35.
22. Mathews, Max. The digital computer as a musical instrument. *Science*. 1963. № 142 (3592). Pp. 553–557. DOI: 10.1126/science.142.3592.553.
23. Matossian N. Xenakis. Kahn & Averill, London, 1986.
24. Norden H. Proportions in music. *Fibonacci Quarterly*. 1964. №2(3). Pp. 219–222.
25. Roads C. The Computer Music Tutorial. MIT Press, Cambridge, MA, 1996.
26. Steinitz R. Music, maths & chaos. *Musical Times*. 1996. № 137(1837). Pp. 14–20.

References

1. Ames, C. (1983). Stylistic Automata in Gradient. *Computer Music Journal*, 7, 4, 45–56 [in English].
2. Austin, L., Cage, J., & Hiller, L. (1992). An Interview with John Cage and Lejaren Hiller. *Computer Music Journal*, 16, 4, 15–29 [in English].

3. Bel, B. (1998). Migrating Musical Concepts: An Overview of the Bol Processor *Computer Music Journal*, 22, 2, 56–64 [in English].
4. Bewley, J. (2004). Lejaren A. Hiller: Computer Music Pioneer. Music Library Exhibit, University of Buffalo [in English].
5. Brümmer, L. (1994). Using a Digital Synthesis Language in Composition. *Computer Music Journal*, 18, 4, 35–46 [in English].
6. Christensen, E. (1996). The Musical Timespace, a Theory of Music Listening. Aalborg [in English].
7. Cope, D. (1996). Experiments in Musical Intelligence. A-R Editions, Madison, WI [in English].
8. Edwards, M. (2011). Algorithmic Composition: Computational Thinking in Music. *Commun. ACM*, 54, 7, 58–67. DOI: <https://doi.org/10.1145/1965724.1965742> [in English].
9. Eisen, C., & Keefe, S. P. (Eds.). (2006). The Cambridge Mozart Encyclopedia. Cambridge [in English].
10. Hedges, S. A. (1978). Dice Music in the Eighteenth Century. *Music & Letters*, 59, 180–187 [in English].
11. Hiller, L. (1959). Computer Music. *Scientific American*, 201, 6, 109–120 [in English].
12. Holmes, T. (2003). Electronic and Experimental Music. London [in English].
13. Howat, R. (1998). Architecture as Drama in Late Schubert. *Schubert Studies*. London, 168–192 [in English].
14. Jordanous, A., & Smaill, A. (2009). Investigating the Role of Score Following in Automatic Musical Accompaniment. *Journal of New Music Research*, 38, 2, 197–209 [in English].
15. Kirchmeyer, H. (1962). On the Historical Construction of Rationalistic Music. *Die Reihe*, 8, 11–29 [in English].
16. Koenig, G. M. (1983). Aesthetic Integration of Computer-Composer Scores. *Computer Music Journal*, 7, 4, 27–32 [in English].
17. Kramer, J. (1973). The Fibonacci Series in 20th Century Music. *Journal of Music Theory*, 17, 111–148 [in English].
18. Lendvai, E. (1971). Bela Bartók: An Analysis of His Music. London [in English].
19. Lerdahl, F., & Jackendorff, R. (1983). A Generative Theory of Tonal Music. Cambridge, MA [in English].
20. Lewis, G. (2000). Too Many Notes: Computers, Complexity, and Culture in Voyager. *Leonardo Music Journal*, 10, 33–39 [in English].
21. Ligeti, G. (1996). Über Form in der neuen Musik. *Darmstädter Beiträge zur neuen Musik*, 10, 23–35 [in German].
22. Mathews, M. (1963). The Digital Computer as a Musical Instrument. *Science*, 142 (3592), 553–557. DOI: 10.1126/science.142.3592.553 [in English].
23. Matossian, N. (1986). Xenakis. London [in English].
24. Norden, H. (1964). Proportions in Music. *Fibonacci Quarterly*, 2, 3, 219–222 [in English].
25. Roads, C. (1996). The Computer Music Tutorial. Cambridge, MA [in English].
26. Steinitz, R. (1996). Music, Maths & Chaos. *Musical Times*, 137, 1837, 14–20 [in English].

Стаття надійшла до редакції 08.01.2025
Отримано після доопрацювання 10.02.2025
Прийнято до друку 17.02.2025