УДК 666.1:004.94

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ФОРМОТВОРЕННЯ ХУДОЖНЬОГО СКЛА З ВИКОРИСТАННЯМ 3D-ДРУКУ (на прикладі ОП «Художнє скло» ЛНАМ)

Роксолана ПАТИК – кандидат мистецтвознавства, професор кафедри менеджменту мистецтва, Львівська національна академія мистецтв, м. Львів
https://orcid.org/0000-0002-1520-1185
https://doi.org/10.35619/ucpmk.51.1025
shfran.r@gmail.com

Михайло БОКОТЕЙ – кандидат мистецтвознавства, доцент, член-кореспондент НАМ України, завідувач кафедри художнього скла, Львівська національна академія мистецтв, м. Львів
https://orcid.org/0000-0002-1520-1185
bokotey@lnam.edu.ua

Михайло ШАФРАН – викладач кафедри художнього скла, Львівська національна академія мистецтв, м. Львів
https://orcid.org/0009-0000-4526-2504
mshafran2025@gmail.com

Досліджено сучасні інноваційні методи формотворення художнього скла із застосуванням технологій 3D-друку. Простежено трансформацію традиційних технік скловиробництва у взаємодії з адитивними підходами, що дозволяють розширити можливості художньої мови скла. Проаналізовано технологічні процеси застосування 3D-принтерів для виготовлення мистецьких скляних об'єктів: друк розплавленим склом, друк скляними порошками та застосування полімерно-шаблонних технологій для подальшого використання в техніці проливання. Наведено приклади художніх практик, у яких цифрові методи стали інструментом нової естетики й морфогенезу. Визначено перспективи впровадження адитивних технологій у сферу художнього скла, їхній вплив на формотворення, авторську свободу та взаємодію з матеріалом.

Ключові слова: художнє скло, 3D-друк, адитивні технології, формоутворення, дизайн, цифрове моделювання.

Постановка проблеми. У XXI ст. художнє скло переживає одну з найглибших технологічних та концептуальних трансформацій за всю історію розвитку цього матеріалу. Протягом тисячоліть формотворення скла ґрунтувалося на ремісничих, переважно мануальних техніках гутництва та холодної обробки, що формували унікальну матеріальну культуру в різних країнах, де скляне ремесло посідало важливе місце. Водночас сучасна доба цифровізації створила умови для появи інструментів, що радикально розширюють мовні, технологічні та естетичні можливості художнього скла. Серед них не останню роль відіграють адитивні технології та, зокрема, 3D-друк, що дозволяє генерувати форми й структури, неможливі для традиційних способів виготовлення.

Мета статті – комплексний аналіз інноваційних методів формотворення з застосуванням технологій 3D-друку та їхній вплив на розвиток сучасних мистецьких практик для подальшого використання в освітньому процесі на кафедрі художнього скла Львівської національної академії мистецтв зокрема.

Актуальність теми зумовлена тим, що адитивні процеси у роботі зі склом перебувають на стадії активного впровадження: вони трансформують традиційні техніки, утворюють нові художні підходи й сприяють появі нового типу естетики – цифрової фактури. У світовому дизайні матеріалів 3D-друк стає не лише технологічною інновацією, а й основою для формування нових концепцій авторства, морфології та взаємодії між художником, матеріалом і цифровим алгоритмом.

Серед ключових *завдань дослідження*: охарактеризувати сучасний стан технологій адитивного формоутворення скла, проаналізувати ключові технологічні підходи 3D-друку та їхній вплив на морфологію та естетику скляних об'єктів, визначити тенденції розвитку цифрових практик у художньому склі, оцінити трансформацію авторського методу в умовах гібридного, цифрово-декоративного виробництва.

У статті вперше систематизовано три ключові методи 3D-друку скла: друк розплавом, друк порошками, використання полімерно-шаблонних технологій при литві; запропоновано поняття «цифрова фактура» як нова художня ознака морфогенезу, що виникає внаслідок адитивного шарового нанесення; обґрунтовано вплив алгоритмічного моделювання та AI-технологій на трансформацію авторського методу; визначено модель гібридного виробництва скла, що поєднує ремісничі та цифрові процеси.

Дане дослідження має й *практичне значення*: матеріал може бути інтегрований у навчальні програми з художнього скла, цифрового моделювання, 3D-технологій та параметричного дизайну;

© Патик Р., Бокотей М., Шафран М., 2025 р.
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

запропоновані підходи дозволяють оптимізувати виконання об'єктів авторського скла та продукцію малотиражних виробів; теоретичні рекомендації можуть слугувати основою для розробки високотемпературних 3D-принтерів для скла; у сфері мистецьких практик результати дослідження розширюють діапазон прийомів формотворення та експериментальної роботи з матеріалом.

Проблематика адитивного формоутворення скла активно розвивається у світовій науковій спільноті з середини 2010-х років.

Одними з ключових *наукових публікацій, що стосуються теми дослідження*, є статті лабораторії MIT Mediated Matter Group [14], яка започаткувала розробку технології G3DP – першої системи 3D-друку розплавленим склом. Дослідники підкреслюють, що адитивні методи дозволяють отримувати морфології, недоступні для традиційних ремісничих технік. У подальших публікаціях Klein та співавтори акцентували увагу на фізичних параметрах скла під час екструзії та охолодження, зазначаючи: «Контроль в'язкості та теплових градієнтів стає основним інструментом проєктування в робочих процесах друку з використанням скломаси» [12; 14].

На європейському рівні значний внесок зроблено групою Vrije Universiteit Brussel (L. Coppens, T. Van der Straeten). Їхні дослідження продемонстрували ефективність друку зі скляного порошку з подальшим спіканням. Дослідники підкреслюють, що «Друк на основі склопорошків розширює можливості дизайнера в плані контролю прозорості, фактури та хроматичних властивостей» [14]

Важливу роль відіграють також праці американських інженерів матеріалознавства D. Morse, A. Sharma, які аналізують поведінку скломас у процесах адитивного виробництва та вказують на можливість інтеграції штучного інтелекту в системи формотворення [15]

У контексті художніх практик слід відзначити роботи Art Glass Studio (США), Studio Michal Švarc (Чехія), Digital Matter Studio (Японія), у яких 3D-друк використовується як основа для створення нових естетичних концепцій та авторських формотворчих стратегій. Для отримання даних про використання засобів тривимірного проєктування та моделювання при виконанні авторських творчих робіт із художнього скла використано як джерело офіційні сайти Музею скла в Ебельтофті [9] та авторки одної з виставок у музеї, німецької художниці Дженні Рітценгоф [11].

В українському мистецтвознавчому дискурсі проблематика інновацій у художньому склі розглядається менш системно, зростає інтерес до цифрових методів. Одним із провідних джерел у галузі художнього скла є праця М. Бокотея «Студійне скло в Україні» [1], присвячена дослідженню феномена студійного скла в Україні: історії його розвитку, художніх практик, технологій виготовлення та соціокультурного контексту. Утім, процес виробництва художнього скла не припиняється, як і його наукове осмислення.

Виклад основного матеріалу. Формотворення скловиробів традиційно базувалося на синтезі ремісничої майстерності та художнього бачення. Упродовж тисячоліть техніка видування гутним способом залишалася домінантною, визначаючи морфологію та типологію декоративних і ужиткових скляних об'єктів у побуті та середовищі. У другій половині XX ст. художнє скло як вид декоративного мистецтва пройшло значну трансформацію та розвивалося в ключі міжнародного руху студійного скла. Виникли авторські школи та експериментальні майстерні, з'явилися нові технології декорування та формування, а з ними й індустрія підприємств, орієнтованих на індивідуальних митців і їх майстерні-студії, освітні заклади та музейні інституції.

Поява цифрових технологій наприкінці XX – початку XXI століття призвела до запровадження параметричного дизайну, CNC-обробки, лазерного різання та гравірування, що поступово змінює парадигму художнього проєктування та виробництва. Особливо революційним явищем стали адитивні технології, що формують нову мову морфогенезу, де алгоритм стає співтворцем нарівні з художником.

Одним із найбільш інноваційних напрямів у сфері адитивного формоутворення скла є 3D-друк розплавленою скломасою (Molten Glass Printing), що здійснюється при температурах 1000–1100 °C. Ця технологія стала можливою завдяки міждисциплінарним розробкам у межах проєктів G3DP та G3DP2, створених у лабораторіях MIT Media Lab та MIT Glass Lab. Поєднання інженерних, матеріалознавчих та художніх підходів дало змогу сформувати нову методологію виробництва скляних об'єктів, яка принципово відрізняється від традиційного виконання гутними техніками чи способом термічного формування.

Технологічний принцип роботи базується на екструзії розплавленої скломаси через високотемпературне сопло, виготовлене зі спеціальних керамічних або графітових композитів. Скло перебуває у верхній термокамері, де підтримується стабільна температура плавлення, після чого під дією сили тяжіння або контрольованого тиску подається на нижню платформу, де відбувається шарове нарощування структури. Параметри кожного шару, включно з товщиною, швидкістю подачі та траєкторією руху, визначаються заздалегідь створеною цифровою моделлю.

Процес формоутворення вимагає надзвичайно точного контролю термодинамічних параметрів.

Нерівномірне охолодження може спричинити тріщини або внутрішні напруження, тому система передбачає модуль гомогенізації температури та поступове охолодження, що є аналогом традиційного відпалу у скловиробництві.

Технологія 3D-друку розплавленим склом забезпечує нові художні можливості. Алгоритмічні моделі дозволяють продукувати органічні, біонічні та фрактальні морфології. У проєкті G3DP2 були успішно надруковані архітектурні елементи, зокрема прозорі панелі та світильникові конструкції заввишки понад 1 м. Шарова морфологія створює унікальну цифрову фактуру, що поєднує матеріальність скла та алгоритмічну лінійність шару, а варіативність товщини та ритміки шарів дозволяє формувати складні оптичні ефекти та світлотіньові композиції, застосовні у дизайні освітлення та архітектури.

Попри свою революційність, технологія має суттєві обмеження. До них належать: складність контролю охолодження та внутрішніх напружень, обмежена палітра кольорів, висока вартість обладнання та енергоємність процесу, а також матеріалознавчі ризики, пов'язані з корозією сопел і вимогами до чистоти скломаси. Безперечно, дана технологія – новий етап розвитку художнього та архітектурного скла, що відкриває широку платформу для поєднання цифрового моделювання та матеріальної пластики, створюючи нові перспективи для експериментального дизайну. Очевидно, що на цьому етапі застосування технології для виконання авторських робіт залишається малодоступним з огляду на надвисоку вартість, все ще недосконалість технологічного процесу та існування поодиноких прототипів обладнання.

Наступний метод тривимірного друку скляними порошками (frit-based glass 3D printing) ґрунтується на пошаровому нанесенні тонких шарів склопорошків – дрібнодисперсної подрібненої скломаси, яка може відрізнятися за складом, кольором та фракцією. На кожному шарі відбувається локальне зв'язування матеріалу за допомогою лазерного променя, інфрачервоного нагріву або тимчасових полімерних сполук. Після завершення друку об'єкт піддається технологічному циклу термічної обробки, який включає сушіння, дегазацію та спікання в електричних печах.

Технологія була розвинена у дослідницьких центрах Європи та США, зокрема в Університеті Баухауз у Веймарі (Німеччина), Університеті Вашингтона (США) та низці промислових лабораторій, що працюють із порошковою керамікою та склом. На відміну від попередньої, технологія вирізняється універсальністю й перспективністю для художнього та проєктного застосування. Зокрема, художні переваги методу включають:

- багатство кольорових рішень: склопорошки можуть бути використані в одному об'єкті в різних кольорах, що дозволяє працювати з широкою палітрою, недоступною для високотемпературного друку;
- напівпрозорі та градієнтні структури: контроль товщини шару та складу порошку дозволяє отримувати плавні переходи світлопроникності й кольору;
- текстурні та мікроструктурні ефекти: різні фракції порошку формують поверхні з оптичними переливами, що важливо для декоративних та авторських об'єктів;
- розширена свобода формотворення: метод дозволяє створювати геометрично складні та делікатні форми, недосяжні традиційними техніками декорування та обробки скла.

Поєднання технологічної гнучкості та контрольованої матеріальності робить цей метод актуальним і перспективним для студійного скла, авторських інсталяцій, прототипування, ювелірних виробів тощо. Водночас залишається складність широкого застосування технології з аналогічних причин як і в попередньому запропонованому способі тривимірного друку. Слід визначити й певні технічні обмеження та виклики при виконанні авторських робіт чи прототипування:

- усадка та деформації форми: спікання склопорошків призводить до зменшення об'єму та можливих викривлень, що потребує високої точності моделювання;
- повільний виробничий цикл: багатоступенева термообробка значно збільшує час виготовлення об'єкта;
- складна температурна крива: для уникнення тріщин необхідний контрольований, повільний нагрів та охолодження;
- ризик залишкових пор: неповне спікання або нерівномірне зв'язування може залишати дрібні порожнини, що впливає на оптичні властивості.

Полімерно-шаблонні технології є одним із найбільш поширених і адаптивних напрямів застосування цифрового виробництва у художньому склі. На відміну від високотемпературних методів формування розплаву чи порошкового 3D-друку, цей підхід використовує тривимірний друк як інструмент створення ливарних шаблонів, а не як кінцеву технологію виробництва скляного об'єкта.

Серед переваг методу – створення герметичних форм складної конфігурації: PLA – або фотополімерні шаблони дозволяють формувати внутрішні порожнини, канали та мікродеталі, недосяжні вручну; поєднання точності цифрового моделювання та матеріальної глибини литого скла: параметричні форми зберігають точність алгоритмічної геометрії, водночас демонструючи

характерну оптичність литого скла; доступність обладнання та сумісність із традиційними технологіями: FDM-принтери є дешевими та широко застосовуються у навчальному процесі; форми легко інтегруються у класичні методи литва з подальшою холодною обробкою.

У навчальному процесі ЛНАМ полімерно-шаблонне лиття стало ключовим інструментом модернізації освітнього середовища на декількох кафедрах. Студенти використовують програмне моделювання (Rhino, Blender, Fusion 360, Grasshopper) для створення параметричних форм, що виходять за межі традиційної пластики. Цей метод дозволяє експериментувати зі складною просторовою геометрією, багатошаровими структурами та органічними морфогенетичними поверхнями. В результаті цифрові моделі трансформуються у матеріальні скляні об'єкти, поєднуючи точність алгоритмічної форми та унікальні оптичні властивості литого скла, що значно розширює художньо-образні можливості.

У художніх студіях та освітніх програмах, зокрема на кафедрі художнього скла Львівської національної академії мистецтв, застосовуються два основні алгоритми роботи з FDM- та SLA-принтерами:

- друк позитивної цифрової моделі виробу, з якої згодом відливається гіпсова форма;
- друк ливарної форми (негативу), що відформовується в гіпсі чи більш тривкому матеріалі для подальшого заливання скломаси.

Після друку полімерний елемент піддається випаленню: FDM-пластики (PLA, ABS) або фотополімери (SLA) вигорають у печі при контрольованій температурі, утворюючи порожнину. На фінальному етапі у форму заливається розігріта скломаса.

Ознайомлення слухачів освітньої програми художнє скло з техніками тривимірного друку розпочинається в рамках дисципліни «комп'ютерне проєктування» з третього семестру. Після вивчення можливостей комп'ютерного проєктування студенти можуть застосовувати здобуті знання на практиці в рамках дисципліни «художнє скло» в межах завдань із проєктування анімалістичної пластики, скляних прикрас чи поєднання двох форм. Оскільки підготовка слухачів освітньої програми передбачає інтеграцію базових професійних освітніх компонент, тривимірне проєктування та друк може застосовуватися студентами також при виконанні завдань з дисципліни «скульптура». Отримані практичні навики можуть бути використані в перспективі навчання та подальшої індивідуальної мистецької діяльності.

У світовій студійній практиці застосування адитивних технологій поки не набуло широкої популярності з огляду на технологічні обмеження та доступність. Водночас у новітній історії студійного скла помітні декілька проєктів, де автори охоче інтегрують технології 3D друку в авторських творах. У 2018 р. Музей скла в Ебельтофті презентував концептуальний проєкт німецької мисткині Дж. Рітценгоф (Jenny Ritzenhoff) під назвою «Реконструкція». Дно продутого гутного об'єкта нерегулярної форми художниця піддавала шліфуванню, фіксуючи на папері відбиток у місці шліфу кожних знятих два міліметри. Наступним кроком відбитки були відскановані, змодельовані у тривимірний об'єкт висотою декілька міліметрів, який згодом надрукували на тривимірному принтері. З виконаних елементів знято гіпсові форми, в яких способом термічної обробки з використанням скляної кольорової крихти виготовлені фрагменти іншої композиції. До речі, при доступності технології друку склопорошками, цей метод значно оптимізував би подальше виконання, повністю досягнувши поставленої авторкою мети та бажаного візуального результату. У серії подібних проєктів, виконаних упродовж 2017-2020 рр., мисткиня розкрила складність не лише технологічного процесу виконання художніх об'єктів зі скла, а й додаткового використання сучасних адитивних технологій. Увесь цикл слугував переродженню первинного твору в цілком іншу за формою та змістом композицію, при цьому найважливіший акцент ставився на процесі, а не результаті [9].

Запровадження 3D-друку в художні практики роботи зі склом трансформує традиційні принципи формотворення, відкриваючи можливість створення об'єктів які формуються за логікою природних процесів і математичних моделей. Параметричний дизайн, алгоритмічне моделювання та методи цифрового морфогенезу забезпечують художнику новий інструментарій, де форма народжується не лише як результат інтуїтивної пластики, а як розвиток заданих правил, параметрів і взаємодій.

Ключовими елементами цієї нової формотворчої парадигми можуть стати біонічні структури, які наслідують закономірності росту рослин, руху флюїдів або мікроскопічних організмів; топологічні сітки, які задають складні каркасні структури, здатні витримувати деформації та створювати ефектні світлопроникні поверхні; ретикулярні поверхні, сформовані як варіації мінімальних поверхонь, що поєднують легкість структури й оптичну виразність; ростові моделі та фрактальні геометрії, що дозволяють створювати форми з потенційно нескінченним масштабуванням та повторюваністю модулів.

Застосування цих моделей породжує новий тип пластичності, принципово недосяжний у традиційних техніках термічного формування або ручному моделюванні форми. Адитивні технології дозволяють точно відтворювати складні формати, зокрема внутрішні порожнини, багатошарові структури, органічні контури та нерегулярні мереживні оболонки, які в умовах гарячого формування були

би неможливими або економічно необґрунтованими. Таким чином, 3D-друк стає не лише технічним засобом, а повноцінною художньою мовою, в якій морфогенетичні процеси – ріст, розгалуження, згущення, рекурсія й варіації параметрів – формують нову образну систему сучасного художнього скла.

Однією з найбільш упізнаваних характеристик адитивних технологій у контексті художнього скла є шарова структура, що виникає під час поетапного нашарування матеріалу. На відміну від традиційної гутної техніки чи литва, де поверхня прагне до бездоганної однорідності, цифрові методи формотворення створюють фактуру, яка зчитується як свідчення технологічного процесу. Ця «цифрова фактура» перестає бути технічним недоліком або побічним ефектом і перетворюється на важливий елемент художнього висловлювання.

Естетика цифрової фактури поєднує в собі декілька візуальних і концептуальних вимірів:

- Техногенність – коли видима шаровість фіксує механічний аспект створення об'єкта, нагадуючи про машинний ритм, цифровий алгоритм і штучність процесу. Скло постає як результат діалогу людини з технологією, де машина лишає власний «почерк».

– Геометрична логіка. Адитивні структури часто мають впорядкований ритм, модульність і математичну повторюваність. Це створює специфічну орнаментальність, що виникає не з художньої інтуїції, а з точного прорахунку.

– Природна плинність розплаву. У техніках друку розплавленим склом шаровість взаємодіє з плинністю матеріалу: легкі деформації, мікроребра та хвилеподібні переходи на поверхні відтворюють природні процеси охолодження та гравітаційного стікання. Так виникає ефект «живої механіки», коли природне й штучне переплітаються.

У результаті формується новий код ідентичності сучасного художнього скла – код, який відображає гібридність матеріальності, де цифрова логіка поєднується з фізичною природою матеріалу. Ця фактура не маскується, а навпаки – підкреслюється, виводиться на перший план і виступає одним із ключових маркерів адитивної естетики.

Гібридні методи формоутворення, які поєднують традиційні ремісничі техніки з цифровими адитивними процесами, дедалі частіше з'являються в сучасній художній практиці, зокрема й студійному склі. Використання 3D-друку стає не самостійним кінцевим методом, а частиною комплексного творення об'єкта, де кожна технологія вносить унікальні властивості у форму, фактуру та світлову взаємодію матеріалу.

До можливих сфер застосування гібридних практик належать наступні техніки обробки художнього скла:

- гута: інтеграція елементів видутого скла з цифрово змодельованими формами дозволяє формувати об'єкти зі складними параметричними структурами;

- термічне формування (спікання, прогинання, проливання): застосування форм з використанням надрукованих шаблонів, у яких досягнуто якостей, недоступних для виконання вручну;

- застосування техніки холодної обробки можливе при модифікації та довершенні об'єктів, створених 3D-друком;

- лазерна мікрографіка та гравірування – цифрові технології дозволяють додавати на поверхню дрібні, детально пророблені орнаментальні та оптичні ефекти, що неможливо відтворити вручну, а також інтегрувати текстури або візуальні коди, що реагують на світло;

- інтерактивні світлові технології – інтеграція світлодіодів, оптичних елементів та фотонних систем дозволяє створювати об'єкти, які змінюють вигляд залежно від кута огляду, освітлення або взаємодії з глядачем.

Синтез цих методів формує новий художній простір, де поєднуються оптика, структура, світло та форма. Гібридні практики розширюють художню мову скла, дозволяють створювати інтерактивні інсталяції та експериментальні артформи, які одночасно залишаються індивідуальними і технічно високоякісними. Такий підхід підкреслює комплементарність традиційних і цифрових методів, де технологія не замінює ремесло, а слугує його еволюції, сприяючи розвитку нових естетичних кодів та формотворчих стратегій у сучасному скловиробництві.

Використання 3D-друку відкриває можливості для співпраці між художниками, інженерами, матеріалознавцями та програмістами. Такий підхід стимулює розвиток нових методологій проєктування та створення інтерактивних або функціональних об'єктів, міждисциплінарність і синтез знань. Адитивні технології дозволяють інтегрувати параметричне моделювання, генеративні алгоритми та AI у процес формоутворення. Це відкриває нові шляхи для експериментування з формою, структурою та поверхневою фактурою, розширюючи межі художньої свободи та творчого потенціалу. Таким чином, 3D-друк у художньому склі виступає не лише технологічним інструментом, а й платформою для розвитку нових естетичних стратегій, морфологічних досліджень та інноваційних художніх практик.

Проте слід згадати і обмеження щодо використання 3D-друку. Незважаючи на численні переваги, застосування адитивних технологій у сфері художнього скла має ряд обмежень, які впливають на технологічний та художній процес. Перш за все це пов'язано з технологічними складнощами. Процеси 3D-друку, особливо друку розплавленим склом, потребують високого рівня інженерної підготовки та контролю параметрів. Важливими є управління температурою, швидкістю подачі матеріалу, охолодженням та взаємодією шарів, що вимагає спеціалізованого обладнання та високої кваліфікації оператора.

Наступним викликом є висока собівартість, тривалість виробничого циклу, ризики деформації та внутрішніх напружень. Розміри робочої платформи принтера та параметри печі визначають максимальні розміри виробів. Крім того, через фізичні властивості скла кількість доступних кольорів обмежена, що може зменшувати художню варіативність. Використання високотемпературних печей, спеціалізованих принтерів та матеріалів робить процес виготовлення надзвичайно дорогим і у випадку виконання комерційних об'єктів – нерентабельним, тож адитивні методи складно масштабувати для промислового чи малотиражного виробництва.

Перспективи розвитку адитивного формоутворення художнього скла лежать на перетині матеріалознавства, цифрового моделювання та архітектурного дизайну. Поєднання цих напрямів відкриває нові можливості для художніх експериментів, гібридних практик та створення унікальних об'єктів мистецтва, недосяжних традиційними методами.

Висновки. Адитивні технології долучаються до ключових чинників трансформації художнього скла у XXI столітті. 3D-друк відкриває нові технологічні можливості, таким чином впливаючи на появу іншої естетики, формування відмінних від прийнятих художніх якостей. Водночас цифрові технології доповнюють методи декоративного мистецтва, утворюючи гібридну практику, де поєднуються ручна майстерність і алгоритмічна точність.

Попри всі обмеження та недосконалості 3D-друк залишається значущим інструментом для художніх експериментів, індивідуальних проєктів та інноваційних освітніх програм, відкриваючи нові горизонти для розвитку сучасного студійного скла. Актуальний стан адитивних технологій у сфері художнього скла демонструє їхній значний потенціал для трансформації як матеріальної, так і художньої складової. Основні напрями розвитку включають матеріалознавчі інновації, інтеграцію штучного інтелекту у процес моделювання та застосування у сфері архітектури та дизайну.

До найактуальніших викликів, що стоять перед групою забезпечення освітньої програми художнє скло Львівської національної академії мистецтв належить інтеграція цифрового контенту в програмне наповнення професійних дисциплін. Це відкриє нові можливості для слухачів програми, сприятиме розумінню ними нової естетики та запроваджувати актуальні технологічні стандарти у сфері мистецтва.

Список використаної літератури

1. Бокотей М. А. Студійне скло в Україні. Київ : ArtHuss, 2025. 256 с.
2. Бокотей М. Постстудійні тенденції у світовому художньому склі: роль інституційного впливу. *Вісник Львів. нац. акад. мистецтв*, 2023. Вип. № 51. С. 24-32. DOI: 10.37131/2524-0943-2023-51-3
3. Чегусова З. Професійне декоративне мистецтво України доби глобалізації: монографія. Київ : ІМФЕ ім. М. Т. Рильського НАН України, 2023. 556 с.
4. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / ed. by I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. New York : Springer, 2021. 650 p.
5. Bokotei M., Honcharuk O., Honcharuk V., Patyk R. International blown glass symposiums in Lviv: influence level in Ukrainian decorative art on the edge of centuries. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. Vol. 24. Issue 8. 2020. P. 11367–11384. https://doi.org/10.37200/ijpr/v24i8/pr281115.
6. Bokotei M. Summarizing Six Decades of International Studio Movement: Future Directions of Contemporary Glass Art. *Зб. наук. пр. ΛΌГOΣ,* 2021. https://doi.org/10.36074/logos-14.05.2021.v. 2.48.
7. Bokotei M. Conceptual Trends in Contemporary Glass Art: *Summarizing the Studio Movement. Грааль науки*, 2021. (4). P. 656-657. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.05.2021.123
8. DG15: 40 Years of Contemporary Glass in Denmark: кат. вист. Glassmuseet Ebeltoft, 2015. 132 p.
9. Glassmuseet Ebeltoft : офіційна сторінка. URL: glasmuseet.dk/? lang=en (дата звернення: 22.08.2025).
10. Houksjaer N. Glassified. 25 Years with Contemporary Glass. Glassmuseet Ebeltoft, 2015. 166 p.
11. Jenny Ritzenhoff : офіційна сторінка. URL: https://www.jenny-ritzenhoff.de (дата звернення: 20.08.2025).
12. MIT Media Lab. G3DP Project Report. Cambridge : MIT Press, 2017. 54 p.
13. Mussi A. Contemporary Glass Art and Digital Fabrication. London : Bloomsbury, 2019. 224 p.
14. Oxman, N. Material Ecology. Cambridge : MIT Press, 2020. 312 p.
15. Young Glass : кат. вист. Glassmuseet Ebeltoft, 2017. 152 p.

References

1. Bokotei M. A. Studiine sklo v Ukraini. Kyiv : ArtHuss, 2025. 256 s.

2. Bokotei M. Poststudiini tendentsii u svitovomu khudozhnomu skli: rol instytutsiinoho vplyvu. Visnyk Lviv. nats. akad. mystetstv, 2023. Vyp. № 51. S. 24-32. DOI: 10.37131/2524-0943-2023-51-3

3. Chehusova Z. Profesiine dekoratyvne mystetstvo Ukrainy doby hlobalizatsii: monohrafiia. Kyiv : IMFE im. M. T. Rylskoho NAN Ukrainy, 2023. 556 s.

4. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / ed. by I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. New York : Springer, 2021. 650 p.

5. Bokotei M., Honcharuk O., Honcharuk V., Patyk R. International blown glass symposiums in Lviv: influence level in Ukrainian decorative art on the edge of centuries. International Journal of Psychosocial Rehabilitation. Vol. 24. Issue 8. 2020. R. 11367–11384. https://doi.org/ 10.37200/ijpr/v24i8/pr281115.

6. Bokotei M. Summarizing Six Decades of International Studio Movement: Future Directions of Contemporary Glass Art. Zb. nauk. pr. ΛΌΗΟΣ, 2021. https://doi.org/10.36074/logos-14.05.2021.v2.48.

7. Bokotei M. Conceptual Trends in Contemporary Glass Art: Summarizing the Studio Movement. Hraal nauky, 2021. (4). R. 656-657. https:// doi.org/10.36074/grail-of-science.07.05.2021.123

8. DG15: 40 Years of Contemporary Glass in Denmark: kat. vyst. Glassmuseet Ebeltoft, 2015. 132 p.

9. Glassmuseet Ebeltoft : ofitsiina storinka. URL: https:// glasmuseet.dk/? lang=en (data zvernennia: 22.08.2025).

10. Houksjaer N. Glassified. 25 Years with Contemporary Glass. Glassmuseet Ebeltoft, 2015. 166 p.

11. Jenny Ritzenhoff : ofitsiina storinka. URL: https://www.jenny-ritzenhoff.de (data zvernennia: 20.08.2025).

12. MIT Media Lab. G3DP Project Report. Cambridge : MIT Press, 2017. 54 p.

13. Mussi A. Contemporary Glass Art and Digital Fabrication. London : Bloomsbury, 2019. 224 p.

14. Oxman, N. Material Ecology. Cambridge : MIT Press, 2020. 312 p.

15. Young Glass : kat. vyst. Glassmuseet Ebeltoft, 2017. 152 p.

UDC 666.1:004.94

INNOVATIVE METHODS OF GLASS ART FORMATION USING 3D PRINTING (based on the example of the Glass Art educational program at the Lviv National Academy of Arts)

Roksolana PATYK – PhD, Professor, Art Management Department, Lviv National Academy of Arts, Lviv
Mykhaylo BOKOTEY – PhD, Associate Professor, Correspondent Member of the National Academy of Arts of Ukraine, Head of the Glass Art Department, Lviv National Academy of Arts, Lviv
Mykhaylo SHAFRAN – Glass Art Department, Lviv National Academy of Arts, Lviv

The article aims to conduct a comprehensive analysis of innovative methods of form creation using 3D printing technologies and their impact on the development of contemporary artistic practices, with particular reference to their use in the educational process at the Glass Art Department of the Lviv National Academy of Arts.

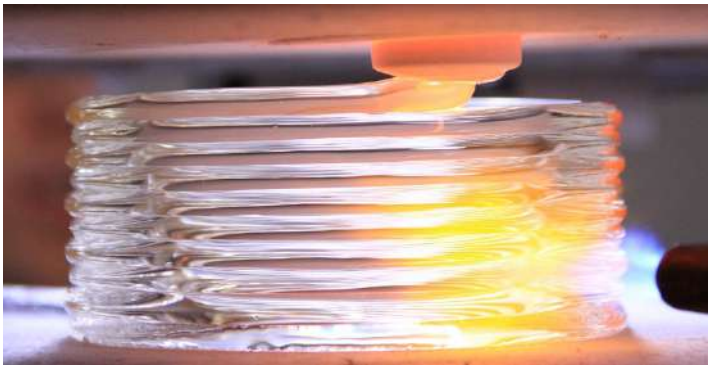
Research methods. The research methodology included a comparative analysis of traditional and digital shaping technologies, a review of scientific literature and patents, and a study of the practices of art schools, in particular, the Lviv National Academy of Arts, where 3D technologies are actively used in glass casting. In addition, an analysis of art objects created using additive technologies was conducted.

Results. The article explores modern innovative methods of glass art shaping using 3D printing technologies. It traces the transformation of traditional glassmaking techniques in interaction with additive approaches, which allow expanding the possibilities of the creative language of glass. It analyzes the technological processes for making glass art. objects with 3D printers: printing with molten glass, printing with glass powders, and using polymer-template technologies for subsequent casting. Examples of creative practices in which digital methods have become a tool for new aesthetics and morphogenesis are given. The prospects for the introduction of additive technologies into the field of glass art, and their influence on form creation, authorial freedom, and interaction with the material, are determined.

Novelty. The article systematizes, for the first time, three key methods of 3D glass printing: melt printing, powder printing, and polymer template casting. The concept of «digital texture» is proposed as a new artistic feature of morphogenesis resulting from additive layer deposition. The influence of algorithmic modeling and AI technologies on the transformation of the author's method is substantiated. A model of hybrid glass production combining craft and digital processes is defined.

The practical significance. The material can be integrated into educational programs on glass art, digital modeling, 3D technologies, and parametric design; the proposed approaches allow optimizing the production of original glass objects and small-volume products; theoretical recommendations can serve as a basis for the development of high-temperature 3D printers for glass; in the field of artistic practices, the research results expand the range of techniques for shaping and experimental work with the material.

Key words: glass art, 3D-printing, additive technologies, form shaping, design, computer modelling.



Стаття отримана 1.09.2025
Стаття прийнята 11.11.2025
Стаття опублікована 22.12.2025