

УДК 739.2:7.038

НАЗАРКЕВИЧ ЄВГЕНІЯ

кандидат мистецтвознавства, старший викладач кафедри образотворчого мистецтва Інституту мистецтв Київського університету імені Бориса Грінченка. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5388-1452>

NAZARKEVYCH YEVHENIYA

a Ph.D. in Art Studies, a senior Lecturer at Fine Arts Department of the Institute of Arts (Borys Hrinchenko Kyiv University). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5388-1452>

Бібліографічний опис:

Назаркевич, Є. (2021) Адитивні технології та 3D-моделювання в ювелірному мистецтві. *Народна творчість та етнологія*, 2 (390), 113–122.

Nazarkevych, Ye. (2021) Additive Technologies and 3D Modelling in Jewellery Art. *Folk Art and Ethnology*, 2 (390), 113–122.

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В ЮВЕЛІРНОМУ МИСТЕЦТВІ

Анотація / Abstract

У статті розглянуто й проаналізовано потенціал інтеграції тривимірних моделей і адитивних технологій у традиційне художнє середовище ювелірного мистецтва. З'ясовано значення та особливості програм для ювелірного 3D-моделювання. Висвітлено стан розвитку тривимірного друку. Представлено опис технологічного процесу створення ювелірних виробів на 3D-принтері. Проаналізовано основні адитивні технології та їх застосування в ювелірному виробництві.

Ключові слова: 3D-моделювання, програми 3D-моделювання, 3D-друк, ювелірні вироби, адитивні технології, 3D-принтер, 3D-художник.

In this article, the authoress explores and analyzes the potential of the integration of 3D models and additive technologies into the traditional artistic medium of jewellery art. The authoress discusses the meaning and attributes of the most common 3D jewellery modelling programmes. The article sheds some light on the development of three-dimensional printing as well. There is a presentation of describing the engineering process of creating jewellery on a 3D printer, and there is an analysis of the main additive technologies, as well as their application in jewellery production.

Keywords: 3D-modelling, 3D-modelling programmes, 3D-printing, jewellery, additive technologies, 3D-printer, 3D-artist.

Виготовлення прикрас і ювелірних виробів за допомогою 3D-моделювання і адитивних технологій стає одним із пріоритет-

них напрямів, що стрімко розвиваються. Біжутерія, надрукована на 3D-принтері, іноді не поступається якістю та естетич-

ними показниками виробі, виготовленому за традиційними технологіями. За допомогою 3D-принтера можливо виготовити виріб будь-якої форми та забарвлення [6]. Ювелірне тривимірне моделювання дає змогу втілити в життя будь-яку (навіть найскладнішу та незвичайну) ідею художника. Тривимірне моделювання ювелірних виробів дозволяє створювати максимально точну копію майбутнього виробу протягом короткого відрізка часу, відповідну основним вимогам і параметрам ювелірних технологій; коригувати та вносити правки у тривимірну модель необмежену кількість разів; проектувати колекції на основі одного макета виробу без істотних тимчасових витрат; визначати точну вагу ювелірного виробу на етапі 3D-моделювання [11].

На 3D-принтері можливо надрукувати не тільки біжутерію, але й повноцінну ювелірну прикрасу з дорогоцінного металу – можливості обмежені лише моделлю принтера та коштами на виробництво. Адитивні технології дають змогу також створювати спеціальні моделі з воску чи полімерів, які застосовують для відливання готових виробів. Найчастіше в моделюванні ювелірних прикрас послуговуються саме принтерами для 3D-друку, які працюють з воском або з полімером, адже цей метод є доступнішим, уможливає виготовлення кількох варіантів та моделей виробу.

Для проектування 3D-моделі ювелірного виробу для подальшого його друку на 3D-принтері використовуються такі програми, як Blender (з доповненням JewelCraft), Rhinoceros, 3D-Max та ін. [10]. Адитивні технології в ювелірному мистецтві відкривають сучасні можливості цієї сфери. Цифрове проектування на виробництві стрімко змінюється, за ним майбутнє. Це новий етап свободи – можливість для художників, скульпторів, дизайнерів висловлювати свої ідеї в оригінальній формі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях вітчизняних і зарубіжних науковців висвітлені питання, що стосуються теорії

та практики ювелірної справи (Е. Бреполь [1]), ручного виготовлення та стилів ювелірних прикрас, художніх металів України (Р. Шмагало), художнього 3D-проекування серійних ювелірних виробів у векторних програмах (Д. Банах, Т. Бордмен, Г. Грехма, М. Джамбруно, Дж. Джонсон), моделювання з воску для ювелірів і скульпторів (Лоуренс Калінберг), ювелірного лиття (І. Халілов). Опосередковано тема 3D-моделювання розглядається в публікаціях О. Боднара, О. Бойчука, В. Даниленка, В. Мироненка. Технологічні можливості та проблеми комп'ютерної графіки досліджували Т. Басюк, Д. Калина, Д. Кожушко, Г. Чемерис [18].

Етапи виготовлення ювелірних виробів з використанням 3D-принтера, способи їх масового виробництва проаналізували Чонсу Лі та Кюн-Чхоль Ча (Jung-Soo Lee та Kyung-Chul Cha), їх дослідження продовжили М. Рубанка, Н. Остапенко та А. Рубанка [16].

Л. Гнатюк та А. Саулко [7] у своїй статті представили матеріали, які використовуються для створення скульптур, ювелірних виробів, а також для виробництва окремих об'єктів в аерокосмічній галузі. Також проаналізували перспективи доступного 3D-друку, вказуючи, що адитивні технології належать до передових розробок XXI ст., серед яких особливу роль відіграє 3D-моделювання.

М. Колосніченко, М. Винничук та ін. [2; 3; 4; 5] акцентують увагу на основних етапах проектування та виготовлення ювелірних виробів, аналізують фактори, що сприяють їх створенню.

Кюнхі Чой (К. Choi) [20] досліджує характеристики, які формують 3D-друк ювелірних виробів, оснований на положеннях фрактальної геометрії шляхом класифікації морфологічних типів 3D-друку ювелірних виробів. Він акцентує увагу на тому, що рівень 3D-друку як найбільш значимої нової технології, що швидко впроваджується в індустрію в ювелірному дизайні, значно виріс. Крім того, швидкий розвиток комп'ютерних технологій із 3D-друком привів до створення нової парадигми, названої

фрактальною геометрією, або новою формою цифрового мистецтва [21; 24; 28; 26].

Фундаментальних досліджень обмаль, переважають публікації рекламного характеру. Сьогодні важливими є узагальнюючі наукові дослідження.

Мета статті – розглянути та проаналізувати можливості використання 3D-моделювання та 3D-друку в ювелірному мистецтві й виробництві ювелірних виробів. Практичне значення дослідження полягає у прирощенні знань у галузі мистецтвознавства та в обґрунтуванні економічної ефективності щодо використання 3D-моделювання й адитивних технологій у ювелірній справі.

Коротка історія і сучасний стан тривимірного друкування. Система швидко прототипування з використанням фотополімерів, названа «адитивною технологією», була винайдена в 1981 році доктором Хідео Кодама з Нагойського індустріального дослідницького інституту (Японія). Створення моделей відбувалося накладанням шарів. У 1984 році американський дослідник та засновник компанії 3D-Systems Чарльз Халл винайшов стереолітографічний апарат (SLA від англ. Stereolithography Apparatus), завдяки чому з'явилася можливість друкувати 3D-об'єкти, моделі яких були попередньо спроектовані на комп'ютері. Така технологія дістала назву «стереолітографія» (SLA). Як матеріал у цьому пристрої використовувався рідинний полімер на основі акрилу, що під дією ультрафіолетового лазерного випромінювання миттєво застигав, набуваючи необхідної форми. У такий спосіб шар за шаром з полімерного розчину будувалася потрібна модель [27; 29; 30].

На початку 90-х років ХХ ст. виникають альтернативні технології 3D-друкування, такі як моделювання методом наплавлення (FDM), наплавлення нитки (FFF), вибіркове лазерне спікання (SLS), PolyJetting та ін. Терміни «3D-друк» та «3D-принтер» почали використовувати в 1995 році в Массачусетському технологічному інституті [27].

Після створення стереолітографічної технології (SLA) була винайдена технологія селективного лазерного спікання (англ. Selective Laser Sintering – SLS) Карлом Декардом з Техаського університету, за якою замість рідинного полімеру використовували металевий порошок. Пізніше компанія Stratasys під керівництвом Скотта Крампа розробила новішу технологію – моделювання за методом наплавлення (англ. Fused Deposition Modeling – FDM). З використанням цієї технології 3D-об'єкти створюються шляхом послідовного нанесення шарів матеріалу, через які відтворюються контури комп'ютерної моделі [27; 30]. Як матеріал в означеній технології використовується термопластик, який завантажують у принтер у вигляді спеціальних катушок ниток. Сьогодні ця технологія 3D-друкування є найпоширенішою.

Масового розвитку технологія 3D-друкування набула лише на початку 2000-х років. До середини 2010-х років стала доступною значна кількість конкуруючих технологій, з використанням яких можна здійснювати 3D-друкування [29; 30; 14].

Технологія FDM. Моделювання за методом наплавлення, або Fused Deposition Modeling (FDM), винайшов Скотт Крамп через кілька років після того, як Чарльз Халл винайшов лазерне 3D-друкування. У 1990 році Крамп заснував компанію Stratasys, яка запатентувала цю технологію під брендом FFF. Тому технологія 3D-друкування FDM ще інакше називається «Fused Filament Fabrication (FFF)».

Принцип застосування цієї технології достатньо простий. Саме тому 95 % усіх настільних 3D-принтерів використовують FDM, або FFF. Пластик, такий як PLA або ABS, у формі нитки подається в екструдер. В екструдері пластикова нитка розігрівається й переходить у рідинний стан. За допомогою механічних частин принтера «виконуються» команди з файлу G-коду, і екструдер займає потрібне положення чітко за вказаними координатами. Коли екструдер досягає

заданої позиції, пластик виходить з гарячого сопла, приклеюючись до столу принтера або до попередніх шарів. За секунди після друкування пластик твердіє, і надрукована модель стає твердою. Під час друкування з використанням цієї технології важливо стежити за правильною температурою пластику, основним принтера й повітря в приміщенні; нерівномірне охолодження деталі може призвести до деформації або втрати міцності [15].

Технологія SLA (стереолітографія). В основі 3D-друкування за методом SLA лежить вплив проєктора або лазера на рідинний фотополімер. Лазерний промінь спрямований на зону, де будуть розташовані стінки моделі. Під впливом променя рідина твердіє, після чого готові шари піднімаються над рівнем рідини. Процес повторюється доти, поки не буде надрукована вся модель [14].

Технологія SLS (вибіркове лазерне спікання). З використанням цієї технології матеріали спікаються за допомогою потужного лазера. Шар за шаром за допомогою лазера будується на поверхні порошку проєкція моделі в розрізі. Під впливом лазерного променя окремі частки матеріалу спікаються, за рахунок чого утворюються цільна модель. За допомогою такої технології можна працювати з пластмасами, керамікою, склом. З металами через лазер спікається суміш металевих порошків та спеціального клею. Після закінчення 3D-друкування з металом готову модель поміщають у піч, у якій остаточно сплавляються частки металу й випалюється з'єднувальний клей.

Ця технологія друку в десятки разів дорожча, ніж FDM, оскільки ціна комплектуючих, витратних матеріалів і принтерів набагато вища. Проте точність друкування є більшою в 4–5 разів, ніж у технології FDM [15].

Для того, щоб надрукувати 3D-об'єкт, необхідно створити його 3D-модель. Для цього призначені SD-редактори – спеціальні програмні засоби.

Моделі для 3D-друкування найчастіше зберігаються у файлах формату STL. З використанням спеціальних програм-слайсерів

(від англ. to slice – нарізати) STL-файл перетворюється на G-код. G-код (G-CODE) – це загальноприйнята мова, що застосовується для 3D-принтерів [19].

Хоча тривимірний друк часто називають «магічною технологією», насправді цей процес вимагає тривалої підготовки й подальшої обробки, необхідної для якісного друку [8; 9].

Схема адитивного технологічного процесу друкування 3D-прототипу (перетворення комп'ютерної моделі у фізичну): Запуск 3D-принтера. Увімкнення принтера. З'єднання принтера з комп'ютером. Початок процедури калібрування (визначення правильних параметрів з'єднання, підтвердження зв'язку). Перевірка всіх кінцевих датчиків, датчиків температури (термісторів) і крокових двигунів. Вирівнювання підставки для друку. Очищення і нагрівання підставки для друку (платформи друку). Завантаження нитки. Нагрів друкуючої головки (сопла) і запуск механізму екструдера. Завантаження G-коду для об'єкта, що друкується на принтері. Процес друкування на 3D-принтері. Відокремлення об'єкта від основи. Видалення підкладки, або підтримуючої опори.

3D-друк – це явище вже не так технологічне, як економічне та соціальне. 3D-друк стає найважливішим елементом нової індустріальної революції, що полягає в індивідуалізації виробництва.

3D-друк привертає дедалі більше уваги останнім часом. Галузь застосування варіюється від швидкого створення прототипів до дизайну ювелірних виробів, від домашніх трюків з друкованими малюнками до індивідуальних протезів [17]. Особливою галуззю, у якій використовуються 3D-друковані об'єкти, є ювелірне мистецтво, що дає змогу дизайнерам утілювати свої творчі задуми і створювати форми, котрі не можна створити з використанням інших технологій [25].

Останнім часом стійкими лідерами в галузі 3D-моделювання є такі програми і середовища, як Maya, 3D Studio MAX, Blender, Solid Works, Cinema 4D, ZBrush, Houdini,

Octane, Autodesk Mudbox, Quixel, AutoCAD, Lightwave, Rhino, Renderman, Strata StudioPro, Extreme 3D, Simply 3D та ін. Також значної популярності сьогодні набувають такі графічні інтегровані середовища розробки (IDE), як Unity та Unreal Engine 4, що активно використовуються в ігровій інженерії; системи Detailer, MeshPaint 3D, Media Paint та 4D Paint, які дозволяють накладати фактури на поверхні об'єктів та ін. Проте основну частину ринку програмних засобів обробки 3D-графіки займають лише три пакети: 3D Studio MAX фірми Kinetix, вільне програмне забезпечення Blender, Maya, розроблена консорціумом відомих компаній Alias, Wavefront, TDI, Rhinoceros 3D – комерційна NURBS-орієнтована програма для тривимірного моделювання, що здебільшого використовується для промислового дизайну, архітектури, ювелірного та дизайну транспортних засобів, САПР, швидкого прототипування, зворотної розробки, а також у галузі мультимедіа й графічного дизайну [16].

Нині існує чимало спеціалізованих програмних продуктів для ювелірного моделювання: RhinoGold, 3Design CAD, ArtCAM Jewel Smith, ZBrush, Blender, Solid Works, Matrix та ін. Майже кожний зі згаданих вище програмних продуктів поряд із незаперечними перевагами має свої недоліки, головним із яких є відносно висока вартість для вітчизняного користувача [12]. Стандартний набір функцій цих програм включає такі можливості: створення 3D-моделі, швидке й зручне редагування вже існуючих моделей або даних сканування (3D-сканери), можливість додати технологічні ухили, ливники, розрахувати масу виробу, величину усадки, час виготовлення. Безперечно, перевагою комп'ютерного моделювання є те, що вже на цьому початковому етапі, коли до кінцевого виробу ще далеко, можна оцінити його зовнішній вигляд, вагу, технологічність, за необхідності внести конструктивні зміни. Ці програми відрізняються за зручністю користування, застосуванням до конкретних кінцевих цілей, функціями, гнуч-

кістю й креативністю дизайну, потужністю та універсальністю, вартістю та відкритістю доступу (відповідно до вимог авторського права). Пошук оптимального вирішення цієї проблеми в ознайомленні з можливостями комп'ютерних програм, створених для роботи з тривимірною графікою та для побудови тривимірних моделей. Серед різноманіття програм 3D-моделювання складно обрати оптимальний програмний засіб. Здебільшого дизайнери не можуть дозволити собі комерційного програмного забезпечення, тому коло пошуку можна відразу звужити до безкоштовних програм. Тож розглянемо один з програмних засобів 3D-моделювання під назвою «Blender». Це безкоштовний професійний пакет [13; 22] для створення тривимірної комп'ютерної графіки, до якого входять інструменти моделювання, анімації, рендерингу, обробки відео та створення ігрових застосунків.

Серед найважливіших властивостей програми слід зазначити такі: підтримка різноманітних геометричних примітивів, універсальні вбудовані механізми рендерингу, безліч корисних інструментів анімації (інверсна кінематика, скелетна анімація, сіткова деформація, анімація за ключовими кадрами, динаміка м'яких тіл, динаміка твердих тіл), функції нелінійного редагування та комбінування відео [13].

У 1988 році Тон Розендал став співзасновником нідерландської анімаційної студії NeoGeo. Ця студія швидко стала найбільшим осередком 3D-анімації в Нідерландах. У NeoGeo Тон відповідав як за художнє керівництво, так і за внутрішню розробку програмного забезпечення. Після ретельного обговорення було вирішено, що поточний внутрішній набір інструментів 3D необхідно переписати з нуля. Це переписування почалося 1995 року й було привело до створення програмного інструмента 3D, який ми всі тепер знаємо під назвою «Blender» [23].

У 1998 році Тон заснував нову компанію під назвою «Not a Number» (скорочено

NaN) для подальшого просування й розвитку Blender. Бізнес-модель NaN засновувалася на створенні та розповсюдженні комерційних продуктів і наданні послуг, дотичних до використання Blender. У 2000 році компанія забезпечила збільшення свого фінансування кількома інвестиційними компаніями. Метою була розробка безкоштовного інструмента для створення інтерактивного 3D (мереживного) контенту й комерційних версій програмного забезпечення для розповсюдження та публікації. На жаль, через надто малу кількість продажів і довготривалий складний економічний клімат інвестори NaN вирішили закрити всі операції на початку 2002 року, що означало припинення розробки Blender [23].

У травні 2002 року Т. Розендал заснував некомерційний фонд «Blender Foundation». У липні 2002 року йому вдалося переконати інвесторів NaN – домовитися про унікальний план фінансування фонду, щоб спробувати випустити у світ Blender як програму з відкритим кодом. Кампанія «Вільний блендер» була спрямована на те, щоб зібрати 100 000 євро для цього. На загальний подив, кампанія досягла мети в 100 000 євро лише за сім коротких тижнів. У неділю, 13 жовтня 2002 року, Blender був випущений у світ відповідно до умов Стандартної громадської ліцензії GNU. З того дня розробка Blender тривала під керівництвом команди відданих своїй справі добровольців з усього світу на чолі з найпершим розробником програми Т. Розендалом [23].

На початку 2008 року стартував проєкт розробки Blender 2.5: капітальна переробка інтерфейсу користувача, визначення інструментів програмного середовища, система доступу до даних, обробка подій у програмному середовищі та система анімації. Основна мета полягала в тому, щоб заново впровадити ядро Blender, розроблене в середині 1990-х років, і привести його у відповідність до сучасних стандартів інтерфейсу та методів введення. Перша версія Blender 2.5 була представлена на

Siggraph 2009. Відтоді команда розробників онлайн зосередилася на поверненні всіх функціональних можливостей 2.4 й доопрацюванні нового дизайну за специфікаціями. Оскільки ця робота була майже завершена, у 2011 році опублікували фінальний випуск версії 2.5 [23].

У 2012 році акцент був зроблений на подальшу розробку й експорт конвеєра створення візуальних ефектів. Було розглянуто такі теми: відстеження руху, вирішення проблем з камерою, маскування, градація та гарна передача кольору. Щоденний зворотний зв'язок і взаємодія в розробці та використанні програмного забезпечення були однією найвідоміших особливостей Blender (створеного як внутрішній «ін-хауз» творчого інструмента) [23].

Завдяки пожертвам і спонсорам, Blender Foundation сьогодні має двох розробників для втілення підтримки. Ще один розробник, Т. Розендал, працює у Blender Institute, займаючись безпосередньо роботою над програмою Blender.

Від часу, коли Blender став проєктом з відкритим вихідним кодом, був значно доопрацьований інтерфейс програми – додано контекстні меню до всіх можливих функцій, а використання інструментів стало більш логічним і гнучким. Також слід зазначити подальше поліпшення користувацького інтерфейсу з введенням різноманітних кольорних схем, прозорих плаваючих елементів, новою системою перегляду дерева об'єктів та ін. При роботі з Blender можна виокремити два основні режими: об'єктний режим і режим редагування, перехід між якими здійснюється натисканням клавіші Tab. Об'єктний режим здебільшого використовується для роботи з окремими об'єктами, тоді як режим редагування – для маніпуляцій з фактичними даними об'єкта.

Наприклад, полігональна модель. В об'єктному режимі можна її переміщати, змінювати розмір і обертати модель цілком, а режим редагування використовується для роботи з окремими вершинами конкретної

моделі. Також є кілька інших режимів, таких як Vertex Paint і UV Face select [13].

Користувач повністю контролює розташування й організацію графічного інтерфейсу, що робить можливим налаштування інтерфейсу під конкретні завдання, такі як редагування відео, UV mapping та текстурування. Робочий простір програми Blender вважається однією з найбільш новаторських концепцій графічного інтерфейсу для графічних інструментів. Основні переваги програми: можливість безкоштовного використання її повної версії, постійний розвиток та оновлення (остання версія 2.82 вийшла 12 березня 2020 р.), технічна підтримка доступна майже в будь-якій точці планети, невеликий розмір інсталятора, крос-платформність (особливо актуально для навчальних закладів, що одночасно використовують операційні системи сімейства Windows та Linux), можливість створення анімації, монтаж відео, скінінг (прив'язка моделі персонажа до скелета для того, щоб під час руху скелета рухалася й сама модель), можливість роботи з хромакеєм [22; 10].

Найбільш революційною з погляду інтерфейсу і можливостей є програма Maya. Інструментарій Maya зведений у чотири групи: Animation, Modeling, Dynamic, Rendering [8].

Універсальною програмою для 3D-моделювання, яка дає змогу створювати 3D-моделі різної складності й високої точності та повною мірою адаптована під ювелірну справу [24; 19], є комерційне програмне забезпечення для тривимірного NURBS-моделювання Rhinoceros 3D – розробки Robert McNeel & Associates, United States of America.

Rhinoceros 3D – це сучасна потужна професійна система для 3D-моделювання, яка дає змогу створювати, редагувати, аналізувати, візуалізувати і перетворювати NURBS-криві, поверхні, тверді тіла, хмари точок і полігональні мережі. Слід зазначити, що під час використання цього програмного продукту немає жодних обмежень за складністю, сту-

пенем або розміром об'єктів дизайну, крім тих, які зумовлені безпосередньо використанням комп'ютерним обладнанням. До основних переваг Rhinoceros 3D слід віднести вільне моделювання будь-яких 3D-форм з використанням вбудованого потужного інтуїтивно простого набору інструментів; точність, що необхідна для розробки об'єктів дизайну (прототипування, конструювання й аналіз виробів різного призначення – від величезного літака до мініатюрних ювелірних прикрас); повну сумісність з іншими програмними продуктами для проектування, САМ, візуалізації, анімації та створення ілюстрацій; порівняно невибагливі вимоги до комп'ютерного обладнання [24].

На основі порівняльного аналізу визначено, що комерційне програмне забезпечення для тривимірного NURBS-моделювання Rhinoceros 3D є універсальною програмою для 3D-моделювання. Цей продукт має у своєму активі потужний і водночас простий та інтуїтивно-зрозумілий набір функцій, необхідних для створення 3D-моделі ювелірного виробу будь-якої складності. Формат файлу Rhinoceros (*.3dm) є зручним для обміну NURBS-геометрією. Розробники програми вперше запропонували технологію openNURBS Initiative для забезпечення трансферу просторової геометрії між різними програмами. Неоднорідний раціональний B-сплайн, NURBS (англ. Non-uniform rational B-spline) – математична форма, що застосовується в комп'ютерній графіці для генерування та надання кривих і поверхонь [22].

Художник 3D-графік має володіти технічними знаннями, значною кількістю програм. Кожен обирає собі програму відповідно до завдання. Відповідно до обраного напрямку можуть стати в нагоді знання зі скульптингу, рендерінгу, анімації тощо. І, звичайно, 3D-художник повинен створювати 3D-графіку: моделювання, скульптинг, текстурування, налаштування матеріалів і світла, рендер. Це – базові речі. У спеціальності 3D-Artist є множина розгалужень у різних галузях: художник з освітлення, художник по

ефектах, художник по текстурах, спеціаліст по твердотільному моделюванню, художник по зброї, художник по персонажах, художник ігрового оточення.

Висновки. Цифрові технології змінюють саму концепцію ювелірного виробни-

цтва, роблячи його дешевшим, точнішим, швидшим і зручнішим. У подальших дослідженнях планується розробка методичних вказівок для практичних робіт з технологій тривимірного моделювання та тривимірного друкування для майбутніх ювелірів.

Джерела та література

1. Бреполь Э. Теория и практика ювелирного дела. Санкт-Петербург : Соло, 2000. 528 с.
2. Винничук М. С., Колосніченко М. В. Стилiстичні особливості при проектуванні ювелірних виробів. *Вісник КНУТД. Серія Технічні науки*. 2017. № 4 (112). С. 174–181.
3. Винничук М. С., Колосніченко О. В., Пашкевич К. Л. Аналіз факторів гармонійного поєднання аксесуарів та ювелірних виробів у системі «костюм». *Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність : тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції (12–17 вересня 2017 р.)*. Херсон, 2017. С. 122–123.
4. Винничук М. С., Колосніченко М. В. Особливості дизайн-проектуювання ювелірних виробів. *Актуальні проблеми сучасного дизайну : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (20 квітня 2018 р.)*. Київ, 2018. Т. 1. С. 320–323.
5. Винничук М. С., Колосніченко М. В., Мусієнко В. О., Антоноженко А. Ю. Дизайн-проектуювання ювелірних виробів на основі принципів трансформації. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2016. № 6 (243). С. 138–144.
6. Врочинська Г. Українські народні жіночі прикраси XIX – початку XX століть. Київ : Родовід, 2015. 108 с.
7. Гнатюк Л. Р., Саулко А. В. Визначення особливостей 3D-друку при створенні різноманітних об'єктів дизайну. *Теорія та практика дизайну*. 2018. № 15. С. 39–48.
8. Драченко Д. О., Тесленко О. Є. Сучасне 3D-моделювання. *Центральноукраїнський національний технічний університет*. 2018. URL : http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/7891/5/ilovepdf_com-23-24.pdf (дата звернення: 18.03.2020).
9. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития / ред. Э. Канесса, К. Фонда, М. Зенаро. Международный центр теоретической физики Абсуд Салам. Триест, Италия : Изд. МТЦФ Отдел научных разработок, 2013. 192 с.
10. Лук'янова Д. Ю., Стьопкін А. В., Турка Т. В. Використання вільнопоширюваного крос-платформного редактору 3D графіки Blender в навчальному процесі. *Технології електронного навчання*. 2016. № 1. С. 3–6.
11. Савельєва О., Артемьєва І., Александрійська С. Інформаційні технології в процесі навчання дизайну ювелірних прикрас. *Геометричне моделювання та інформаційні технології*. 2019. № 1 (7). С. 63–69.
12. Сайтов В. І., Савельєва О. В., Сінько І. С., Красіля О. С. Тривимірне моделювання ювелірних виробів в системі ArtCAMJewelSmith. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. Харківський державний університет харчування та торгівлі. Харків, 2011. Вип. 28. С. 194–200.
13. Сайтов В. І. Формообразование ювелирных изделий. Одесса : Наука и техника, 2007. 155 с.
14. Соловйова О. В. Технології 3D-друку. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2020. № 97. С. 136–148.
15. Струтинська О. В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія № 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2018. 20 (27). С. 88–94.
16. Рубанка М. М., Остапенко Н. В., Рубанка А. І. Особливості застосування сучасних програм у дизайн-проектуюванні ювелірних виробів. *Art and Design*. 2019. № 4. С. 109–110.
17. Федоров М. М., Тренкіна М. В., Лютий Р. В. Сучасні способи виготовлення майстер-моделей ювелірних виробів в технологічному процесі лиття за виплавлюваними моделями. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2017. № 2 (41). С. 76–81.
18. Чемерис Г. Ю. Аналіз засобів тривимірної графіки для навчання майбутніх бакалаврів з комп'ютерних наук. *Інформаційні технології в освіті та науці : зб. наук. праць*. 2017. Вип. 1 (9). С. 283–287.
19. Chakravorty D. STL – File Format for 3D Printing – Simply Explained. All3DP World's #1 3D Printing Magazine. February 14, 2019. URL : <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing> (дата звернення: 20.03.2020).
20. Choi K. A Study on the Characteristics of 3D Printing Jewelry Design Utilizing with Fractal Geometry. *Journal of Fashion Business*. 2017. 21 (5). P. 136–150.
21. Eom S. H. A study on diverse expression in modern fashion through the principle of fractal geometry. *Journal of the Costume Culture*. 2010. 8 (4). P. 704–706.
22. Falkner M., Pourgouris E. Designing and Making Rings and Bangles. Marlborough (United Kingdom) : Crowood Press, 2017. 270 p.

23. History. Blender Foundation. Amsterdam, July 2013. URL : <https://www.blender.org/foundation/history/> (дата звернення: 01.03.2020).
24. Kim M. J. Study on jewelry design of optical pattern using the fractal formative principle (Unpublished doctoral dissertation). Gimhae (South Korea) : Kaya University, 2011.
25. Lehmann A., Ehrmann A., Finsterbusch K. Optimization of 3D printing with flexible materials / International Textile Conference. Stuttgart, Germany, 2017.
26. Maclachlan L. Phase quintuple necklace. URL : <https://lynnemaclachlan.co.uk/collections/all-jewellery/products/copy-of-phase-statement-earrings> (дата звернення: 10.09.2017).
27. Palermo E. Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method. Livescience. September 19, 2013. URL : <https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html> (дата звернення: 27.03.2020).
28. Son J. M. & Hwang I. C. Study on jewelry design applying formative principle in fractal geometry. *Journal of the Korea Society of Art & Design*. 2017. 20 (1). 193 p.
29. The 3D printing technologies. All3DP. URL : <https://www.aniwaa.com/3d-printing-technologies-and-the-3d-printing-process> (дата звернення: 02.04.2020).
30. The Types of 3D Printing Technology. 3D Printing Technology Guide. All3DP. 2020. February 7. URL : <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology>. (дата звернення: 23.03.2020).

References

1. BREPOHL, Erhardt. *The Theory and Practice of Goldsmithing*. Translated from the German by V. KUZNETSOV. St. Petersburg: Solo, 2000, 528 pp. [in Russian].
2. VYNNYCHUK, Maiya, Maryna KOLOSNIChENKO. Stylistic Features While Designing Jewellery. In: Ihor PANASIUK, ed.-in-chief, *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Technicaal Sciences Series. Kyiv2017*, no. 4 (112), pp. 174–181 [in Ukrainian].
3. VYNNYCHUK, Maiya, Olena KOLOSNIChENKO, Kalyna PASHKEVYCH. Analysis of Factors of Harmoniously Combining Accessories and Jewellery in the Suit System. In: *Abstracts of Reports of the IIIrd International Theoretical and Practical Conference «The Current State of Light and Textile Industries: Innovation, Efficiency, and Environmental Friendliness» (Kherson, September 12–17, 2017)*. Kherson: KhNTU, 2017, pp. 122–123 [in Ukrainian].
4. VYNNYCHUK, Maiya, Maryna KOLOSNIChENKO. Features of Jewellery Design. In: *Collected Materials of the International Theoretical and Practical Conference «Current Issues of Modern Designing (April 20, 2018)*. Kyiv, 2018, vol. 1, pp. 320–323 [in Ukrainian].
5. VYNNYCHUK, Maiya, Maryna KOLOSNIChENKO, Volodymyr MUSIYENKO, Anastasiya ANTONIUZHENKO. Jewellery Design Based on the Principles of Transformation. In: Mykola SKYBA, ed.-in-chief, *Herald of the Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. Khmelnytskyi, 2016, no. 6 (243), pp. 138–144 [in Ukrainian].
6. VROCHYNSKA, Hanna. *Ukrainian Folk Women's Jewellery of the 19th – Early 20th Centuries*. Kyiv: Genealogy, 2015, 108 pp. [in Ukrainian].
7. HNATIUK, Liliya, Aliona SAULKO. Determining the 3D Printing Features while Creating a Variety of Design Objects. In: Iryna KUZNETSOVA, ed.-in-chief, *Theory and Practice of Design: Collected Scientific Papers*. National Aviation University. Kyiv: NAU Press, 2018, iss. 15, pp. 39–48 [in Ukrainian].
8. DRACHENKO, D., O. TESLENKO. Modern 3D Modelling. In: *Prospective Trends of Developing Modern Information Systems and Technologies: Collected Abstracts of Reports at the All-Ukrainian Scientific and Practical Student Conference in Kropyvnytskyi on April 18, 2018*. Kropyvnytskyi: CUNTU, 2018, pp. 23–24. In: *Central Ukrainian National Technical University*. 2018 [online]. Available from: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/7891/5/ilovepdf_com-23-24.pdf (last retrieved: 18.03.2020) [in Ukrainian].
9. CANESSA, Enrique, Carlo FONDA, Marco ZENNARO (eds.). *Low-Cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development*. ICTP – The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics. Trieste, Italy: AS ICTP – Science Dissemination Unit Press, 2013, 192 pp. [in Russian].
10. LUKYANOVA, Daryna, Andriy STIOPKIN, Tetiana TURKA. Using Blender, a Free and Open-Source Cross-Platform 3D Computer Graphics Software Toolset, in the Learning Process. In: *TeXnology of E-Learning*, 2016, no. 1, pp. 3–6 [in Ukrainian].
11. SAVIELYEVA, Olena, Inna ARTEMYEVA, Stanislava ALEKSANDRIYSKA. Information Technologies in the Process of Learning Jewellery Design. Vasyl Sukhomlynskyi Mykolayiv National University. In: Serhiy USTENKO, ed.-in-chief, *Geometric Modelling and Information Technologies: A Scholarly Journal*. Mykolayiv: VSMNU Press, 2019, April, no. 1 (7), pp. 63–69 [in Ukrainian].
12. SAITOV, V., Olena SAVIELYEVA, Inna SINKO, O. KRASILIA. Three-Dimensional Modelling of Jewellery in the ArtCAM JewelSmith System. In: *Geometric Modelling and Computer Simulation. Proceedings of the Kharkiv State University of Food Technology and Trade..Kharkiv: KSUFTT*, 2011, no. 28, pp. 194–200 [in Ukrainian].
13. SAITOV, V. *The Formation of Jewellery Olives*. Odesa: Science and Technology, 2007, 155 pp. [in Russian].
14. SOLOVYOVA, Olena. 3D Printing Technologies. In: Volodymyr VANIN, ed.-in-chief, *Applied Geometry and Engineering Graphics: An Interdepartmental Scientific and Technical Collection*. Kyiv National University of

Construction and Architecture, Ukrainian Association of Applied Geometry. Kyiv: KNUCA, 2020, iss. 97, pp. 36–148 [in Ukrainian].

15. STRUTYNSKA, Oksana. Modern State and Prospects of Development of the 3D Modelling and 3D Printing Technologies. In: Viktor ANDRIUSHCHENKO (editorial board's chair). *Scientific Journal of the Mykhaylo Drahomanov National Pedagogical University. Series 2: Computer-Based Learning Systems: Collected Scientific Papers*. Kyiv, 2018, no. 20 (27), pp. 88–94 [in Ukrainian].

16. RUBANKA, Mykola, Nataliya OSTAPENKO, Alla RUBANKA. Features of Applying Modern Programmes in Jewellery Design. In: Ivan HRYSHCHENKO, ed.-in-chief, *Art and Design: A Scholarly Journal*. Kyiv National University of Technologies and Design. Kyiv: KNUVD, 2019, no. 4, pp. 109–118 [in Ukrainian].

17. FEDOROV, Mykola, M, TRENKINA, Rostyslav LIUTYI. Modern Methods of Making Jewellery Reference Models in the Casting Technological Process after Smelting Patterns. In: Viktor KOVALIOV, ed.-in-chief, *Herald of the Donbas State Engineering Academy: Collected Scientific Papers*. Kramatorsk, 2017, no. 2 (41), pp. 76–81 [in Ukrainian].

18. CHERMERY, Hanna. Analysing the Tools of 3D Graphic Arts for Teaching Future Computer Science Bachelors. In: Viacheslav OSADCHYI, ed.-in-chief, *Information Technologies in Education and Science: Collected Scientific Papers*. Melitopol: Bohdan Khmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University, 2017, vol. 1, iss. 9, pp. 283–287 [in Ukrainian].

19. CHAKRAVORTY, Dibya. Standard Tessellation Language STL File Format (3D Printing) – Simply Explained. *All3DP World's №1 3D Printing Magazine*. February 14, 2019 [online]. Available from: <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing> (last retrieved: 20.03.2020) [in English].

20. CHOI, Kyunghee. A Study on the Characteristics of 3D Printing Jewelry Design Utilizing with Fractal Geometry. In: *Journal of Fashion Business*. The Korean Society of Fashion Business. 2017, vol. 21, iss. 5, pp. 136–150 [in Korean].

21. EOM So Hee. A Study on Diverse Expression in Modern Fashion through the Principle of Fractal Geometry. In: *he Research Journal of the Costume Culture*. The Costume Culture Association. 2010, vol. 18, iss. 4, pp. 703–716 [in Korean].

22. FALKNER, Miranda, Evangelos POURGOURIS. *Designing and Making Rings and Bangles*. Marlborough (United Kingdom): Crowood Press, 2017, 270 pp. [in English].

23. ROOSEDAAL, Ton. *History. Blender Foundation*. In: *Blender.org*. Amsterdam, July 2013 [online]. Available from: <https://www.blender.org/foundation/history/> (last retrieved: 01.03.2020) [in English].

24. KIM, MinJung. *Study on Jewelry Design of Optical Pattern Using the Fractal Formative Principle* (Unpublished Doctoral Dissertation). Gimhae (South Korea): Kaya University, 2011 [in Korean].

25. LEHMANN, Anja, Andrea EHRMANN, Karin FINSTERBUSCH. Optimization of 3D Printing with Flexible Materials. In: Sabine KELLER, ed., *Proceedings of the Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference, Stuttgart (Germany), November 30 – December 1, 2017*. Denkendorf: Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf [DITF], 2017 [in English].

26. McLACHLAN, Lynne. *Phase Quintuple Neck-piece* [online]. Available from: <https://lynnemacchlan.co.uk/collections/all-jewellery/products/copy-of-phase-statement-earrings> (last retrieved: 10.09.2017) [in English].

27. PALERMO, Elizabeth. Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method. In: Jeanna BRYNER, ed.-in-chief, *Live Science*. September 19, 2013 [online]. Available from: <https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html> (last retrieved: 27.03.2020) [in English].

28. SON, Ji min, & HWANG, In chul. Study on Jewelry Design Applying Formative Principle in Fractal Geometry. In: *Journal of the Korea Society of Art & Design*. Korea Society of Art & Design. 2017, vol. 20, iss. 1, pp. 187–204 [in Korean].

29. LANSARD, Martin. Categories of 3D Printing Technologies. *ANIWAA*. February 27, 2020 [online]. Available from: <https://www.aniwaa.com/3d-printing-technologies-and-the-3d-printing-process> (last retrieved: 02.04.2020) [in English].

30. 3D Printing Technology Guide. The Types of 3D Printing Technology. *All3DP World's №1 3D Printing Magazine*. February 7, 2020 [online]. Available from: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology> (last retrieved: 23.03.2020) [in English].