

УДК 739:004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/uad.2026.3.4>

Бойко Дар'я Володимирівна,

асистент кафедри дизайну та 3D-моделювання
Харківського національного університету
міського господарства імені О.М. Бекетова
ORCID ID: 0000-0003-4735-2954
stonogadafa@gmail.com

Вергунов Сергій Віталійович,

кандидат мистецтвознавства, професор,
завідувач кафедри дизайну та інтер'єру
Харківського національного університету
міського господарства імені О.М. Бекетова
ORCID ID: 0000-0003-2603-9782
s.vergunov@gmail.com

Іванова Ніна Василівна,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри дизайну та 3D-моделювання
Харківського національного університету
міського господарства імені О.М. Бекетова
ORCID ID: 0000-0002-0125-8981
ivanova.ninvas@gmail.com

Радченко Алла Олександрівна,

старший викладач кафедри дизайну та інтер'єру
Харківського національного університету
міського господарства імені О.М. Бекетова
ORCID ID: 0000-0002-3377-5051
allakokama@gmail.com

Зінченко Андрій Георгійович,

асистент кафедри дизайну та інтер'єру
Харківського національного університету
міського господарства імені О.М. Бекетова
ORCID ID: 0000-0002-3429-070X
zinchenko.andrew.art@gmail.com

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДИЗАЙНІ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ: ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ФОРМИ ВІД ЕСКІЗУ ДО АДАПТИВНОГО ПРОТОТИПУ

У статті досліджується трансформація дизайну ювелірних виробів у контексті сучасної цифровізації повного циклу роботи над проектом: від формування початкової концепції до створення адаптивного прототипу прикраси. Метою дослідження є виявлення особливостей взаємодії дизайнерського задуму та різних цифрових інструментів на етапах проектування композиції форми до живого прототипу. Методологічною основою є аналіз послідовних стадій розробки, а саме концептуалізація, 2D-удосконалення, 3D-моделювання, підготовка до адитивного виробництва з урахуванням матеріальних і технологічних обмежень, а також постобробки виробу. Виокремлено, що кожен етап цифрового проектування визначає рівень точності, адаптивності, технологічності та естетичної виразності виробу. Обґрунтовано, що сучасний ювелірний дизайн формується як гібридна система, у якій цифрові технології не замінюють традиційні ремісничі практики, а інтегруються з ними, забезпечуючи баланс між творчим наміром,

точністю сучасних технологій та матеріалами. Показано, що використання засобів автоматизованого проектування та адитивного виробництва розширює можливості формоутворення і сприяє створенню складних, індивідуалізованих виробів. За результатами дослідження встановлено, що поєднання цифрових і традиційних підходів забезпечує ефективне ітераційне вдосконалення дизайну. Практичне значення полягає у можливості оптимізації процесу проектування ювелірних виробів із підвищенням їх якості та інноваційності та складності самого дизайну.

Ключові слова: САПР, ювелірний дизайн, цифрове виробництво, 3D-друк, прототипування, адаптивний прототип.

Boiko Daria, Vergunov Sergey, Ivanova Nina, Radchenko Alla, Zinchenko Andrey.
COMPUTER TECHNOLOGIES IN JEWELRY DESIGN: DIGITAL TRANSFORMATION OF FORM FROM SKETCH TO ADAPTIVE PROTOTYPE

The article explores the transformation of jewelry design within the context of the contemporary end-to-end digitalization of the project lifecycle: from initial concept formation to the creation of an adaptive jewelry prototype. The study aims to identify the specific features of interaction between the design intent and various digital tools at different stages of development, from compositional form-finding to a physical ("living") prototype. The methodological framework is based on the analysis of sequential development stages, namely: conceptualization, 2D refinement, 3D modeling, preparation for additive manufacturing (considering material and technological constraints), and post-processing. It is highlighted that each stage of digital design determines the levels of precision, adaptability, manufacturability, and aesthetic expressiveness of the final product. The study substantiates that modern jewelry design is evolving as a hybrid system where digital technologies do not replace traditional craftsmanship but rather integrate with it, ensuring a balance between creative intent, technological precision, and material properties. It is demonstrated that the use of computer-aided design (CAD) and additive manufacturing expands the possibilities of form-finding and facilitates the creation of complex, individualized pieces. The research findings establish that the synergy of digital and traditional approaches provides effective iterative design refinement. The practical significance lies in the potential for optimizing the jewelry design process while enhancing product quality, innovation, and design complexity.

Key words: CAD, jewelry design, digital fabrication, 3D printing, prototyping, adaptive prototype.

Вступ. Сучасний дизайн ювелірних виробів формується в умовах активного впровадження цифрових технологій. Це змінює підходи до вибору інструментів та композицію формоутворення прикрас. Формоутворення відбувається, через застосування систем автоматизованого проектування (CAD), що забезпечує високу точність моделювання та контроль геометричних параметрів складних виробів [1]. З іншого боку технології адитивного виробництва розглядаються як ефективний інструмент реалізації складних геометрій, які важко або неможливо відтворити традиційними методами проектування [1]. Найчастіше дослідження акцентують увагу на генеративних та параметричних підходах, що розширюють варіативність формоутворення та автоматизують процес проектування [2]. Водночас у науковій літературі підкреслюється, що навіть в умовах цифровізації критичними залишаються досвід дизайнера та його відчуття форми і традиційні навички, які забезпечують якість кінцевого ювелірного виробу [3]. Попри значний обсяг

досліджень, більша їх частина зосереджена на САД-моделюванні або адитивному виробництві але без цілісного аналізу їх взаємодії в межах єдиного процесу. Недостатньо розкритою залишається проблема розгляду саме трансформації форми ювелірного виробу, як циклу переходів від концепції до фізичного об'єкта. Тому в даній статі постає питання розуміння цифрового проектування не як набору окремих дій, а як живого ланцюжку етапів процесу. Починаючи з концептуальних 2D-ескізів і переходячи до 3D-моделювання з подальшим виробництвом, кожен крок закладає фундамент для технічності та естетичності майбутнього ювелірного виробу. Особливого значення набуває поняття адаптивного прототипу як результату ітеративного вдосконалення форми з урахуванням ергономічних, матеріальних і технологічних чинників, майже на кожному з цих етапів.

Матеріали та методи. Дослідження спирається на аналітичний підхід, що поєднує аналіз сучасних практик ювелірного дизайну та наукових джерел з метою моделювання

наскрізного цифрового процесу від ідеї до виготовлення виробу. Розглядаються інструменти цифрового проектування та технології виробництва, зокрема CAD-моделювання, параметричний дизайн і адитивні методи. На початковому етапі застосовуються ескізи, Mood board (дошки настрою) та цифрові інструменти візуалізації, які трансформуються у 2D– і 3D-моделі з використанням NURBS– та твердотільне моделювання, тоді як для деталізації цифрове ліплення. В основі роботи лежить ітераційний принцип, який базується на аналізі проєктної документації та галузевих публікацій, що дозволяє визначити вплив цифрових технологій на формоутворення та ефективність прототипування в ювелірному дизайні.

Результати дослідження. Народження ювелірного виробу починається з концептуальної стадії, на якій творчі ідеї набувають первинної візуальної форми через ескізування. Традиційно цей етап базується на ручних або цифрових ескізах, що створює загальну образність виробу, його силует, мотиви та композицію без глибокої деталізації конструктивних параметрів [4]. У сучасній ювелірному дизайні цифрові інструменти поступово інтегруються вже на концептуальному рівні через використання графічних планшетів, цифрових мудбордів з можливістю оперативного редагування композиції. Поступово сучасні генеративні та алгоритмічні інструменти, зокрема різноманітні системи штучного інтелекту, які пропонують варіанти форм, орнаментів або композиційних рішень на основі заданої тематики, набувають все більшої ваги. Такі технології не замінюють авторське мислення, а розширюють його можливості, сприяючи швидкому формуванню альтернативних концепцій. Водночас сильна концепція виконує функцію орієнтира для всіх подальших етапів проектування, визначаючи стилістичні та композиційні характеристики виробу. Наприклад, такі конструктивні елементи, як «захист» або «опіка», можуть трансформуватися у відповідні композиційні рішення з використанням об'ємних або багат шарових елементів композиції [5]. На концептуальному етапі

також починають формуватися загальні уявлення щодо ергономіки та специфіки взаємодії виробу з людиною. Однак на цьому етапі вони залишаються другорядними порівняно з художнім пошуком. Основна функція цифрових технологій у цей період полягає у підтримці ідейної генерації та візуальної фіксації, а не в накладанні технологічних обмежень. Результатом концептуальної стадії є не завершений дизайн, а набір варіативних ідей, які можуть деталізуватися, комбінуватися або трансформуватися на подальших етапах роботи над виробом.

Удосконалення 2D та перехід до 3D-моделювання. Між початковим ескізом і фінальною 3D-моделлю часто існує проміжний етап 2D-опрацювання, що включає деталізовані рендеринги або цифрові ілюстрації форми. Такі зображення дозволяють уточнити пропорції, орнаментальні елементи, композицію та розміщення вставок у двовимірній площині. У сучасній практиці цей етап іноді скорочується або інтегрується безпосередньо в 3D-процес завдяки можливостям програмного забезпечення (Matrix Gold, CounterSketch, Blender), які дозволяють одразу інтерпретувати ескізні криві у тривимірному середовищі. Далі відбувається перехід до повноцінного 3D-моделювання, яке є ключовим етапом цифрового формоутворення ювелірного виробу. У CAD-середовищах (Rhino 3D, MatrixGold, Blender, JewelCraft) формується точна геометрія виробу з розмірами, товщинами і посадками окремих елементів або коштовних або нетрадиційних вставок. Це забезпечує мікрометричну точність конструктивних вузлів, зокрема оправки каменів, з'єднань і декоративних елементів, що суттєво перевищує можливості ручного моделювання. Крім того, цифрове середовище дозволяє створювати складні повторювані або симетричні орнаменти з математичною точністю, а також реалізовувати складну геометрію композиції.. Особливе значення має параметричне та алгоритмічне моделювання, яке забезпечує адаптивність дизайну. Зміна одного параметра автоматично коригує всю конструкцію без необхідності

повного перероблення моделі. Це дозволяє швидко створювати варіативні серії виробів або адаптувати дизайн під різні розміри та вставки, або різні типи ювелірних виробів, використовуючи один центральний елемент в різних варіаціях. Важливим аспектом 3D-моделювання є також попередня технологічна валідація виробу. Так наприклад, 3D-інструменти дозволяють аналізувати товщину стінок, перевіряти геометричну коректність і виявляти потенційні виробничі проблеми ще до етапу виготовлення. Таким чином, процес моделювання стає інтерактивним поєднанням художнього проектування та технологічного контролю, що забезпечує узгодження естетичних і виробничих вимог до дизайну.

Підготовка до 3D-друку (проектування для виробництва). Після того, як дизайнер створить пророблену 3D-модель, наступним кроком є її підготовка до фізичного прототипування або виробництва за допомогою пов'язаних методів цифрового виготовлення як, 3D-друку або фрезерування на 3D-верстаті. На цьому етапі підготовки проект повинен відповідати вимогам виготовлення. Після експорту моделі, зазвичай у форматі STL, починається етап підготовки до друку. На цій стадії технолог або дизайнер визначає оптимальну орієнтацію виробу в робочій зоні принтера, підбирає матеріали і розставляє додаткові підтримуючі опори. Від вибору параметрів друку, як напрям росту шарів, залежить не лише точність геометрії, а й складність подальшої постобробки. Деяке передове програмне забезпечення, спеціалізоване для ювелірних виробів MatrixGold, Materials Magic, може автоматично розміщувати опори, але досвідчені дизайнери часто налаштовують це самостійно [6]. Ще одним фактором є роздільна здатність і точність 3D-принтера в порівнянні з рівнем деталізації моделі. Підготовка включає перевірку того, що мінімальний розмір елемента принтера може охопити найдрібніші присутні деталі в дизайні виробу. Якщо дизайн містить гравірований текст або крихітне паве крапанів, сітка повинна мати достатню щільність полігонів, а обраний

принтер повинен мати роздільну здатність для чіткого друку цих деталей. Якщо деталі занадто дрібні, етап підготовки може включати повернення до 3D-моделі, щоб трохи підняти або поглибити їх для чіткого друку. Інструменти моделювання також відіграють певну роль на цьому етапі. Деякі розширені робочі процеси включають моделювання друку (прогнозування місць, де можуть виникнути напруження або деформації) або моделювання лиття (прогнозування того, як метал буде текти та де може утворитися пористість). Хоча вони ще не є рутинними у всіх невеликих ювелірних студіях через складність, великі виробництва використовують їх для вдосконалення дизайну або додавання таких функцій, як живильники або вентиляційні отвори для лиття [7]. До кінця етапу підготовки цифрова модель по суті перетворюється на план виробництва. Результатом часто є набір файлів або інструкцій. STL-файл, орієнтований з опорними структурами, готовими для 3D-друку, якщо використовуються субтрактивні методи, разом з документацією щодо параметрів матеріалу та процесу, передається до друку. Така комплексна підготовка є життєво важливою для успішного втілення задуманої композиції в реальний виріб.

Матеріально-залежне виготовлення та обмеження. Важливою складовою концепції адаптивного прототипу є врахування матеріальних властивостей і технологій виготовлення, що безпосередньо впливають на форму виробу. У процесах лиття за втраченою моделлю або адитивного виробництва, зокрема спікання металевих порошків, можуть виникати усадка, деформації або незначні відхилення розмірів, що потребує попередньої компенсації в 3D-моделі [8]. Цифрові інструменти допомагають швидко коригувати геометрію шляхом масштабування або локальної зміни елементів, що значно спрощує адаптацію порівняно з ручними методами. Властивості матеріалу також мають вплив на конструктивні рішення. Наприклад, щільні та м'які метали, такі як золото і срібло, потребують збільшення мінімальних товщин і радіусів згинів для

забезпечення міцності та стабільності дрібних елементів [1; 8]. Аналогічно, при роботі зі спеченими металами або смолами дизайнер змушений враховувати обмеження технології, адаптуючи філігранні або тонкостінні структури для збереження їх цілісності [1;5]. Проте найважливішим етапом залишається ергономічний зворотний зв'язок. Примірка виробів дозволяє виявити проблеми посадки, балансу або комфорту, після чого 3D-модель вчасно коригується, через зміну товщин, кутів або геометрії внутрішніх поверхонь. Така ітеративність та адаптивність забезпечує швидкий цикл вдосконалення та значно підвищує якість фінального виробу. Таким чином досягається баланс між естетичною складністю та виробничою доцільністю [8]. У цілому процес матеріально орієнтованого проектування базується на безперервному циклі зворотного зв'язку, коли кожен фізичний прототип інформує наступну цифрову ітерацію. Можна зробити висновок що реалізується принцип адаптивного прототипу як системи, що постійно уточняється в моделі під впливом матеріалу, технології та реального користувацького досвіду.

Післяобробка та фінішна обробка. Після етапів друку або лиття процес переходить у фазу постобробки, де виріб набуває фінальних естетичних і функціональних характеристик. Адитивне виробництво та лиття залишають технологічні сліди, такі як шорсткість, шаруватість, ливникові елементи, що потребують механічного доопрацювання. Якісно підготовлена 3D-модель дозволяє передбачити розміщення таких елементів у зонах, зручних для обробки, а у випадку складних конструкцій застосовується модульний підхід із подальшим збиранням, що підвищує якість полірування. Результати тестування прототипів зумовлюють адаптивні зміни геометрії, зокрема коригування товщин і відстаней між елементами для запобігання деформаціям під час обробки. Важливим етапом є також інтеграція оправлення каменів. 3D-модель задає базову геометрію але фінальне припасування виконується вручну, що потребує повернення до коригування у цифровій моделі. Для складних типів

закріпки застосовуються часткові прототипи з метою перевірки точності посадки та зносостійкості. Особливості постобробки складних структур можуть вимагати конструктивних змін, зокрема додавання технологічних отворів або додаткових елементів [9]. Таким чином, етап постобробки є невід'ємною частиною ітеративного процесу вдосконалення виробу.

Оцінювання та ітерація: адаптивний прототип. Завершуючи обговорення, концепція адаптивного прототипу є ключовою для сучасного ювелірного дизайну, оскільки розглядає його не як завершений результат, а як елемент ітеративного процесу проектування. Інтеграція 3D-систем і швидкого прототипування забезпечує можливість оперативних змін цифрової моделі на основі результатів фізичних тестів, що значно скорочує цикл розробки порівняно з традиційними методами. Навіть ідеальна цифрова копія не гарантує відсутності похибок у готовому виробі. Усадка матеріалу чи специфіка друку часто призводять до відхилень, тому геометрію доводиться адаптувати вручну через зміну масштабів або локально коригувати параметри. У ювелірній справі цей процес зазвичай ітеративний. Спочатку утворюється полімерний прототип для перевірки ергономіки. Наступним етапом є створення металевих зразків, щоб зрозуміти, як конструкція поводитиметься перед фінальним литтям у металі. Такий підхід відповідає сучасній тенденції трактування прототипу як інструменту дослідження, а не кінцевого продукту. Ітеративний цикл **«проектування – тестування – корекція»** дозволяє поступово уточнювати форму, усуваючи конструктивні та естетичні недоліки ще до фінального виробництва. Впровадження 3D-друку суттєво підсилює цей цикл, оскільки забезпечує швидку розробку декількох варіантів виробу, що дозволяє оцінювати пропорції, ергономіку та візуальні характеристики на ранніх етапах. Зниження вартості та часу виготовлення тестових зразків додатково стимулює експериментальність і підвищує якість дизайнерських рішень. У цьому контексті адаптивне

прототипування передбачає відкритість до зворотного зв'язку та готовність до модифікації. Первинна форма може змінюватися під впливом ергономічних, матеріальних або технологічних факторів, якщо альтернативне рішення виявляється більш доцільним. Таким чином, цей підхід забезпечує підвищення точності, технологічності та естетичної якості дизайну виробу, а також формує ефективний баланс між творчим пошуком і інженерною оптимізацією в межах цифрового ювелірного дизайну.

Висновки. Цифрова трансформація проектування ювелірних виробів формує нову модель, у якій поєднуються художній задум і технологічні можливості САД-систем,

забезпечуючи точність, варіативність і керуваність формоутворенням. Інтеграція цифрових інструментів, зокрема підготовки до 3D-друку, дозволяє враховувати естетичні та технологічні параметри вже на етапі проектування, тоді як фінальна обробка зберігає великий вплив традиційної майстерності. Дослідження підтверджує, що сучасний процес має ітеративний характер і базується на концепції адаптивного прототипу, яка забезпечує послідовне вдосконалення дизайну. Відтак, цифрові технології не замінюють традиційні підходи, а інтегруються з ними, розширюючи можливості створення складного дизайну та індивідуалізованих ювелірних виробів.

Література:

1. Zhang G., Wang J., Li J., Zhou X., Zhou Y. Research on key technologies of jewelry design and manufacturing based on 3D printing technology. *Coatings*. 2024. Vol. 14, no. 6. P. 701. DOI: 10.3390/coatings14060701.
2. Duan B. Analysis on the value of 3D printing in jewelry design based on artificial intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1744, no. 4. 042132. DOI: 10.1088/1742-6596/1744/4/042132.
3. Wannarumon S. An aesthetics-driven approach to jewelry design. *Computer-Aided Design and Applications*. 2010. Vol. 7, no. 4. P. 489–503. DOI: 10.3722/cadaps.2010.489-503.
4. 3D Printing for jewelry designers: Designing for 3D printing success in jewelry making. Pencil Design (Blog). [Online]. Available from: pencildesign.co (accessed: 13.04.2026).
5. Smuts C., Di Ruvo M. Studio jewellery processes for the post-cyber designer. *Proceedings of DEFSA 2021 Conference (Design Education Forum of Southern Africa)*. 2021. 18 p. [Online]. Available from: <https://www.defsa.org.za/papers/studio-jewellery-processes> (accessed: 13.04.2026)
6. Shapeways. Making it real: A guide to jewelry rapid prototyping. Shapeways Blog. 2017. [Online]. Available from: [shapeways.com](https://www.shapeways.com) (accessed: 13.04.2026).
7. Cad Crowd. Adaptive and iterative prototyping: Iterate on your product design with industrial design firms. Cad Crowd Blog. [Online]. Available from: [cadcrowd.com](https://www.cadcrowd.com) (accessed: 13.04.2026).
8. The Virtual Foundry. Metal 3D printing in jewelry: Case study. The Virtual Foundry Blog. 2023. [Online]. Available from: [thevirtualfoundry.com](https://www.thevirtualfoundry.com) (accessed: 13.04.2026).
9. Cappellieri A., Moreira da Silva F., Rossato B., Tenuta L., Testa S. Hand-made jewelry in the age of digital technology. *Human Dynamics and Design for the Development of Contemporary Societies*. 2022. Vol. 25. P. 29–36. DOI: 10.54941/ahfe1001368.

References:

1. Zhang, G., Wang, J., Li, J., Zhou, X., & Zhou, Y. (2024). Research on key technologies of jewelry design and manufacturing based on 3D printing technology. *Coatings*, 14(6), 701. <https://doi.org/10.3390/coatings14060701>
2. Duan, B. (2021). Analysis on the value of 3D printing in jewelry design based on artificial intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1744(4), 042132. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1744/4/042132>
3. Wannarumon, S. (2010). An aesthetics-driven approach to jewelry design. *Computer-Aided Design and Applications*, 7(4), 489–503. <https://doi.org/10.3722/cadaps.2010.489-503>
4. Pencil Design. (n.d.). 3D printing for jewelry designers: Designing for 3D printing success in jewelry making. Retrieved from: <https://pencildesign.co/blog/3d-printing-for-jewelry-designers>
5. Smuts, C., & Di Ruvo, M. (2021). Studio jewellery processes for the post-cyber designer. In DEFSA 2021 Conference Proceedings. Design Education Forum of Southern Africa. [Conference]. Retrieved from: <https://www.defsa.org.za/papers/studio-jewellery-processes>
6. Shapeways. (2017, September 29). Making it real: A guide to jewelry rapid prototyping [Blog post]. Retrieved from: <https://www.shapeways.com/blog/jewelry-prototyping-tips>

7. Cad Crowd. (n.d.). Adaptive and iterative prototyping: Iterate on your product design with industrial design firms [Blog post]. Retrieved from: <https://www.cadcrowd.com/blog/adaptive-and-iterative-prototyping-iterate-on-your-product-design-with-industrial-design-firms/>

8. The Virtual Foundry. (2023). Metal 3D printing in jewelry: Case study [Blog post]. Retrieved from: <https://thevirtualfoundry.com/metal-3d-printing-in-jewelry-case-study/>

9. Cappellieri, A., Moreira da Silva, F., Rossato, B., Tenuta, L., & Testa, S. (2022). Hand-made jewelry in the age of digital technology. In *Human Dynamics and Design for the Development of Contemporary Societies* (Vol. 25, pp. 29–36). *AHFE International*. <https://doi.org/10.54941/ahfe1001368>

Дата першого надходження статті до видання: 20.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)