

УДК 620.3:687.03

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.38.1.19>

ІНТЕГРАЦІЯ БІОНІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОМИСЛОВИЙ ДИЗАЙН ПРОТЕЗІВ: МІЖ ЕСТЕТИКОЮ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ

Єременко Ірина Іванівна¹, Задиранчук Оксана Юріївна², Копилов Євгеній Миколайович³, Федосенко Максим Борисович⁴

¹ кандидат мистецтвознавства, доцент,
завідувачка кафедри дизайну,

Харківська державна академія дизайну і мистецтв, Харків, Україна,
e-mail: ieremenko.ira@gmail.com, orcid: 0000-0002-3676-4892

² старший викладач кафедри дизайну,

Харківська державна академія дизайну і мистецтв, Харків, Україна,
e-mail: conus2006@gmail.com, orcid: 0009-0000-4740-8300

³ старший викладач кафедри дизайну,

Харківська державна академія дизайну і мистецтв, Харків, Україна,
e-mail: zhkakopylov@gmail.com, orcid: 0000-0003-0747-6047

⁴ викладач кафедри дизайну,

Харківська державна академія дизайну і мистецтв, Харків, Україна,
e-mail: fedosenko9999@gmail.com, orcid: 0009-0000-2836-9107

Анотація. У статті розглянуто вплив сучасних біотехнологій на процес проектування протезів засобами промислового дизайну. Окреслено конструктивні та функціональні особливості біонічних протезів, проаналізовано сучасні технології керування та сенсорного зворотного зв'язку в біонічних протезах для визначення їх впливу на функціональність і користувацький досвід. Приділено увагу інноваційним матеріалам і новітнім конструктивним рішенням, що дає змогу зменшити вагу, підвищити комфорт та естетичну привабливість протезів. Виявлено вплив естетичних параметрів на сприйняття й використання протезів серед різних груп користувачів, з урахуванням психологічних і соціальних аспектів. Визначені концептуальні підходи проектування біонічних протезів, які базуються на поєднанні високого рівня функціональності й індивідуалізованою естетикою.

Мета. Дослідити та обґрунтувати інтеграцію біонічних інновацій у дизайн протезів, що забезпечить підвищення якості життя користувачів та сприятиме їхній соціальній інтеграції.

Методологія. Застосовано аналітичний, соціокультурний, структурний підходи, а також теоретичні методи дослідження.

Результати. Визначено основні аспекти та підходи промислового дизайну біопротезів. Виявлено взаємозв'язок між розвитком суспільства, технологічним прогресом та засобами й принципами сучасного дизайну.

Наукова новизна. Очікувані результати передбачають створення комплексної моделі інтеграції біонічних технологій у дизайн протезів, що дасть змогу підвищити їхню функціональність, комфорт і візуальну привабливість.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути використані викладачами закладів мистецької освіти за спеціалізацією «Промисловий дизайн» у навчальному процесі для розробки методичної документації та формулювання практичних завдань.

Ключові слова: біонічний протез, верхня та нижня кінцівки, імплантація, реінервація, електроміографія, керування мозком, остеоінтеграція, зворотний зв'язок.

ВСТУП

Проектна діяльність є невід'ємною частиною матеріальної культури, яка відбиває базові засади суспільства. Опікування про всіх громадян країни – це закономірний етап розвитку сучасного суспільства будь-якої країни світу; зокрема й України. Інклюзія як підхід до формування промислового дизайну може стати сходинкою до вирішення питання інтеграції людей з особливими потребами в спільноту.

Сьогодні дедалі частіше на вулицях можна бачити людей з протезами верхніх або нижніх кінцівок. Це може бути пов'язано з народженими захворюваннями або набутими. Нині у зв'язку з воєнними діями в Україні людей, які потребують протезування, стає дедалі більше. Проблема в тому, що сучасний протез має бути зручним, міцним, доступної вартості й естетично прийнятним як для користувача, так і для оточення. Завдяки таким протезам людина зможе бути мобільною, вести повноцінне життя та не обмежувати себе в простих речах, що стане запорукою відновлення фізичного та психологічного здоров'я. Тож перед дизайнерами стає проблема створення ергономічного і якісного протезу з урахуванням зростання рівня медицини й інновацій у біонічних технологіях.

«Четверта хвиля» науково-технічної революції зумовила можливість реалізації таких концептів, у яких сама людина, її когнітивні та біомеханічні можливості стають предметом дизайн-розробок. Розширення та збільшення технологічного потенціалу засобів дизайну уможливають продукт синтезу біонічної та штучної природи. Наразі численна кількість людей мають нагальну потребу в штучних кінцівках, що вже зараз можуть бути забезпечені за допомогою технологічних розробок.

За високого рівня можливостей удосконалення якості життя виникла проблема відповідності людині тій моделі, що позиціонується навколишнім інформаційним простором як еталон. Це поставило низку питань у відношенні естетичності розробок, інтеграції людей зі штучними кінцівками в соціально-культурний простір, відповідності таких розробок у правовій та етичній площині, що свідчить про різноплановість проблеми й актуальності її вирішення на різних рівнях у сучасній проєктній сфері.

Стрімкий розвиток саме біонічних технологій відкриває нові горизонти для промислового дизайну протезів, що дає змогу не лише відновлювати втрачені людиною функції, а й формувати нові стандарти естетики та індивідуалізації. Протези, які ще донедавна виконували переважно компенсаторну роль, сьогодні стають високотехнологічними пристроями, здатними імітувати складні рухи, забезпечувати сенсорний зворотний зв'язок і навіть підкреслювати унікальність користувача. Однак, попри значний прогрес, залишається низка проблем, пов'язаних із балансом між функціональністю, комфортом, вагою, довговічністю та візуальною привабливістю протезів.

Актуальність дослідження зумовлена дедалі більшими очікуваннями користувачів щодо інтеграції протезів у повсякденне життя, що вимагає від дизайнерів й інженерів урахування не лише технічних, а й психологічних, соціальних та естетичних аспектів. Дослідження зумовлено кількома ключовими факторами. По-перше, стрімкий розвиток біонічних технологій, включно з нейроінтерфейсами, адаптивними алгоритмами управління та розумними матеріалами, що створює безпрецедентні можливості для інтеграції високотехнологічних рішень у дизайн протезів. По-друге, зростання соціальної свідомості щодо прав людей з інвалідністю та важливості інклюзивного дизайну вимагає перегляду традиційних підходів до протезування.

Зв'язок теми з актуальними науковими відкриттями та практичними завданнями полягає в необхідності розробки протезів, які не лише відновлюють втрачені можливості, а й сприяють соціальній інтеграції, підвищенню якості життя та самовираженню користувачів. Саме тому дослідження інтеграції біонічних технологій у промисловий дизайн протезів є надзвичайно важливим для подальшого розвитку галузі та формування нових стандартів у сфері медичного дизайну.

Міждисциплінарний характер сучасної дизайнерської практики впливає на широкий спектр галузей людської діяльності. Технологічні можливості інформаційної доби метамодернізму дають змогу виконувати завдання, що раніше залишалися невирішеними, зокрема покращення якості життя людей з інвалідністю. У цьому сенсі базового значення набувають розробки у сфері

дизайну біопротезів. У межах цієї роботи питання створення верхніх кінцівок та оптимізації процесу життєдіяльності людини розглядається в різних аспектах, зокрема, на рівні форми, змісту, функції. Проблематика аугментації зумовлює розгляд низки важливих питань естетичного, соціально-культурного, етичного порядку, що свідчить про різноплановість тенденцій у сучасній проектній сфері.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 1 мільярд людей у світі живуть з тими чи іншими формами інвалідності, з яких значна частина потребує протезно-ортопедичної допомоги. Водночас дослідження показують, що до 75% користувачів протезів відмовляються від їх постійного використання через незадоволеність естетичними якостями, незручність або соціальну стигматизацію.

Тематика роботи пов'язана з проблемою інтеграції людей з особливими потребами в суспільний простір. Сучасний дизайн має технічний і методологічний інструментарій, щоб допомогти вирішити питання адаптації людей, які потребують протезно-ортопедичної допомоги до нормального життя.

Парадигмальні зміни, що відбуваються в усіх аспектах життя людини, несуть у собі технологічні можливості, які принципово змінюють уявлення та оцінку самої людини. Синтез людини та «другої природи» вбачається багатьма спеціалістами як частини високоорганізованої структури.

У процесі дослідження проблематики дизайну штучних кінцівок людини розглянуто й використано роботи низки дослідників, учених, фахівців, які належать до сфер різних наукових напрямів, що так чи інакше стосуються питання створення та дизайну штучних кінцівок людини.

З огляду інформаційних джерел видно, що проблема створення штучних кінцівок, аугментації розглядається спеціалістами в різних аспектах: медицини, робототехніки, біоінженерії, дизайну, інжинірингу тощо.

Останнє десятиліття відзначено значним прогресом у сфері біонічних протезів, де ключовими напрямками є поєднання функціональності, естетики та індивідуалізації виробів. Систематичний огляд сучасних досліджень підкреслює, що основними викликами залишаються інтеграція сенсорних систем, зменшення ваги, підвищення точності керування та забезпечення природної зворотної чутливості. Зокрема, використання біоелектричних сигналів (далі – ЕМГ), машинного навчання

для розпізнавання жестів, а також розвиток тактильного, візуального й аудіозворотного зв'язку значно підвищують функціональні можливості протезів, наближаючи їх до природних кінцівок [3; 13].

Проблему ефективності біомехатроніки та нових підходів у проектуванні штучних кінцівок висвітлено в публікаціях Северін Жінетт Женев'єв, Домінік Шнайдерайт [14; 18].

Науковці аналізують принципи створення, дії, конструктивні та функціональні особливості сучасних і перспективних біонічних протезів [4; 5]. У дизайні сучасних біонічних протезах вже сьогодні використовують передові матеріали, 3D-друк, гнучку електроніку, нейроінтерфейси та біоміметичні принципи, що дає змогу досягати високого рівня функціональності та індивідуального підходу. Науковці досліджують технічні й технологічні особливості виготовлення та функціонування протезів. Окремо вивчаються матеріали [5], конструктивно-функціональні особливості [4], можливості використання 3D друку для їх виготовлення [2], використання програмного застосування для використання [9], технології виготовлення куксоприймачів кінцівок, що допоможе покращити й спростити технологічний процес виготовлення протезів [1; 6].

Важливим трендом є впровадження біоміметичних матеріалів і гнучкої електроніки, що дає змогу створювати «штучну шкіру» для протезів, забезпечуючи не лише функціональність, а й комфорт та естетичну привабливість [7; 8]. Дослідження також акцентують на необхідності персоналізації протезів, використанні 3D-друку для індивідуального добору форми та структури, а також упровадженні нейроінтерфейсів для природного керування рухами.

Окрему увагу науковці приділяють оптимізації конструкції за допомогою генеративного дизайну, що дає змогу значно зменшити масу виробу без втрати міцності, а також урахувати естетичні параметри при виборі оптимального рішення. Водночас дослідження підкреслюють, що надмірна складність або вага біонічних протезів може знижувати їх прийнятність серед користувачів, тому баланс між функціональністю та зручністю залишається ключовим завданням.

На світовому рівні спостерігається тенденція до міждисциплінарного підходу, де дизайнери, інженери, медики й користувачі спільно працюють над створенням протезів, які не лише відновлюють функції, а й сприяють соціальній інтеграції та самовираженню (табл. 1).

У контексті цієї роботи цінними інформаційними джерелами в сенсі прогностичних

Таблиця 1.

Стан вивчення проблеми на світовому рівні

Напрями дослідження	Основні досягнення
Сенсорна інтеграція в керуванні протезом	ЕМГ, машинне навчання, тактильний зворотний зв'язок
Біоміметика в протезуванні	Імітація природної структури та властивостей тканин шкіри при виготовленні протезів завдяки використанню спеціальних біоматеріалів
Візуальний вигляд протеза, гармонійне естетичне сприйняття	Гнучка електроніка, «штучна шкіра», 3D-друк
Персоналізація протезів, комфорт використання	Індивідуальний дизайн, зменшення ваги
Міждисциплінарний підхід	Співпраця дизайнерів, інженерів, технологів, медиків

даних стосовно подальшого розвитку протезування та диджитальних технологій у проєктній діяльності є роботи таких авторів, як М. Догахе, М. Махан, М. Чжан, С. Аліабаді, А. Рухафза, С. Карімзадах та ін. [10; 11; 12; 15].

Проблему ефективності й цінності емоційного компонента взаємодії людини і дизайн-об'єкта у своїх дослідженнях висвітлено в роботі А. Марінеллі, Н. Боккардо, Ф. Тессарі, Д. Ді Доменіко, Г. Казерта, М. Канепа, Г. Джіні та ін. [16; 19].

Проблему оптимізацію структури біонічного протеза сегмента пальця за допомогою генеративного проєктування освітлюють такі вчені: А. Тріано, М. Дарсін, А. Фатуррахман, О. Муляді [19].

Високотехнологічні протези, екзоскелети, імпланти – це розробки, пов'язані з програмним забезпеченням та штучним інтелектом. Фахівці різних галузей вивчають проблему взаємодії людини і штучного інтелекту. Питання стосовно аугментації людини різнопланове й багаторівневе. Спеціалісти в різних сферах науки і техніки переймаються питанням адекватності взаємодії людини та засобу аугментації відносно функції, технологічного рішення на рівні не тільки ергономіки, а й людської свідомості. Багато публікацій висвітлюють соціально-гуманітарний та морально-етичний аспект аугментації в життєвий простір сучасної людини.

Вирішення проблеми заміни кінцівки людині біонічним протезом з можливою інтеграцією в організм потребує осмислення в контексті дизайну. Наразі немає чітких критеріїв, за якими формуються вимоги до такого типу дизайн-продукту. Так, сучасні дослідження закладають підґрунтя для подальшого розвитку біонічних протезів, орієнтованих на людину, де естетика та функціональність розглядають як взаємодоповнювальні складники.

МЕТА

Дослідити та обґрунтувати можливість використання біонічних інновацій, включно з нейроінтерфейсами, адаптивними

алгоритмами управління та розумними матеріалами в дизайні протезів, що забезпечить підвищення якості життя користувачів і сприятиме їхній соціальній інтеграції.

Переглянути традиційні підходи в дизайні протезів, що пов'язано з зростанням соціальної свідомості щодо прав людей з інвалідністю та важливості інклюзивного дизайну.

Досягнення мети зумовлює такі завдання:

1. Проаналізувати сучасні технології керування та сенсорного зворотного зв'язку в біонічних протезах для визначення їх впливу на функціональність і користувацький досвід.

2. Дослідити інноваційні матеріали та конструктивні рішення, що дають змогу зменшити вагу, підвищити комфорт та естетичну привабливість протезів.

3. Окреслити вплив естетичних параметрів на сприйняття й використання протезів серед різних груп користувачів, з урахуванням психологічних і соціальних аспектів.

4. Визначити концептуальні підходи промислового дизайну біонічних протезів, які базуються на поєднанні високого рівня функціональності з індивідуалізованою естетикою.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У науці виникло багато нових міжгалузевих напрямів, як-от біомехатроніка, що тільки починає своє становлення, але отримує великий поштовх у розвитку кіберпротезування, створенні екзоскелетів. Біомехатроніка, поєднавши в собі медицину та робототехніку, є одним з перспективніших напрямів розвитку високих технологій. Просування такого напрямку, як біомехатроніка, окрім наукових доробків, може бути вирішенням низки завдань військового комплексу, зокрема протезування поранених, екзоскелети для перенесення вантажів та зброї, забезпечення більш серйозного захисту від куль і вибухів, ніж нинішні бронжилети та шоломи.

У перспективі, імовірно, розвиток цієї сфери буде таким, що значно покращить

стандартні людські можливості та в якийсь момент стане цілком прийнятним варіантом і для здорових людей.

За статистикою Global Robotic Prosthetics Market, до 2030 року світовий ринок роботизованих протезів досягне 2,8 мільярда доларів США. Очікується, що середній темп зростання ринку становитиме 9,2% у період з 2022 до 2030 року. Високотехнологічне протезування – це галузь, яка постійно розвивається й упроваджує інновації.

Сучасні біонічні технології, як-от міоелектричні системи управління, сенсори зворотного зв'язку та адаптивні механізми, дають змогу створювати протези, які не лише відновлюють втрачені функції, а й покращують природні можливості людини. Водночас питання гармонійного поєднання естетики й функціональності залишається відкритим і потребує дослідження міждисциплінарного підходу, що об'єднує інженерію, дизайн, медицину та соціальні науки.

Сучасний промисловий дизайн біонічних протезів характеризується прагненням до балансу між функціональністю, естетикою та індивідуалізацією. Останні дослідження демонструють значний прогрес у впровадженні біоелектричних систем керування (далі – ЕМГ), машинного навчання для розпізнавання жестів, а також сенсорного зворотного зв'язку (тактильного, візуального, аудіо), що дає змогу користувачам отримувати більш природний досвід використання протезів. Важливим напрямом є впровадження гнучкої електроніки та біоміметичних матеріалів, які забезпечують комфорт, легкість й естетичну привабливість виробів.

Інтеграція нейроінтерфейсів і біоміметичних принципів дає змогу досягати високої точності керування та адаптації протезів до індивідуальних потреб користувача. Наприклад, сучасні протези здатні автоматично підлаштовувати рухи, змінювати параметри керування й забезпечувати стабільність навіть на складному рельєфі. Водночас надмірна вага, складність конструкції та обмежений час автономної роботи залишаються ключовими проблемами, що впливають на прийняття протезів користувачами.

Візуальний складник біонічних протезів набуває дедалі більшого значення. Протези перестають бути лише засобом компенсації втраченої функції, а стають елементом самовираження, індивідуального стилю та навіть мистецьким об'єктом [6]. Використання 3D-друку, генеративного дизайну та сучасних полімерів дає змогу створювати легкі, міцні та естетично привабливі вироби, які враховують

анатомічні особливості та побажання користувача.

Головним викликом залишається досягнення гармонії між функціональністю й естетикою. Оптимізація конструкції за допомогою генеративного дизайну дає змогу зменшити масу протезів до 80% без втрати міцності, а також урахувати візуальні параметри, вибираючи оптимальне рішення. Водночас надмірна увага до естетики може призвести до ускладнення конструкції або зниження надійності, тому міждисциплінарний підхід із залученням дизайнерів, інженерів і медиків є ключовим для створення ефективних рішень.

Працюючи над створенням високотехнологічних протезів, дизайнери кардинально впливають на формування й перетворення нового предметного простору. Зокрема, формування зумовлює стилістику й образ об'єкта, що відповідає певному середовищу. Питання естетичного фактору значною мірою стосуються соціально-культурного аспекту.

У дизайні й техніці естетичний чинник транслюється на предметно-просторових об'єктах на рівні їх форм і функцій. Мистецькі засади, сформовані естетичними ідеалами, своєю чергою, знаходять висвітлення в об'єктах дизайну.

У новій парадигмі високотехнологічних розробок, «роботизованої культури» є концепція «партнерства» людини й штучного інтелекту, який виступатиме в ролі посередника між людьми й соціально-технічним оточенням. Засоби аугментації – це не тільки технологічні пристрої, вони містять ще й культурний, соціальний, історичний, етичний і фізіологічний розвиток цих нових соціально-технічних систем.

Камертоном у дизайнерській діяльності є обґрунтування головної мети дизайну як провідника засобів досягнення блага для суспільства, а завдання – забезпечення різносторонніх потреб людини. Для вирішення цих питань дизайнер має знати й чітко розуміти систему професійної діяльності, її внутрішні складники, зв'язки й механізми.

У сегменті кіберпротезування обов'язковим і невід'ємним компонентом стає розуміння та відчуття сучасного споживача, його сприйняття й ставлення до предметного світу, його різносторонні потреби [9].

В емпатичному дизайні спостерігається зміщення уваги з розробки суто функціональних речей на отримання споживачем позитивних, цікавих, емоційних вражень від речей, створених дизайнерами. У разі протезування форма об'єкта буквально стає частиною людини, показником призначення

та напрямленості функції дизайн-об'єкта. Високотехнологічний протез – це не просто корисна річ, а частка життєвого стилю людини, естетична одиниця, що відображає життєву позицію.

Задоволення від дизайну продукту проєктуються сенсорною системою від отримання почуттів на рівнів каналів візуального, тактильного, акустичного та нюхового сприйняття, що сукупно створюють у суб'єкта певне позитивне враження, яке стає основою для взаємодії між дизайн-продуктом та споживачем [11].

Емоційний складник у дизайні контекстуально пов'язаний з такими підходами, як "Kansei Engineering", що був запроваджений японцем Мітсуо Нагамачі. Основне спрямування цього підходу полягає в очікуваній почуттєвій реакції споживача («кансей») на продукт, який проєктує дизайнер, вкладаючи в суть розробки певне емоційне посилення. Наразі емпатичний, чи емоційний дизайнерський підхід застосовують досить часто в різних галузях дизайн-практики – від автомобілів до ландшафтних та архітектурних проєктів. Принциповими в «кансей-технології» залишаються чуттєвість, зміст, сприйнятливність, почуття, емоції, інтуїція, що в сукупності становлять естетичний рівень дизайн-продукту [17].

Визначимо головні аспекти проєкування протезів. По-перше, це споживацькі вимоги, що визначають баланс між ефективністю та функціональністю продукту. Саме споживацькі вимоги розставляють акценти у формоутворенні й образній візуалізації протезу.

Користувачі найчастіше ставлять на перше місце комфорт, зменшення ваги, надійність, простоту керування, довговічність, доступність. Наприклад, зниження ваги є найвищим пріоритетом для більшості користувачів

верхніх кінцівок, а для нижніх – комфорт і стабільність під час ходьби. Але при цьому вони не нехтують зовнішнім видом протезу, бо, як правило, не бажають його приховувати та паралельно з комфортом і зручністю потребують оригінального зовнішнього вигляду. Якщо вимоги до зовнішнього виду не враховані, навіть функціонально досконалий протез може бути відкинутий користувачем (табл. 2).

Другий аспект – це взаємозв'язок вимог до протезів, що безпосередньо впливає на процес проєкування. Потреби користувачів часто взаємопов'язані: наприклад, комфорт гнізда впливає і на функціональність, і на здоров'я кукси, а зовнішній вигляд – на психологічне прийняття протеза. Ігнорування хоча б однієї з вимог може призвести до відмови від пристрою. Дизайнери змушені шукати компроміс між різними вимогами: наприклад, легкі матеріали можуть зменшити вагу, але при цьому знизиться і міцність; складні біонічні системи підвищують функціональність, але можуть ускладнити обслуговування чи збільшити вартість. Важливо враховувати, що потреби користувачів змінюються із часом, тому сучасний дизайн прагне до адаптивності та персоналізації.

Дизайн протезів стає результатом постійного балансу між ефективністю, функціональністю і споживацькими очікуваннями. Врахування реальних потреб користувачів – ключ до створення протезів, які не лише технічно досконалі, а й прийнятні та активно використовуються.

Третій аспект, на який ми звертаємо увагу, – це розгляд промислового дизайну як інструменту вирішення проблем у протезуванні. Промисловий дизайн відіграє ключову роль у подоланні основних проблем протезування, забезпечуючи інноваційні рішення для підвищення функціональності, комфорту, естетики та доступності протезів.

Таблиця 2.

Вплив споживацьких вимог на дизайн протезів

Вимога	Вплив на дизайн / функціональність	Характеристики / рішення
Легка вага	Використання нових матеріалів, мінімізація конструкції	Протез не повинен перевищувати ~4–5 % від маси тіла (макс. 3,5–4 кг для дорослого).
Комфорт	Персоналізоване гніздо, адаптивність	Куксоприймач повинен бути максимально комфортним, виготовлений за індивідуальним зліпком або 3D-скануванням. Без натирань.
Функціональність	Більше ступенів свободи, сенсорний зворотний зв'язок	Металеві шарніри з вуглепластиковою пружиною, що дають змогу бігати, стрибати, танцювати. Матеріали легкі, але надійні основи під електроніку.
Довговічність	Оптимізація матеріалів, тестування	Карбон, титан, силікон
Естетика / емоційне сприйняття	Індивідуальний дизайн, вибір кольору	Складові елементи адаптуються до анатомії пацієнта, знижують тертя та тиск. Пластикові оболонки можуть моделюватися під естетичні побажання

Основні підходи промислового дизайну в проектуванні протезів:

Індивідуалізація та комфорт. Завдяки 3D-скануванню та CAD-моделюванню дизайнери створюють протези, які точно відповідають анатомії користувача, що значно підвищує комфорт і зменшує ризик подразнень чи неправильного розподілу тиску.

Оптимізація конструкції та матеріалів. Використання топологічної оптимізації, симуляцій навантажень і сучасних полімерів дає змогу зменшити вагу, підвищити міцність і довговічність протезів, а також забезпечити їх відповідність стандартам безпеки.

Доступність і швидкість виготовлення. 3D-друк та адитивні технології значно скорочують час і вартість виробництва, роблячи протези доступними для ширшого кола користувачів, зокрема дітей та мешканців віддалених регіонів.

Естетичність продукту ка та персоналізація. Промисловий дизайн дає змогу інтегрувати естетичні рішення: вибір кольору, текстури, декоративних елементів, що сприяє самовираженню користувача та зменшує соціальну стигматизацію.

Модульність і ремонтпридатність. Модульні конструкції спрощують обслуговування, ремонт й оновлення протезів, що особливо важливо для активних користувачів.

Розглянемо вирішення деяких ключових проблем протезування, які спираються саме на підходи промислового дизайну в проектуванні протезів (табл. 3). Так, наприклад, проблему низького комфорту використання протеза, можна вирішити через індивідуальне 3D-моделювання й використання новітніх матеріалів, легких, міцних та естетичних. Це дасть змогу інтегрувати в такий протез зручне сенсорне керування зі зворотним зв'язком, що суттєво покращить комфортне використання продукту.

Промисловий дизайн, використовуючи сучасні цифрові інструменти, матеріали та підходи, дає змогу комплексно вирішувати проблеми протезування, підвищуючи якість життя користувачів і розширюючи доступ до інноваційних протезів.

Інтеграція біонічних технологій у промисловий дизайн протезів відкриває нові можливості для підвищення якості життя користувачів. Сучасні протези стають не лише функціональними, а й естетично привабливими, що сприяє їхній соціальній прийнятності. Водночас подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення сенсорних систем, зменшення ваги, підвищення автономності та розширення можливостей персоналізації. Міждисциплінарна співпраця та залучення користувачів на всіх етапах розробки залишаються ключовими для створення протезів нового покоління.

Апробація й упровадження результатів дослідження

Тема реабілітації та заміщення природньої кінцівки засобами дизайну опрацьовувалася на кафедрі «Дизайн» ХДАДМ. Результати досліджень впроваджені в процес навчання здобувачів вищої освіти за спеціальністю В2 «Дизайн», спеціалізації «Промисловий дизайн» у Харківській державній академії дизайну і мистецтв. Зокрема, використано під час формування робочих навчальних програм і завдань по дисципліні «Проектування» (рис. 1, 2), під час виконання кваліфікаційних робіт освітньо-кваліфікаційного рівня (ОКР) «Бакалавр», об'єктом проектування в яких були біопротези верхніх і нижніх кінцівок (рис. 4, 5).

Окрім функціональних властивостей інжинірингового складника, у цій розробці опрацьовували естетичні якості, дизайнерське рішення форми в плавких лініях форм деталей, що гармонічно сполучаються з тілом

Таблиця 3.

Дизайнерські рішення ключових проблем протезування

Проблема	Дизайнерське рішення	Досягнення
Низький комфорт використання	Індивідуальне 3D-моделювання, нові матеріали	Зручне керування, зворотний зв'язок, ЕМГ, машинне навчання, сенсорна інтеграція
Висока вартість виготовлення	Нові матеріали та конструкції, інновації у виготовленні	Біоміметика, гнучка електроніка, 3D-друк, легкість
Непривабливий вигляд	Персоналізація, варіативність дизайну	Індивідуальний дизайн, генеративний підхід, візуальна виразність
Складність обслуговування	Модульність, стандартизація	Можливість замінити окремі частини (ступні, шарніри тощо)
Обмежена функціональність	Біонічні системи, симуляції руху	Регульованість: регулювання висоти, кута нахилу, жорсткості
Соціальна інтеграція	Розширений радіус образотворення	Підвищення прийняття, самовираження, соціальний комфорт



Рис. 1. Проект біопротеза нижньої кінцівки людини.
Виконав студент 3 курсу Ольховий Олександр, керівник старший викладач Задиранчук О. Ю.

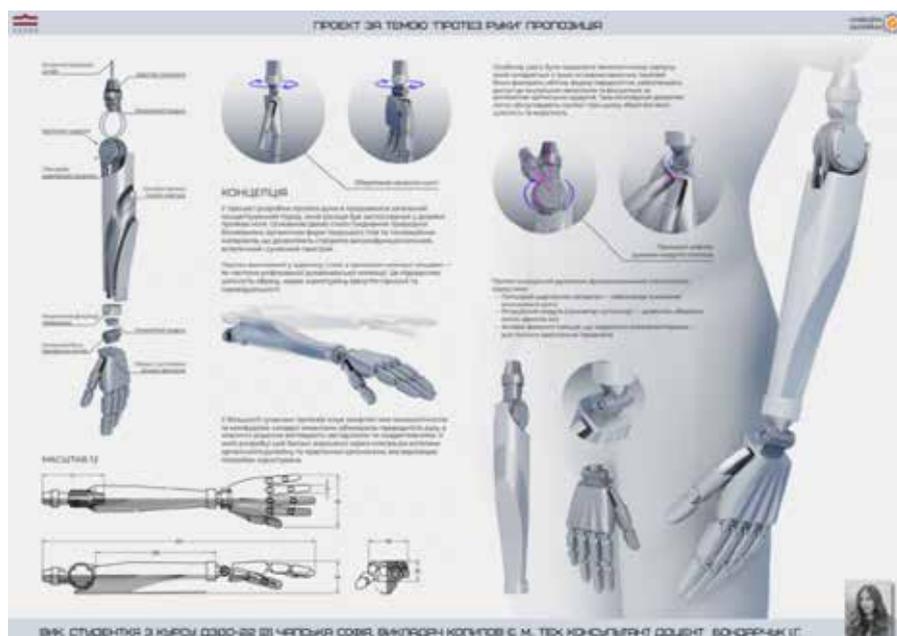


Рис. 2. Проект біопротеза верхньої кінцівки людини.
Виконала студентка 3 курсу Софія Чапська, керівник старший викладач Копилов Є. М.



Рис. 3. Проект біопротеза верхньої кінцівки людини.
Виконала студентка 4 курсу Якімова Каріна, керівник старший викладач Хоменко М. О.



Рис. 4. Проект біопротеза нижньої кінцівки людини.
Виконала студентка 4 курсу Якімова Софія, керівник старший викладач Хоменко М. О.

людини, вибір матеріалів, поверхонь, кольоро-фактурних сполучень у сукупності зумовили розробку з легким, візуально невимушеним дизайн-об'єктом.

Проекти студентів були оприлюднені на XXX Міжнародному огляді-конкурсі дипломних

робіт з архітектурно-містобудівних та дизайнерсько-мистецьких спеціальностей, де були відзначені дипломами переможців.

Робота велася під кураторством вітчизняної компанії ТОВ «Versi Bionics», яка безпосередньо займається виробництвом

Естетичні характеристики дизайн-продукту мають сенс щодо емпатії, що в разі відновлення та аугментації можливостей людини набувають колосального значення.

Задоволення від дизайну продукту залежать від емоційного складника концепції розробки і від почуттєвої реакції споживача. Емоції управляють якістю взаємодії споживача з продуктом та пов'язані з оцінкою вражень клієнта від дизайн-об'єкта. Визначено, що такий дизайн-продукт як високотехнологічний протез сприймається суб'єктом на двох рівнях:

- перший рівень фіксує враження від зовнішнього виду продукту, його функціональних, технологічних та естетичних якостей;

- на другому відіграє важливу роль особистість споживача, для якого призначається цей продукт та контекст ринку (тенденційність).

Парадигма сучасної проектної культури стимулює в людини ставлення до високотехнологічних розробок аугментації як до близького оточення. З огляду на те, що кіберпротези належать до покоління «технологічного дизайну», їх розвиток безпосередньо пов'язаний з інформаційними технологіями. Річ, породжену лише виробничою логікою і чистим функціоналом, поступово заміщує емоційне маніпулювання реальністю, що змінює її якість.

Оптимізація конструкції за допомогою генеративного дизайну та використання 3D-друку дають змогу значно зменшити вагу протезів, підвищити їх міцність і візуальну привабливість, що є ключовими критеріями для прийняття протезу користувачем. Водночас надмірна складність або вага можуть знижувати зручність і функціональність, тому важливо дотримуватися балансу між технічними та естетичними параметрами.

Рекомендації для подальшого розвитку галузі передбачають:

- акцент на міждисциплінарній співпраці дизайнерів, інженерів, медиків і користувачів для створення протезів, орієнтованих на людину;

- подальше вдосконалення сенсорних систем, нейроінтерфейсів і біоміметичних матеріалів для підвищення природності керування та відчуттів;

- розширення можливостей персоналізації та індивідуального дизайну, що сприятиме соціальній інтеграції і самовираженню користувачів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці нових алгоритмів

керування, упровадженні штучного інтелекту для адаптації протезів до індивідуальних потреб, а також у створенні відкритих платформ для тестування та впровадження інноваційних рішень у реальних умовах. Узагальнюючи, сучасний промисловий дизайн біонічних протезів має орієнтуватися на гармонійне поєднання функціональності, естетики та індивідуалізації, що забезпечить максимальну користь для людей з ампутаціями й сприятиме їхній повноцінній інтеграції в суспільство.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Аврунін О.Г., Селіванова К.Г., Тимкович М.Ю., Носова Я.В. Міжнародний досвід використання програмного забезпечення FLYSHAPE для індивідуалізованого тривимірного моделювання протезів нижніх кінцівок. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Дніпро. 23 квітня 2025 р. Дніпро, 2025. С. 460–467. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2025.01.082>.

[2] Іваницька А. Створення протезів за допомогою 3D-моделювання. URL: <https://ur.knute.edu.ua/server/api/core/bitstreams/795a0c63-7aa6-4183-a848-79d4b7d749b5/content> (дата звернення: 24.10.2025).

[3] Мещанінов С.К., Співак В.М., Орлов А.Т. Електронні методи і засоби біомедичних вимірювань : навчальний посібник. Київ : Кафедра, 2015. 211 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0124e0b2-62bb-4d6d-8fff-b8fcc81eca79/content> (дата звернення: 26.10.2025).

[4] Попадюха Ю. Особливості біонічних протезів верхніх кінцівок. *Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2017. № 25. С. 26–42. URL: <https://sportvisnyk.vnu.edu.ua/index.php/sportvisnyk/article/view/194> (дата звернення: 24.10.2025).

[5] Протезування та штучні органи : навчальний посібник / І.Ю. Худецький та ін. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 184 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0c0384d1-fe43-4cd3-8f87-ee0773531be3/content> (дата звернення: 26.10.2025).

[6] Семінська Н.В., Мусієнко О.С., Слободянюк І.В., Белевець К.С., Степанова А.А., Шитікова Н.С. Виготовлення протезів нижніх кінцівок: виклики, аналіз та можливі рішення. *Біомедична інженерія і технологія*. 2024. № 14(2). С. 8–17. <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2024.14.303997>

[7] Ульберг З.Р., Горчакова Н.А., Чекман І.С. Біоміметика та біоміметичні матеріали: медико-соціальний аспект. *Український медичний часопис*. 2013. № 3. С. 35–41. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UMCh_2013_3_10 (дата звернення: 26.10.2025).

[8] Фундовний Д.В., Хиневич Р.В. Футуристичний fashion-протез: перетин мистецтва та технологій в 3D motion-дизайні. *Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations* : collection of scientific papers «SCIENTIA». Proceedings from VI International Scientific and

Theoretical Conference, Amsterdam. July 12, 2024. Amsterdam, The Netherlands : International Center of Scientific Research, 2024. P. 112–117. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/29365> (дата звернення: 26.10.2025).

[9] Шиндирук В.Д. Розробка програмного застосунку для генерації біонічних 3D-моделей протезів на основі машинного навчання. *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи*: наук.-техн. конф. головного центру виховної роботи, м. Вінниця, 20 травня 2024 р. Вінниця, 2024. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/43224/19958-70329-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 24.10.2025).

[10] Bao J. Design and Function of Lower-Limb Prosthetics Based on Biomechanics and Bionic Simulation Using Deep Learning. *Applied and Computational Engineering*. 2025. Vol. 33(1). P. 192–196. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2025.20702>.

[11] Dogahe M., Mahan M., Zhang M., Aliabadi S., Rouhafza A., Karimzadghagh S., Feizkhan A., Monsef A., Roudkenar M. H. Advancing Prosthetic Hand Capabilities Through Biomimicry and Neural Interfaces. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2025. Vol. 39(6). P. 481–494. <https://doi.org/10.1177/15459683251331593>.

[12] Guo K., Lu J., Wu Y., Hu X., Yang H. The Latest Research Progress on Bionic Artificial Hands. *Micromachines*. 2024. Vol. 15(7). Article 891. <https://doi.org/10.3390/mi15070891>.

[13] Guo T., Chen X., Wang Y., Chang R. Large Language Model Based Multi-Agents: A Survey of Progress and Challenges. Proceedings from *Thirty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Jeju, Korea. 3–9 August, 2024. Jeju. 2024. P. 8048–8057. URL: <https://www.ijcai.org/proceedings/2024/0890.pdf> (date of access: 25.10.2025).

[14] Habert S. G. G. Multi-Modal Visualization Paradigms for RGBD Augmented X-ray Imaging. Thesis. Technische Universität München, 2018. 177 p. URL: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1378637/910731.pdf> (date of access: 25.10.2025).

[15] Li P., Ali H., Cheng W., Yang J., Tee B. Bioinspired Prosthetic Interfaces. *Advanced Materials Technologies*. 2020. Vol. 5(3). <https://doi.org/10.1002/admt.201900856>.

[16] Marinelli A., Boccardo N., Tessari F., Di Domenico D., Caserta G., Canepa M., Gini G., Barresi G., Laffranchi M., De Michieli L., Semprini M. Active Upper Limb Prostheses: a Review on Current State and Upcoming Breakthroughs. *Progress in Biomedical Engineering*. 2022. Vol. 5. Article 012001. <https://doi.org/10.1088/2516-1091/acac57>.

[17] Nagamachi M. Kansei Engineering: A New Ergonomic Consumer-Oriented Technology for Product Development. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1995. Vol. 15(1). P. 3–11. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)00052-5](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)00052-5).

[18] Schneiderei D. Novel Opto-Biomechanics System Technologies in the Cardio- and Musculoskeletal Environment of Medical and Life Sciences. Doctoral Thesis. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/348960515_Novel_Opto-Biomechanics_System_Technologies_in_the_Cardio-_and_Musculoskeletal_Environment_of_Medical_and_Life_Sciences

System_Technologies_in_the_Cardio-_and_Musculoskeletal_Environment_of_Medical_and_Life_Sciences (date of access: 25.10.2025).

[19] Triono A., Darsin M., Fathurrahman A., Mulyadi S., Ilminnafik N. Optimization of the Structure of Bionic Finger Segment Prosthesis Using Generative Design. *F1000Research*. 2022. Vol. 11. Article 613. <https://doi.org/10.12688/f1000research.109230.1>.

REFERENCES

[1] Avrunin, O.H., Selivanova, K.H., Tymkovych, M.Iu., & Nosova, Ya.V. (2025). Mizhnarodnyi dosvid vykorystannia prohramnoho zabezpechennia FLYSHAPE dlia individualizovanoho tryvymirnoho modeliuвання proteziv nyzhnikh kintsivok [International Experience in Using FLYSHAPE Software for Personalized 3D Modeling of Lower Limb Prostheses]. Proceedings from *Mizhnarodna naukovo-tekhnicna konferentsiia «Informatsiini tekhnologii v metalurhii ta mashynobuduvanni» – International Scientific and Technical Conference «Information Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering»*. (pp. 460–467). <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2025.01.082> [in Ukrainian].

[2] Ivanytska, A. (n.d.). Stvorennia proteziv za dopomohoiu 3d modeliuвання [Prosthesis Creation Using 3D Modeling]. Retrieved from <https://ur.knute.edu.ua/server/api/core/bitstreams/795a0c63-7aa6-4183-a848-79d4b7d749b5/content> [in Ukrainian].

[3] Meshchaninov, S.K., Spivak, V.M., & Orlov, A.T. (2015). *Elektronni metody i zasoby biomedychnykh vymiriuvan [Electronic Methods and Devices for Biomedical Measurements]*. Kyiv : Kafedra [in Ukrainian].

[4] Popadiukha, Yu. (2017). Osoblyvosti bionichnykh proteziv verkhnikh kintsivok [Features of Bionic Upper Limb Prostheses]. *Molodizhnyi naukovyi visnyk Skhidnoevropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky – Youth Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University*, 25, 26–42. Retrieved from <https://sportvisnyk.vnu.edu.ua/index.php/sportvisnyk/article/view/194> [in Ukrainian].

[5] Khudetskyi, I.Yu., Antonova-Rafi, Yu.V., Melnyk, H.V., & Snitsar, Ye.V. (2021). Protezuвання ta shtuchni orhany [Prosthetics and Artificial Organs]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].

[6] Seminska, N.V., Musiienko, O.S., Slobodianiuk, I.V., Belevets, K.S., Stepanova, A.A., & Shytikova, N.S. (2024). Vyhotovlennia proteziv nyzhnikh kintsivok: vyklyky, analiz ta mozhyvi rishennia [Fabrication of Lower Limb Prostheses: Challenges, Analysis, and Potential Solutions]. *Biomedychna inzheneriia i tekhnolohiia – Biomedical Engineering and Technology*, 14(2). <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2024.14.303997> [in Ukrainian].

[7] Ulberh, Z.R., Horchakova, N.A., & Chekman, I.S. (2013). Biomimetyka ta biomimetychni materialy: medyko-sotsialnyi aspekt [Biomimetics and Biomimetic Materials: Medical and Social Aspect]. *Ukrainskyi medychnyi chasopys – Ukrainian Medical Journal*, 3, 35–41. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/UMCh_2013_3_10 [in Ukrainian].

[8] Fundovnyi, D.V., & Khynevych, R.V. (2024). Futurystychnyi fashion-protez: peretyn mystetstva ta

tekhnohii v 3D motion-dyzaini [Futuristic Fashion Prosthesis: The Intersection of Art and Technology in 3D Motion Design]. Proceedings from VI International Scientific and Theoretical Conference «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations». (pp. 112–117). Amsterdam, The Netherlands : International Center of Scientific Research. Retrieved from <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/29365> [in Ukrainian].

[9] Shyndyruk, V.D. (2024). Rozrobka prohram-noho zastosunku dlia heneratsii bionichnykh 3D-modelei proteziv na osnovi mashynnoho navchannia [Development of a Software Application for Generating Bionic 3D Models of Prostheses Based on Machine Learning]. Proceedings from naukovo-tekhnichna konferentsiia holovnoho tsentru vykhovnoi roboty «Molod v nautsi: doslidzhennia, problemy, perspektyvy» – Scientific and Technical Conference of the Main Center for Educational Work «Youth in Science: Research, Challenges, and Prospects». Vinnytsia. Retrieved from <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/43224/19958-70329-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [in Ukrainian].

[10] Bao, J. (2025). Design and Function of Lower-Limb Prosthetics Based on Biomechanics and Bionic Simulation Using Deep Learning. *Applied and Computational Engineering*, 33(1), 192–196. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2025.20702>. [in English].

[11] Dogahe, M., Mahan, M., Zhang, M., Aliabadi, S., Rouhafza, A., Karimzadgh, S. et al. (2025). Advancing Prosthetic Hand Capabilities Through Biomimicry and Neural Interfaces. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 39(6), 481–494. <https://doi.org/10.1177/15459683251331593>. [in English].

[12] Guo, K., Lu, J., Wu, Y., Hu, X., & Yang, H. (2024). The Latest Research Progress on Bionic Artificial Hands. *Micromachines*, 15(7), 891. <https://doi.org/10.3390/mi15070891>. [in English].

[13] Guo, T., Chen, X., Wang, Y., & Chang, R. (2024). Large Language Model Based Multi-Agents: A

Survey of Progress and Challenges. Proceedings from *Thirty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence*. (pp. 8048–8057). Jeju, Korea. Retrieved from <https://www.ijcai.org/proceedings/2024/0890.pdf> <https://arxiv.org/pdf/2402.01680>. [in English].

[14] Habert, S.G.G. (2018). Multi-Modal Visualization Paradigms for RGBD Augmented X-ray Imaging. *Thesis*. Technische Universität München. Retrieved from <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1378637/910731.pdf>. [in English].

[15] Li, P., Ali, H., Cheng, W., Yang, J., & Tee, B. (2020). Bioinspired Prosthetic Interfaces. *Advanced Materials Technologies*, 5(3). <https://doi.org/10.1002/admt.201900856>. [in English].

[16] Marinelli, A., Boccardo, N., Tessari, F., Di Domenico, D., Caserta, G., Canepa, M. et al. (2022). Active Upper Limb Prostheses: a Review on Current State and Upcoming Breakthroughs. *Progress in Biomedical Engineering*, 5, 012001. <https://doi.org/10.1088/2516-1091/acac57>. [in English].

[17] Nagamachi, M. (1995). Kansei Engineering: A New Ergonomic Consumer-Oriented Technology for Product Development. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15(1), 3–11. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)00052-5](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)00052-5). [in English].

[18] Schneidereit, D. (2021). Novel Opto-Biomechatronics System Technologies in the Cardio- and Musculoskeletal Environment of Medical and Life Sciences. *Doctoral Thesis*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/348960515_Novel_Opto-Biomechatronics_System_Technologies_in_the_Cardio-_and_Musculoskeletal_Environment_of_Medical_and_Life_Sciences. [in English].

[19] Triono, A., Darsin, M., Fathurrahman, A., Mulyadi, S., & Ilminnafik, N. (2022). Optimization of the Structure of Bionic Finger Segment Prosthesis Using Generative Design. *F1000Research*, 11, 613. <https://doi.org/10.12688/f1000research.109230.1>. [in English].

ABSTRACT

Yeremenko I., Zadyranchuk O., Kopylov Ye., Fedosenko M. Integration of bionic technologies into industrial design of prostheses: between aesthetics and functionality

The article considers the impact of modern biotechnologies on the process of designing prostheses using industrial design tools. The design and functional features of bionic prostheses are outlined, modern control and sensory feedback technologies in bionic prostheses are analyzed to determine their impact on functionality and user experience. Attention is paid to innovative materials and new design solutions that allow reducing weight, increasing comfort and aesthetic appeal of prostheses. The influence of aesthetic parameters on the perception and use of prostheses among different groups of users is revealed, taking into account psychological and social aspects. Conceptual approaches to designing bionic prostheses are defined, which are based on a combination of a high level of functionality and individualized aesthetics.

Purpose. *To investigate and substantiate the integration of bionic innovations into the design of prostheses, which will ensure an increase in the quality of life of*

users and promote their social integration, which is associated with the growth of social consciousness.

Methodology. Analytical, sociocultural, structural approaches, as well as theoretical research methods were applied.

Results. The main aspects and approaches of industrial design of bio-prostheses were determined. The relationship between the development of society, technological progress and the means and principles of modern design was revealed.

Scientific novelty. The expected results include the creation of a comprehensive model of integration of bionic technologies into the design of prostheses, which will allow to increase their functionality, comfort and visual appeal.

Practical relevance. The results of the study can be used by teachers of art education institutions specializing in "Industrial Design" in the educational process for the development of methodological documentation and the formulation of practical tasks.

Keywords: bionic prosthesis, upper and lower limbs, implantation, reinnervation, electromyography, brain control, osteointegration, feedback.

AUTHOR'S NOTE:

Ieremenko Iryna, Candidate of Art History, Associate Professor, Head of the Design Department, Kharkiv State Academy of Design and Arts, Kharkiv, Ukraine, e-mail: ieremenko.ira@gmail.com, orcid: 0000-0002-3676-4892.

Zadyranchuk Oksana, Senior Lecturer at the Department of Design, Kharkiv State Academy of Design and Arts, Kharkiv, Ukraine, e-mail: conus2006@gmail.com, orcid: 0009-0000-4740-8300.

Kopylov Yevhenii, Senior Lecturer at the Department of Design, Kharkiv State Academy of Design and Arts, Kharkiv, Ukraine, e-mail: zhekakopylov@gmail.com, orcid: 0000-0003-0747-6047.

Fedosenko Maksym, Lecturer at the Department of Design, Kharkiv State Academy of Design and Arts, Kharkiv, Ukraine, e-mail: fedosenko9999@gmail.com, orcid: 0009-0000-2836-9107.

Стаття подана до редакції: 27.10.2025

Стаття прийнята до опублікування: 04.11.2025.

Стаття опублікована: 20.11.2025.