

РЕМЕНЄВА Т.В., КОЛОСНІЧЕНКО М.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕКО-КОНЦЕПЦІЙ У ДЕКОРУВАННІ ПРИНТАМИ СУЧАСНИХ ДИЗАЙН-ПРОДУКТІВ

**Мета.** Дослідження використання декоративного оздоблення та актуальних сучасних принтів в модних fashion-продуктах, а також можливостей створення популярних візерунків та авторських тканин в лабораторіях дизайнерів та науковців як початок нових трендів у колаборації фундаментальної науки та творчості. Вивчено та запропоновано застосування живих матеріалів, які виробляються шляхом інкапсуляції живих біологічних клітин у неживу матрицю, забезпечуючи їх механічну міцність та можливості виготовлення різноманітних просторових візерунків.

**Методи.** Основою дослідження є системний підхід, аналіз науково-технічної та нормативної інформації, методи літературно-аналітичного, системно-структурного, порівняльного аналізу, а також історичний метод.

**Головні результати** полягають у розкритті можливостей свідомого проектування гармонійних взаємозв'язків у сучасному екологічно-орієнтованому дизайн-концепті із застосуванням декору з використанням біо-гібридних структур живих матеріалів. Аналітичні дослідження наукових розробок та вивчення особливостей процесів застосування живих матеріалів для створення сучасних 3D-принтів у декоруванні одягу та інших авторських дизайн-проектах дозволяють запропонувати нові тренди еко-концепцій у колаборації науковців та творчості сучасних дизайнерів, що сприятиме стійкому розвитку культурних меседжів суспільства.

**Наукова новизна.** Дослідженнями доведено, що поглиблене вивчення питань застосування нових еко-технологій дозволяють запропонувати функціональні живі матеріали для використання в потенційних додатках, включаючи інтелектуальні тканини, пристрої, біосенсори або ферментаційні біореактори. Зазначено, що індивідуальні живі матеріали від нано- до макромасштабів можуть бути надруковані на 3D-принтері з високою роздільною здатністю у вигляді просторово заданих візерунків. Запропоновано можливість розробки матеріалів та візерунків, що імітують складну архітектуру, просторову організацію та природу живих клітин, що змінюється в часі, за допомогою сучасних теоретичних та прикладних наукових досліджень інтелектуальних еко-технологій та матеріалів методами біодруку.

**Практична значимість.** Дослідження та вивчення процесу росту мікрободоростей робить внесок у розвиток теоретичної бази та надає змогу дослідникам продемонструвати, що живі матеріали декоративних принтів можна 3D-надрукувати шляхом нанесення живих клітин біочорнил на неживу матрицю-субстрат пошарово. Розглянуті процеси можуть бути використані як засоби впровадження сучасних еко-концепцій у декоруванні принтами різноманітних авторських дизайн-продуктів.

**Ключові слова:** декор, принти у дизайні, біогібридні структури живих клітин, 3D-друк живих матеріалів, екологічні концепції у дизайні

## APPLICATION OF ECO-CONCEPTS IN PRINT DECORATING OF MODERN DESIGN PRODUCTS

REMENIEVA T.V., KOLOSNICHENKO M.V.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Purpose.** *The study of application of decorative patterns and relevant modern prints in fashion products, as well as the possibilities of creating trending patterns and designer fabrics in the laboratories of designers and scientists as the beginning of new trends in the collaboration of basic science and creativity. The use of natural materials, produced by encapsulating living biological cells in an inanimate matrix, which guarantees their mechanical durability and the ability to produce various spatial patterns, is studied and presented.*

**Methodology.** *Base of the study is a systematic approach, analysis of scientific, technical and regulatory information, methods of literary and analytical, systemic and structural, comparative analysis, as well as the historical method.*

**Results** *lie in revealing the scope for designing harmonious relationships in a modern environmentally oriented design concept with the use of decor using bio-hybrid structures of living materials. Analytical studies of scientific breakthroughs and the study of the particular processes of using living materials to create modern 3D prints in garment decoration and other author's design projects allow us to develop new trends in eco-concepts in the collaboration of scientists and the work of modern designers, which will contribute to the sustainable development of societal cultural messages.*

**Scientific novelty.** *The research proves that in-depth study of the application of new eco-technologies enables the possibility of functional living materials to be used in potential end-uses, including smart tissues, devices, biosensors, or fermentation bioreactors. It is emphasized that individual living materials from nano- to macroscale can be printed on a high-resolution 3D printer in the form of spatially defined patterns. The possibility of developing materials and patterns simulating sophisticated architecture, spatial layout and time-varying nature of living cells by means of modern theoretical and applied research on intelligent eco-technologies and materials by bioprinting methods is introduced.*

**Practical value.** *The research and study of the microalgae growth process contributes to further development of the theoretical framework and provides researchers with the opportunity to prove that living materials of decorative prints may be 3D printed by applying living bioprint cells to a non-living matrix-substrate in layers. The processes investigated here may be regarded as a means of implementing modern eco-concepts in decorating various original design products with prints.*

**Keywords:** *decor, prints in design, biohybrid structures of living cells, 3D printing of living materials, ecological concepts in design.*

**Вступ.** Авторські творчі концепції в одязі та інших авторських проектах не існують поза загальними тенденціями розвитку проектної культури, а «вписуються» в ті чи інші концепції, які й дотепер існують у дизайні. В ХХ ст. можна говорити про дві «глобальні» концепції у проектуванні: функціоналізм – у дизайні першої половини ХХ ст., і постмодернізм («новий дизайн», «антифункціоналізм»), який виникнув в епоху постмодерну в останній третині ХХ ст.

**Аналіз попередніх досліджень.** Процес розвитку моди постмодерну спонукав появу глобалізаційних процесів, що вплинуло на естетику свідомості громадян. Саме глобалізаційні процеси стали рішучими для 1990-их років. Глобалізація початку ХХІ століття

постає як взаємодія двох протилежних тенденцій: з одного боку, культурного універсалізму, який нівелює етнічну специфіку і гомогенізуючий соціум, з іншого – локальної етнічної своєрідності, що робить акцент на культурній відмінності та регіональних особливостях. Відбувається поступове формування культури людства, як єдиного простору, в рамках якого зустрічаються і взаємо впливають один на одного різні національні компоненти. Таким чином, при безсумнівною зв'язку моди з розвитком культури можна виділити в даному процесі деяку несинхронність, яка забезпечує розвиток і першого і другого.

Використання декоративного оздоблення в модних fashion-продуктах зазвичай присутні

в моделях luxury сегменту. Українські fashion-бренди представляють подійні колекції на багатьох світових сезонних показах, престижному вітчизняному тижні моди Ukrainian Fashion Week (UFW). Особливостями колекцій українських брендів prêt-à-porter de luxe є актуалізація різновидів декоративне оздоблення, яке поширене серед невеликих брендів. Саме вони прагнуть таким чином підкреслити свою унікальність, відтворити філософію бренду: працюють у форматі ексклюзиву «на замовлення» або невеликими партіями. Використання різноманітного оздоблення дає можливість молодому бренду створити сучасний та оригінальний одяг люксового сегменту, забезпечуючи конкурентоспроможність українського fashion-продукту, агресивне просування бренду у модному сегменті, а головне - створюється альтернативний сучасний дизайн-продукт, здатний конкурувати у сегменті haute couture. Таки колекції багато років представляють успішні українські бренди, що також починали з брендів-початківців: FROLOV, ELENA BURENINA, KARAVAY, JEAN GRITSFELDT. Як правило, українські дизайнери застосовують різновиди вишивки (паєтками, кришталем, тасьмою з кристалами, стеклярусом, бісером тощо), часто звертаючись до автентичного етносу, використовуючи інновації моди як оновлення через актуалізацію традицій. Не випадково дослідник співвідношення наукових традицій та новацій в гуманітарній практиці суспільства А. Гоцалюк [1] визначає, що даний напрямок не є винаходом сучасності: інновація через традицію дає можливість повернення, трансформації модних і культурних образів минулого, їх реабілітації в новому контексті. У дискурсі моди зміст ядра культури сприймається як цінність, тільки якщо виводиться модним стандартом в актуальне «тут-і-зараз».

Для створення унікальної тканини для одягу haute couture наприкінці XX – початку XXI ст. й дотепер, майстри користуються великою кількістю різних технік та застосуванням різноманітних матеріалів в роботі. Відомо [2], що весь процес має логічний порядок дій, що є актуальним та загально-відомим. Саме тому, у теперішній час нові тематичні дослідження розглядають дизайн як можливу рушійну силу, що має позитивний вплив на середовище [3]. Сьогодні в дизайні актуальними є концепти з використанням живих матеріалів: одяг, графічні об'єкти реклами, предмети середовища та декору, інші товари широкого споживчого сегменту. Дизайнери інтегрують живі організми, такі як бактерії, водорості, гриби та рослини, формуючи новий ландшафт дизайну, де біологія та дизайн об'єднуються, щоб досліджувати альтернативну перспективу дизайну з живими організмами [4]. В результаті, ми спостерігаємо

поступовий перехід до більш екологічних практик у напрямку формоутворення дизайн-об'єктів [5].

Постановка завдання. Початок моди на споживання товарів люксового сегменту асоціювався з високою вартістю та складністю доставки унікальних матеріалів, їх недостатньою кількістю: так, у XVIII-XIX ст. спостерігався дефіцит шовкових тканин. Сучасна мода набагато масштабніша, що дає змогу дизайнерам проявити свою фантазію і креатив, створюючи нові фактури за допомогою різних деталей декору, принтів, фурнітури тощо. Часто потрібну тканину для створення одягу модельєри створюють власноруч у своїх ательє, в першу чергу це можна віднести до створення сучасних принтів: авторські рисунки тканин виготовлюється у лабораторіях та одиничними екземплярами. Унікальні модні вироби виготовляються поступово: фактуру тканини створюють окремо під кожну модель перед розкриєм, наносять візерунок, застосовують оздоблення вишивкою, фарбуванням, або декорують іншим чином. Для уточнення розташування декору створюють макет, деталізують кольори та уточнюють малюнок; пізніше все переносять на лекала деталей.

В теперішній час актуальними у оздобленні текстильних матеріалів та виробів з них є застосування принтів. Останні модні сезони відзначені сплеском їх популярності. Тенденції спрямовані вглиб десятиліть, і сьогодні в арсеналі дизайнерів десятки принтів та їх поєднань: від різних видів клітини та смужки до психоделічних мотивів та етнічних орнаментів. Абстрактні принти постійно в моді; безпредметне мистецтво багато десятиліть живить моду та надихає дизайнерів. Художники-абстракціоністи, експресіоністи, кубісти та сюрреалісти стають головними орієнтирами у творчих експериментах модних будинків.

Останніми роками привертають все більшу увагу використання живих матеріалів, які виробляються шляхом інкапсуляції живих біологічних клітин у неживу матрицю. Їх виготовлення відбувається за просторово певними візерунками, які є механічно міцними, при цьому необхідно забезпечити їх оптимальні функціональні характеристик, чого важко досягти.

Представлене дослідження спрямоване на свідоме проектування гармонійних взаємозв'язків у сучасному екологічно-орієнтованому дизайн-концепті із застосуванням декору з використанням живих матеріалів (біо-гібридних структур). Аналітичні дослідження та вивчення особливостей процесів застосування живих матеріалів для створення сучасних принтів у декорування одягу та інших авторських дизайн-

проектів, дозволять запропонувати новий погляд на виховання системного мислення дизайнерів, що сприятиме стійкому розвитку культурних меседжів суспільства.

**Результати дослідження і обговорення.**

З усіх описаних у науковій літературі способів отримання живих принтів на матеріалах, нас зацікавив метод біодруку з використанням екологічно чистої хімії для інкапсуляції мікроводоростей матриці альгінатного гідрогелю. При чому, фотосинтетичні структури з біодруком приймають заздалегідь розроблену геометрію з роздільною здатністю до міліметра. Дослідженнями [3-6] доведено, що підкладка з бактеріальної целюлози надає цьому живому матеріалу виняткових переваг, включаючи міцність, жорсткість, гнучкість, надійність та збереження фізичної цілісності від екстремальних фізичних деформацій. Матеріали з біодруком мають достатню механічну міцність: їх можна від'єднувати і повторно прикріплювати до різних поверхонь. Також зазначимо, що матеріали з біодруком можуть стабільно вижити протягом як мінімум трьох днів без поживних речовин, і їхнє життя може бути продовжене ще більше, якщо перемістити їх у свіже джерело поживних речовин протягом цього періоду часу. Ці біопринти є регенеративними, тобто їх можна повторно використовувати та розширювати для друку додаткових живих матеріалів. Виробництво таких живих матеріалів з біодруком можна легко збільшити до розмірів 70см×20см (технічні можливості біопринтерів), виділивши їх потенційні області застосування: штучне листя, фотосинтетичний біо-одяг та самоклеючі етикетки. Біопринти є сучасною привабливою альтернативою у проектній діяльності дизайнерів нового покоління у декоруванні та концептуальному застосуванні нових технологій проектування та виготовлення сучасних споживчих товарів.

Поглиблене вивчення питань застосування нових еко-технологій дозволяють все частіше пропонувати функціональні живі матеріали для використання в потенційних додатках, включаючи інтелектуальні тканини, пристрої, біосенсори або ферментаційні біореактори [7-9]. Суттєвою перешкодою для їх широкого застосування в існуючих промислових технологіях сьогодення є складність управління просторово-часовою формою живого матеріалу, одночасно надаючи йому механічну міцність, достатню для того, щоб матеріал міг самостійно зберігати форму, що сьогодні можливо лише в умовах лабораторного використання.

З іншого боку, декоративне рішення костюма – це художня система, яка прикрашає його елементи, але, як правило, не має практичного

призначення. Декоративні елементи в одязі в цілому не грають конструктивну або функціональну роль, тому не є обов'язковими. Однак, вони присутні в костюмі людини довгі часи, зберігають свою актуальність і сьогодні. Сучасні дизайнери для образного вирішення будь-якого авторського проекту, використовують відомі декоративні прийоми та власний досвід у створенні декору та композицій, основним правилами яких є: відповідність формі дизайн-об'єкту, його пропорційність та стилістична підпорядкованість; відповідність матеріалів, а також кольорового, графічного, ілюстративного змісту концепції образу; слугувати композиційним центром або вдалим доповненням до змістовної ідеї образного вирішення проекту. Виконання цих обов'язкових умов сприятиме отриманню гармонійного результату у процесі декорування та художнього оздоблення проектних вирішень у сталих дизайнерських практиках.

Отже, живі матеріали являють собою біогібридні структури, які складаються з біологічних живих клітин – не сконструйованих або конструктивно упорядкованих за допомогою генної інженерії [9]. Вони розміщуються в неживій синтетичній матриці матеріалів (наприклад, органічних або неорганічних полімерах, тканинах, металах, кераміці тощо), де живі клітини наділяють їх новими функціями, такими як почуття та реакція, виробництво енергії, виробництво цінних сполук, детоксикація шкідливих сполук або, серед іншого, здатність до самовідновлення.

**Науковими дослідженнями** багатьох вчених доведено, що 3D-друк є ефективною технологією для виробництва живих матеріалів з контрольованими формами та розмірами. Індивідуальні живі матеріали від нано-до макромасштабів можуть бути надруковані на 3D-принтері з високою роздільною здатністю у вигляді просторово заданих візерунків [10]. За допомогою біодруку можна розробити матеріали та візерунки, що імітують складну архітектуру, просторову організацію та природу живих клітин, що змінюється в часі [11]. Живі клітини з різних таксономічних царств (включаючи водорості, бактерії, гриби, дріжджові клітини, клітини рослин та тварин) були ефективно піддані біодруку для виготовлення живих функціональних матеріалів. Зокрема, останніми роками багато уваги приділяється біодруку мікроводоростей [7, 12]. Мікроводорості – це біотехнологічно вигідні одноклітинні мікроорганізми, здатні до фотосинтезу [12, 13]. Завдяки своїй здатності адаптуватися до суворих умов, міцності та стійкості, мікроводорості широко використовуються в таких галузях, як виробництво біопалива, біоремедіація, виробництво цінних метаболітів (харчової та

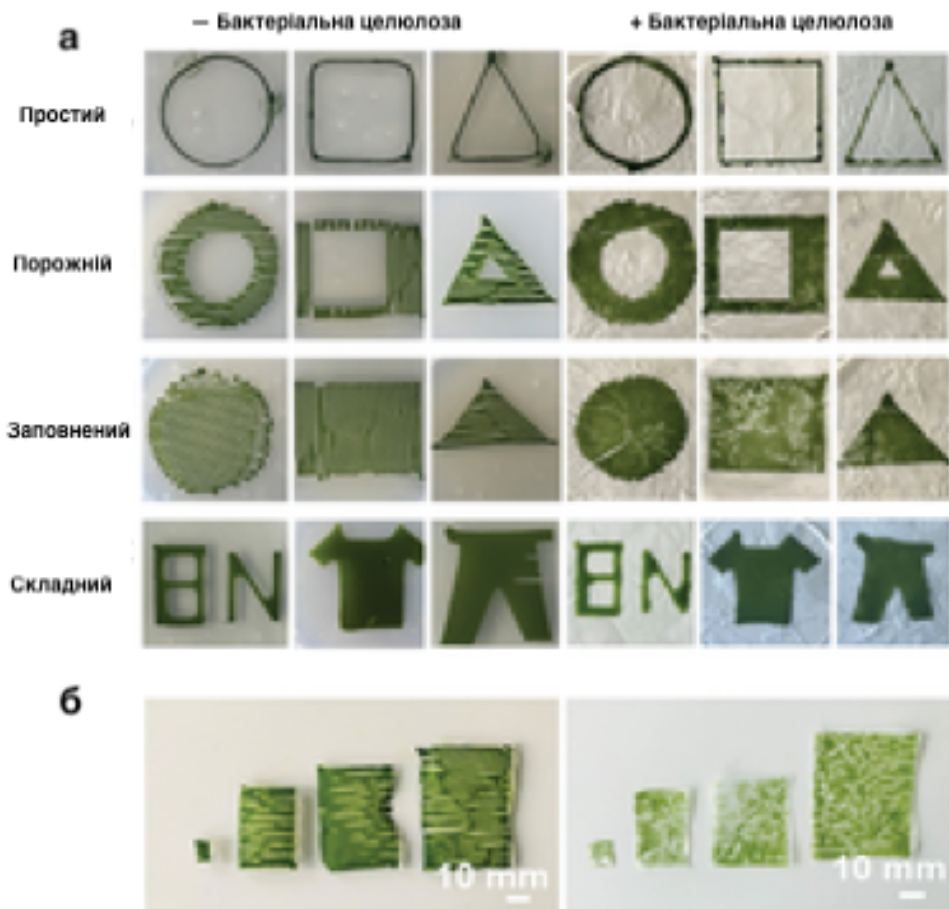


фармацевтичної якості) та очищення стічних вод [12-14], також вони були надруковані в шовковій каркаси, здатні покращити якість повітря, що є актуальним для використання в одязі, аксесуарах та декорі.

Біодрук мікроводоростей досі в основному виконували з використанням каркасів, що складаються з природних безпечних для клітин біополімерів, таких як альгінат, шовк, крохмаль. Однак, більшість цих живих матеріалів з біодруком залишаються крихкими і не мають механічної міцності. Виготовлення живих матеріалів, які є автономними та механічно міцними, зберігаючи при цьому життєздатність інкапсульованих клітин, й досі залишається проблемою. З іншого боку, саме природа надихає створення таких механічно міцних живих матеріалів: матеріали, присутні в природі, мають кращі механічні властивості, ніж живі матеріали з біодруком, через їх ієрархічну структуру. Зокрема, целюлоза, вироблена бактеріями, являє собою універсальний, безпечний для клітин і міцний біополімер з чудовою міцністю

на розрив. Вона має нановолоконну структуру і абсорбційну здатність, [15] які при використанні в якості опори для біопрентів мікроводоростей можуть дозволити поживним речовинам дифундувати і досягати клітин мікроводоростей, тим самим підтримуючи їх зростання. Таким чином, дослідники пропонують для створення прентів у декорі дизайн-продуктів біодрук мікроводоростей на бактеріальній целюлозі, щоб поєднати фотосинтетичні функції мікроводоростей та фізико-механічні властивості бактеріальної целюлози в отриманих живих матеріалах.

Представленими дослідженнями нами зафіксовано існування новітніх дизайн-концептів у відносно простих підходах до виробництва матеріалів з живих мікроводоростей, включаючи розробку економічних біопрентерів мікроводоростей. Сьогодні зазвичай використовуються саморобні лабораторні біопрентери для нанесення малюнка мікроводоростей на субстрати з бактеріальної целюлози. Дослідженнями показано, що



**Рис.1. Біодрук мікроводоростей різної геометрії та роздільної здатності за [6]: а) різна геометрія (основна: одношарова структура; складна: багатшарові (2–4-шарові) структури); б) розміри мікроводоростей з біодруком на агарі з вуглецем (ліворуч) або бактеріальною целюлозою (праворуч)**

мікробудові можна біодрукувати у вигляді одношарових або багатшарових конструкцій з різними задалегідь заданими геометричними формами та розмірами. Цікаво, що біопринти можна відокремити від бактеріальної целюлози та повторно прикріпити до свіжої поверхні бактеріальної целюлози та зберегти адгезію до нової поверхні. Ці мікробудови з біодруком стійкі до фізичних деформацій та занурення у воду, що вказує на їхню фізично стабільну природу. Клітини мікробудов з біодруком демонструють високу життєздатність протягом щонайменше одного місяця. Крім того, мікробудови з малюнком на біопринтах можна регенерувати для приготування свіжих біочорнил. В цілому, ці регенеруючі фотосинтетичні живі матеріали мікробудов з біодруком поверх бактеріальної целюлози пропонують різноманітні можливості для застосування в нових споживчих дизайн-продуктах, включаючи фотосинтетичний біологічний одяг, штучне озелення, різновиди клейких етикеток.

Представлена технологія підкреслює особливості біобезпеки виготовлених живих матеріалів, які запобігають забрудненню навколишнього середовища: цей підхід до біодруку простий, масштабований та екологічний; передбачає використання повністю біорозкладних компонентів [16]. Дослідження процесу росту мікробудов надало змогу дослідникам продемонструвати, що живі матеріали можна 3D-надрукувати шляхом нанесення живих клітин (біочорнила) на неживу матрицю (субстрат) пошарово. Як склад біочорнил, так і природа друкованої основи відіграють важливу роль у підтримці життєздатності та функціональності клітин в одержуваних біодруком матеріалах, а також у підтримці загальної тривимірної структури.

Оцінювання існуючих морфологічних відмінностей між біопринтованими та планктонними клітинами мікробудов проводилось дослідниками з використанням скануючого електронного мікроскопу: підкладка для друку з бактеріальної целюлози не буде згодом перетравлюватись мікробудовими у біопринтах. Також дослідженнями засвідчено можливість 3D-друку із заданими візерунками та роздільною здатністю друку (рис. 1). Все це підтвердило здатність використання біодрукованих принтів у сучасному декорі одягу, інших авторських дизайн-продуктах.

Таким чином, сучасна стратегія 3D-біодруку для створення нових дизайнерських біопринтів у вигляді ліній або кривих полягає у створенні концепту (ідеї) дизайн-проекту,

а також пропозицій щодо можливостей його ілюстративного представлення у проектних рішеннях декору. Поняття декору розглядається нами у даному випадку як не лише оздоблювальна функція у його композиційному вирішенні, а й як продумане технологічне рішення усіх його елементів: визначення доцільних траєкторій основних ліній декору з урахуванням особливостей технологій та вимог естетики, пропорцій деталей, зборка їх у вузли з чітким визначенням контактних точок кріплення, а також особливостей застосування у програмних дослідженнях та реалізації проектних рішень. Мова йде про використання таких конструкційних матеріалів, які вимагають збільшення кількості шарів у відбитках друку при належній його здатності щодо якості зображення та довговічності, а також здатності щодо удосконалення можливостей 3D-друку живих принтів у програмах формування мікробудов на бактеріальній целюлозі для застосування в якості нових проектних рішень та декору дизайн-продуктів.

Висновки. Запропонований дизайн-концепт може успішно реалізовуватись у біодруці принтів для декору одягу та допоміжних засобів дизайнерських технік, при створенні сучасних авторських проектів. Проте, складним залишається надання механічної міцності та довговічності біопринтованих структур, отриманих представленим способом. Але, застосування гідрогелевих систем сьогодні є найбільш перспективним: гідрогелі легко моделюються і безпечні для клітин, тому клітини мікробудов залишаються живими як під час, так і після процесу біодруку протягом відносно тривалих періодів часу.

Зростає інтерес до розробки живих матеріалів, які можуть бути відновлені та повторно використані у природі. Потребують проведення подальших досліджень їх властивостей у реальних умовах експлуатації живих біопринтованих матеріалів. Завдяки стійкому характеру запропонованого підходу, в якому використовуються природні матеріали на основі живих клітин мікробудов та екологічно чистих біополімерів, а також його фізична міцність, еластичність та регенеруючий характер, розроблені біопринтовані живі матеріали можуть використовуватись у різних галузях: у створенні фотосинтетичного біоодягу, самоклеючих етикеток, штучного озелення та листя, а також інших сферах декорування інтер'єрів, жалюзів або фіранок для вікон, створенні авторських предметів декору, рекламних продуктів графічного дизайну.

**Список літературних джерел**

1. Гоцалюк А.А. Наукова традиція та новація в гуманітарній практиці суспільства ISSN 2072-7941 (Online), ISSN 2072-1692 (Print). Гуманітарний вісник ЗДІА. 2015. № 60.
2. Неймовірні можливості вишивки як мистецтва URL: <http://dina-simonyan.livejournal.com/811456.html>
3. Nataliia V. Skliarenko, Marina V. Kolosnichenko, Anna S. Didukh, Olena V. Kolosnichenko, Tetiana V. Remenieva. Living Visual Communication Design Toward to Sustainable Development: Conceptual Framework and Ecological Strategies. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. Vol. 17, No. 6, December, 2022, pp. 875-882
4. Karana, E., Barati, B., Giaccardi, E. (2020). Living artefacts: Conceptualizing livingness as a material quality in everyday artefacts. International Journal of Design, 14(3): 37-53
5. Ghisetti, C., Montresor, S., Vezzani, A. (2021). Design and environmental technologies: Does 'green-matching' actually help? Research Policy, 50(5): 104208. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021>
6. Bioprinting of Regenerative Photosynthetic Living Materials. Srikanth Balasubramanian, Kui Yu, Anne S. Meyer, Elvin Karana, Marie-Eve Aubin-Tam, First published: 29 April 2021, <https://doi.org/10.1002/adfm.202011162>
7. Holly McQuillan, Elvin Karana, undefined, Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 10.1145/3544548.3581156, (1-19), (2023).
8. Laura Zorzetto, Ernesto Scoppola, Emeline Raguin, Kerstin G. Blank, Peter Fratzl, Cécile M. Bidan, Induced Mineralization of Hydroxyapatite in Escherichia coli Biofilms and the Potential Role of Bacterial Alkaline Phosphatase , Chemistry of Materials, 10.1021/acs.chemmater.2c02969, 35, 7, (2762-2772), (2023).
9. Hao Gao, Hanxiao Wang, Yiqing Zhang, Yujiao Wang, Guannan Liu, Quanyu Zhao, Ziyi Yu, Fengxue Xin, Wenming Zhang, Design and optimization of artificial light-driven microbial consortia for the sustainable growth and biosynthesis of 2-phenylethanol, Chemical Engineering Journal, 10.1016/j.cej.2023.143050, 466, (143050), (2023).
10. Robert Evans, Space food packaging: A

**References**

1. Hozalyuk O.O. Naukova tradytsiya ta novatsiya u humanitarniy praktysi suspil'stva ISSN 2072-7941 (Online), ISSN 2072-1692 (Print). Humanitarnyy visnyk ZDIA. 2015 №60
2. Neymovirni mozhlevosti vyshyvky yak mystetstva URL: <http://dina-simonyan.livejournal.com/811456.htm> Nataliia V. Skliarenko,
3. Marina V. Kolosnichenko, Anna S. Didukh, Olena V. Kolosnichenko, Tetiana V. Remenieva. Living Visual Communication Design Toward to Sustainable Development: Conceptual Framework and Ecological Strategies. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. Vol. 17, No. 6, December, 2022, pp. 875-882.
4. Karana, E., Barati, B., Giaccardi, E. (2020). Living artefacts: Conceptualizing livingness as a material quality in everyday artefacts. International Journal of Design, 14(3): 37-53.
5. Ghisetti, C., Montresor, S., Vezzani, A. (2021). Design and environmental technologies: Does 'green-matching' actually help? Research Policy, 50(5): 104208. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021>
6. Srikanth Balasubramanian, Kui Yu, Anne S. Meyer, Elvin Karana, Marie-Eve Aubin-Tam, Bioprinting of Regenerative Photosynthetic Living Materials. First published: 29 April 2021, <https://doi.org/10.1002/adfm.202011162>
7. Holly McQuillan, Elvin Karana, undefined, Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 10.1145/3544548.3581156, (1-19), (2023).
8. Laura Zorzetto, Ernesto Scoppola, Emeline Raguin, Kerstin G. Blank, Peter Fratzl, Cécile M. Bidan, Induced Mineralization of Hydroxyapatite in Escherichia coli Biofilms and the Potential Role of Bacterial Alkaline Phosphatase , Chemistry of Materials, 10.1021/acs.chemmater.2c02969, 35, 7, (2762-2772), (2023).
9. Hao Gao, Hanxiao Wang, Yiqing Zhang, Yujiao Wang, Guannan Liu, Quanyu Zhao, Ziyi Yu, Fengxue Xin, Wenming Zhang, Design and optimization of artificial light-driven microbial consortia for the sustainable growth and biosynthesis of 2-phenylethanol, Chemical Engineering Journal, 10.1016/j.cej.2023.143050, 466, (143050), (2023).
10. Robert Evans, Space food packaging: A review of its past, present and future materials

review of its past, present and future materials and technologies, *Packaging Technology and Science*, 10.1002/pts.2752, 36, 8, (617-627), (2023).

11. Jeremy L. Fredricks, Andrew M. Jimenez, Paul Grandgeorge, Rachel Meidl, Esther Law, Jiadi Fan, Eleftheria Roumeli, Hierarchical biopolymer-based materials and composites, *Journal of Polymer Science*, 10.1002/pol.20230126, 61, 21, (2585-2632), (2023).

12. Ketan Thakare, Laura Jerpseth, Zhijian Pei, Hongmin Qin, Green Bioprinting with Layer-by-Layer Photo-Crosslinking: A Designed Experimental Investigation on Shape Fidelity and Cell Viability of Printed Constructs, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 10.3390/jmmp6020045, 6, 2, (45), (2022).

13. Sushila Maharjan, Diana Priscilla Bonilla-Ruelas, Gorka Orive, Yu Shrike Zhang, Photosymbiotic tissue engineering and regeneration, *Progress in Biomedical Engineering*, 10.1088/2516-1091/ac8a2f, 4, 4, (043001), (2022).

14. Yixin Zhang, Le You, Pu Deng, Xiaocheng Jiang, Huan-Hsuan Hsu, Self-Assembled Biohybrid: A Living Material To Bridge the Functions between Electronics and Multilevel Biological Modules/Systems, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10.1021/acsami.2c05639, 14, 28, (32289-32298), (2022).

15. Vinod Kumar, Mikhail S. Vlaskin, Anatoly V. Grigorenko, 3D Bioprinting to Fabricate Living Microalgal Materials, *Trends in Biotechnology*, 10.1016/j.tibtech.2021.10.006, 39, 12, (1243-1244), (2021).

16. Fukun He, Yangteng Ou, Ji Liu, Qiu Huang, Bao Tang, Fengxue Xin, Jing Zhang, Min Jiang, Su Chen, Ziyi Yu, 3D Printed Biocatalytic Living Materials with Dual-Network Reinforced Bioinks, *Small*, 10.1002/smll.202104820, 18, 6, (2021).

and technologies, *Packaging Technology and Science*, 10.1002/pts.2752, 36, 8, (617-627), (2023).

11. Jeremy L. Fredricks, Andrew M. Jimenez, Paul Grandgeorge, Rachel Meidl, Esther Law, Jiadi Fan, Eleftheria Roumeli, Hierarchical biopolymer-based materials and composites, *Journal of Polymer Science*, 10.1002/pol.20230126, 61, 21, (2585-2632), (2023).

12. Ketan Thakare, Laura Jerpseth, Zhijian Pei, Hongmin Qin, Green Bioprinting with Layer-by-Layer Photo-Crosslinking: A Designed Experimental Investigation on Shape Fidelity and Cell Viability of Printed Constructs, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 10.3390/jmmp6020045, 6, 2, (45), (2022).

13. Sushila Maharjan, Diana Priscilla Bonilla-Ruelas, Gorka Orive, Yu Shrike Zhang, Photosymbiotic tissue engineering and regeneration, *Progress in Biomedical Engineering*, 10.1088/2516-1091/ac8a2f, 4, 4, (043001), (2022).

14. Yixin Zhang, Le You, Pu Deng, Xiaocheng Jiang, Huan-Hsuan Hsu, Self-Assembled Biohybrid: A Living Material To Bridge the Functions between Electronics and Multilevel Biological Modules/Systems, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10.1021/acsami.2c05639, 14, 28, (32289-32298), (2022).

15. Vinod Kumar, Mikhail S. Vlaskin, Anatoly V. Grigorenko, 3D Bioprinting to Fabricate Living Microalgal Materials, *Trends in Biotechnology*, 10.1016/j.tibtech.2021.10.006, 39, 12, (1243-1244), (2021).

16. Fukun He, Yangteng Ou, Ji Liu, Qiu Huang, Bao Tang, Fengxue Xin, Jing Zhang, Min Jiang, Su Chen, Ziyi Yu, 3D Printed Biocatalytic Living Materials with Dual-Network Reinforced Bioinks, *Small*, 10.1002/smll.202104820, 18, 6, (2021).