

**Проектування біосумісного імплантату вуха людини  
за допомогою сучасних інформаційних технологій****О.В. Савельєва**

к.т.н., доцент, доцент кафедри Інформаційних технологій проектування  
в машинобудуванні Інституту промислових технологій, дизайну та менеджменту  
*vselenaya@i.ua*

*Одеський національний політехнічний університет*

**Л.В. Орел**

доктор с-г.н., професор, професор кафедри технологічної і професійної освіти  
Художньо-графічного факультету

*Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К.Д. Ушинського*

**А.В. Павлишко**

к.т.н., доцент, доцент кафедри Інформаційних технологій проектування  
в машинобудуванні Інституту промислових технологій, дизайну та менеджменту  
*andrey1post1box@gmail.com*

**В.П. Руцька**

студентка Інституту промислових технологій, дизайну та менеджменту  
*Одеський національний політехнічний університет*

**Анотація.** Стаття присвячена проектуванню біосумісного імплантату вуха людини з можливістю подальшого його біопринтингу. В роботі розглянуті 3D-технології, які використовують в медицині, новітні тенденції розвитку 3D-біопринтерів. Розглянуті методи моделювання вуха людини за допомогою 3D-сканеру Artec Spider та по цифровому зображенню пацієнта. За допомогою цих методів виконано 3D-моделювання у програмному пакеті Autodesk 3ds Max та отримана твердотільна 3D-модель вуха людини.

**Ключові слова:** тривимірна твердотільна модель вуха людини, 3D-біопринтер, 3D-біопринтинг, 3D-сканер.

**Проектирование биосовместимого имплантата уха человека  
с помощью современных информационных технологий****О.В. Савельева**

к.т.н., доцент, доцент кафедры Информационных технологий проектирования  
в машиностроении Института промышленных технологий, дизайна и менеджмента  
*vselenaya@i.ua*

*Одесский национальный политехнический университет*

**Л.В. Орел**

доктор с-х.н., профессор, профессор кафедры технологического  
и профессионального образования Художественно-графического факультета  
*Южноукраинский национальный педагогический университет им. К.Д. Ушинского*

**А.В. Павлишко**

к.т.н., доцент, доцент кафедры Информационных технологий проектирования  
в машиностроении Института промышленных технологий, дизайна и менеджмента  
*andrey1post1box@gmail.com*

**В.П. Руцкая**

студентка Института промышленных технологий, дизайна и менеджмента  
*Одесский национальный политехнический университет*

**Аннотация.** *Статья посвящена проектированию биосовместимого имплантата уха человека с дальнейшей возможностью его биопечати. В работе рассмотрены 3D-технологии, используемые в медицине, новейшие тенденции развития 3D-биопринтеров. Рассмотрены методы моделирования уха человека с помощью 3D-сканера Artec Spider и по цифровому изображению пациента. С помощью этих методов выполнено 3D-моделирование в программном пакете Autodesk 3ds Max и получена твердотельная 3D-модель уха человека.*

**Ключевые слова:** *трехмерная твердотельная модель уха человека, 3D-биопринтер, 3D-биопринтинг, 3D-сканер.*

UDC 004.94:611

**Designing a biocompatible ear implant of a man  
with help of modern information technologies**

**Savielieva Olena**

PhD, Associate Professor Computer-aided design technologies Department  
Institute of Industrial Technology, Design and Management  
vseleynaya.my@gmail.com

*Odessa National Polytechnic University*

**Orel Leonid**

Doctor of agricultural sciences, Professor,  
Department of Technological and Professional Education, the Faculty of Arts and Graphics

*South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky*

**Pavlyshko Andrey**

PhD, Associate Professor Computer-aided design technologies Department  
Institute of Industrial Technology, Design and Management  
andrey1post1box@gmail.com

*Odessa National Polytechnic University*

**Rutska Veronika**

Student of the Institute of Industrial Technology, Design and Management  
nika.rutskaya@gmail.com

*Odessa National Polytechnic University*

**Annotation.** *The article is devoted to designing a biocompatible human ear implant with the further possibility of its bioprinting. The paper considers 3D technologies used in medicine, the latest trends in the development of 3D bioprinters. The methods of modeling the human ear using the Artec Spider 3D scanner and the patient's digital image are considered. Using these methods, 3D modeling in the software package Autodesk 3ds Max and a solid 3D model of the human ear. 3D-bioprinting is an offensive step for the 3D-friendly, which is widely to be visualized in medical. Through the rapid creation of high-precision products, taking into account the specifics of anatomy and pathology*

*of the patient - improve the efficiency and quality of medical care. It will save a lot of lives and, possibly, in time, will improve the organs themselves. Getting a good three-dimensional model plays a big role in the correct form of the printed ears of the patient.*

**Keywords:** *three-dimensional solid-state model of human ear, 3D-bioprinter, 3D-bioprinting, 3D-scanner.*

**Вступ.** На сьогоднішній день комп'ютерні технології мають великий вплив на всі сфери діяльності людини. Неможливо уявити сучасну медицину без використання комп'ютерів, так як вони є невід'ємним робочим інструментом в різних сферах медичної діяльності. Впровадження комп'ютерних технологій в медицині забезпечило високу точність і швидкість проведення різних досліджень та медичних оглядів.

Велику роль в медицині грає 3D-модельовання, тому воно застосовується в багатьох сферах сучасної медицини. 3D-модельовання – це процес створення тривимірної моделі об'єкта. Завдання 3D-модельовання – розробити візуальний об'ємний образ бажаного об'єкта. При цьому модель може як відповідати об'єктам з реального світу (автомобілі, будівлі, ураган, астероїд), так і бути повністю абстрактною (проекція чотирирівимірного фрактала).

Однак зі створенням і впровадженням 3D-дисплеїв та 3D-принтерів тривимірна графіка не обов'язково включає в себе проектування на площину.

3D-принтер – це пристрій, який створює об'ємний предмет на основі віртуальної 3D-моделі. На відміну від звичайного принтера, який виводить інформацію на аркуш паперу, 3D-принтер дозволяє виводити тривимірну інформацію, тобто створювати певні фізичні об'єкти. В основі технології 3D-друку лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердої моделі.

3D-біопринтинг – наступний шаг у 3D-друку, який широко використовується в медицині [1]. За допомогою новітніх комп'ютерних технологій можна відтворювати високоточні тривимірні моделі людських органів, які подалі будуть створені за допомогою технологій 3D-біопринтингу [3]. Через оперативне створення високоточної продукції з урахуванням специфіки анатомії і патології пацієнта – покращують ефективність і якість медичної допомоги. Це врятує багато життів і, можливо, з часом, дозволить покращувати самі органи. Отримання якісної тривимірної моделі грає велику роль у правильному вигляді надрукованого вуха пацієнта.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Застосування 3D-технологій в медицині стало справжнім проривом для галузі. Друк імплантатів, індивідуальних протезів, протезно-ортопедичних виробів – це те, що раніше здавалося фантастикою, сьогодні з успіхом застосовується в багатьох сферах медицини.

Ця сфера діяльності цікавить не тільки медиків, а й інженерів, програмістів, дизайнерів, проєктувальників. Саме вони проєктують, програмують та створюють зовнішній вигляд біопринтерів, але під чіткими вказівками та постійним наглядом медиків та науковців. Проєктувальники займаються створенням 3D-моделей органів та імплантатів в різноманітних програмах 3D-моделювання. Всі вони є невід'ємною частиною створення технології 3D-біопринтинга.

Американські вчені з Медичного центру університету Уейк Форест представили розробку нового 3D-біопринтера на сторінках журналу *Nature Biotechnology* [5].

Біопринтер носить назву ІТОР (Integrated Tissue and Organ Printing System) або об'єднана система для друку тканин і органів.

Як повідомляють автори, на такому біопринтері можна друкувати кісткові, хрящові і м'язові тканини по заздалегідь створеній цифровій моделі індивідуально для кожного пацієнта (рис. 1). Для створення такої моделі можна використовувати дані комп'ютерної томографії (КТ) та МРТ.



*Рис. 1. Надруковані на 3D-біопринтері органели для імплантації*

Але головна перевага ІТОР – він може друкувати органели, які васкуляризовані – тобто мають мережу кровоносних судин. А це одне з найскладніших завдань для регенеративної медицини. Васкуляризовані органели після імплантації добре приживаються і повністю інтегруються в організм, стверджують автори розробки [5].

«Цей новий принтер – важливий крок у розвитку технології біодруку. У майбутньому, ми сподіваємося, ця технологія зможе використовуватися для друку тканин і органних конструктів для імплантації пацієнтам», – говорить провідний автор дослідження доктор Ентоні Атала (Anthony Atala) [5].

---

3D-біопринтер використовує той же принцип дії, що і звичайні 3D-принтери. 3D-принтери працюють так само як і звичайні струменеві, але друкують модель в тривимірному вигляді. Такі принтери розпилюють крапельки полімеру, які сплавляються разом, після чого утворюють єдину структуру. Таким чином, за кожен прохід друкуюча головка створює маленьку полімерну лінію на об'єкті. В результаті, крок за кроком, предмет знаходить свою остаточну форму.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Потрібно спроектувати тривимірну модель вуха людини для можливості подальшого її біопринтингу та отримання біосумісного імплантату. В роботі розглянуті 3D-технології, які використовують в медицині, новітні тенденції розвитку 3D-біопринтерів. Розглянуті методи моделювання вуха людини за допомогою 3D-сканеру Artec Spider та по цифровому зображенню пацієнта. За допомогою цих методів виконується 3D-моделювання у програмному пакеті Autodesk 3ds Max та отримується твердотільна 3D-модель вуха людини.

**Створення тривимірної моделі вуха за допомогою 3D-сканера.** 3D-сканери – пристрої, призначені для сканування фізичних об'єктів та їх точного подальшого відтворення. Простими словами, тривимірний сканер робить з об'єктом те ж саме, що 2D-сканер, який сканує зображення на аркуші паперу і переносить його на комп'ютер. Тільки у випадку з 3D-сканерами сканується реальний об'єкт, а на монітор передається об'ємна модель.

В роботі сканування відбувається за допомогою 3D-сканеру Artec Spider.

3D-сканер Artec Spider – портативний пристрій для 3D-сканування з високою роздільною здатністю (50 мікрон) і точним захватом даних. Це оптимальне рішення для оцифровки невеликих предметів з дрібними деталями, розміри яких можуть бути порівняні з ручкою або сірниковою коробкою.

Цей сканер безконтактний і він являється набагато більш універсальним і, звичайно, більш компактним, який замість механічного зіткнення сприймає відображення будь-якого роду випромінювань від вуха. Причому він цілком може відтворювати не тільки форму, а й колір вуха.

Оскільки сканований об'єкт зазвичай знаходиться в місцях, де є освітлення – природне або штучне, то цілком логічно використовувати відображення наявного світла у видимому діапазоні спектра. На цьому засновані пасивні 3D-сканери, які, по суті, є спеціалізованою версією звичайної відеокамери. Однак освітленості, цілком *прийнятної* для зйомки відеосюжету може виявитися недостатньо для точної передачі деталей при скануванні, до того ж об'єкт зазвичай буває освітлений нерівномірно. Звичайно, можна використовувати спеціальні освітлювачі типу тих, що застосовуються у фотостудії, але це недешево, а головне – губляться і компактність, і мобільність.

Ручний 3D-сканер Artec Spider запускає процес, захоплюючи 3D

зображення лівого вуха (повністю розвиненого). Детальне 3D-сканування поступово матеріалізується на екрані (рис. 2).



*Рис. 2. 3D-сканування вуха*

При скануванні відбувається створення хмари точок в програмі, яка працює одночасно з 3D-сканером. Хмара точок, яку створює 3D-сканер, може безпосередньо використовуватися в програмі 3ds Max або іншій для детальнішої доробки моделі вуха людини.

Як устаткування можна використовувати різні моделі 3D-сканерів. Багато професіоналів в цій галузі віддають перевагу Artec Spider. Це ручний безконтактний 3D-сканер, що дозволяє виконувати високоточне сканування.

**Створення тривимірної моделі вуха в програмі Autodesk 3ds Max по цифровому зображенню вуха пацієнта.** Autodesk 3ds Max – це професійний програмний пакет, створений компанією Autodesk, для повноцінної роботи з 3D-графікою [4].

Для подальшого моделювання та якісного виконання тривимірної моделі треба зробити цифрове зображення вуха пацієнта.

3D-моделювання починається від завантаження отриманого цифрового зображення у робочий простір Autodesk 3ds Max. Для цього потрібно створити площину командою Plane, задати розміри цифрового зображення та присвоїти площині зображення (рис. 3).



*Рис. 3. Об'єкт Plane з зображенням вуха*

Переходимо на вид Front, створюємо площину командою Plane, натискаємо правою кнопкою мишки та вибираємо команду Convert to Editable Poly. Починаємо працювати з полігональною сіткою. Для початкової роботи користуємося командою Extend. Натискаємо на команду Extend та «втягуємо» інші ребра полігональної сітки по зовнішній частині вуха (рис. 4).

Заповнюємо всю пусту частину вуха полігональною сіткою за допомогою команди Extend (рис. 5).

Після цього переходимо на вид Perspective, потім у вкладку Modify та починаємо видавлювати полігони в середині вуха командою Select and Move.

Це необхідно для того, щоб надати об'єм вуху. Приховуємо об'єкт Plane, так як він буде заважати детальному опрацюванню моделі вуха. Повторюємо виконання команди Select and Move для точок полігональної сітки, щоб створити реалістичну модель вуха (рис. 6).

Модель вуха має дуже чіткі контури та гострі кути між полігонами. Щоб зробити плавні переходи між ними необхідно використати модифікатор TurboSmooth (рис. 7).

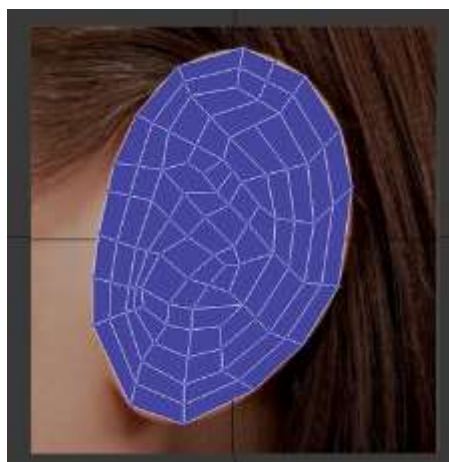
Кінцевий результат тривимірної твердотільної моделі вуха людини представлений на рис. 8.

Якщо потрібно, можна зробити дзеркальну копію моделі вуха для друку на 3D-біопринтері (рис. 9). Видаляємо модель лівого вуха та залишаємо лише модель правого для подальшої роботи з нею.

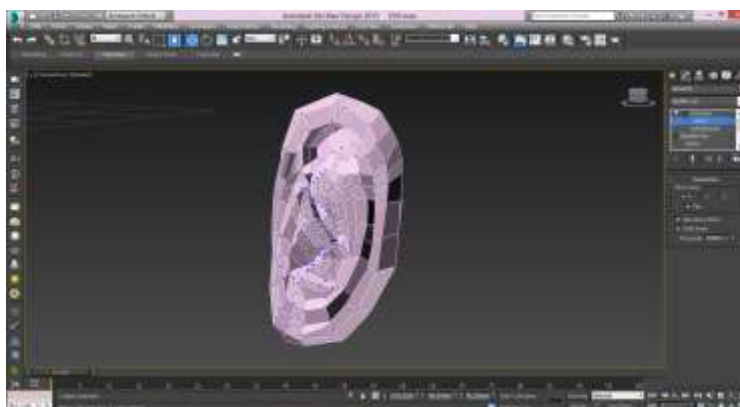
Зберігаємо кінцевий результат 3D-моделі вуха та експортуємо його як ASCII Scene Export з назвою ear.ase. Це необхідно зробити для подальшого користування 3D-моделлю.



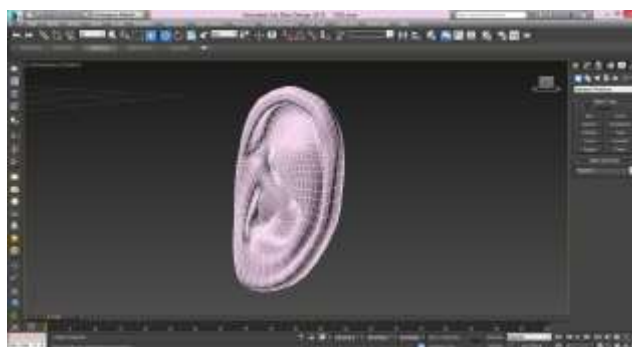
*Рис. 4. Полігональна сітка зовнішньої частини вуха*



*Рис. 5. Заповнене вуха полігональною сіткою*



*Рис. 6. Результат використання команди *Select and Move**



*Рис. 7. Використання модифікатора *TurboSmooth**





*Рис. 8. Тривимірна модель вуха людини*



*Рис. 9. Дзеркальна копія моделі вуха*

**Висновки.** Тривимірні моделі, створені на основі 3D-сканування в комплексі з тривимірним друком – незамінне досягнення в галузі медицини. 3D моделювання в медицині дозволяє створювати об'ємні моделі. Тривимірні знімки пацієнтів, зроблені за допомогою 3D-сканування, трансформуються в зображення доброї якості, а потім – в тривимірні тверді 3D-моделі.

Такі послуги коштують недешево, тому як альтернативу можливо використовувати моделювання вуха людини по цифровому зображенню з використанням програмного продукту 3ds Max. За допомогою цієї програми можна дуже точно зробити тривимірну модель вуха, не використовуючи додаткові пристрої. Модель вуха зроблена за допомогою полігонального моделювання, а це дає можливість експортувати його в фор-

маті ASCII Scene Export. Цей формат дуже зручний для збереження координат хмари точок тривимірної моделі, що потрібно для подальшої роботи.

Використання 3D-технологій в медицині дозволяє скоротити ймовірність помилки до мінімуму. Це великий прорив в області медицини. Так, маючи макет органу, який належить оперувати, хірург може набагато краще підготуватися до проведення операції.

Таким чином, впровадження сучасних методик в практичну охорону здоров'я збагачує інструментарій лікаря і виводить медицину на новий рівень: через розробку та виробництво засобів доопераційної симуляції підвищують безпеку хірургічного втручання і мінімізують ризики лікарської помилки; через оперативне створення високоточної продукції «під пацієнта» (з урахуванням специфіки його анатомії і патології) – покращують ефективність і якість медичної допомоги.

Людство з кожним днем все ближче до того дня, коли будь-який орган можна буде створити прямо в лікарні, використовуючи 3D-біопринтер, а отже безліч людей не будуть довго чекати відповідний орган від відповідного донора, як це відбувається зараз. Це врятує багато життів і, можливо, з часом, дозволить покращувати самі органи, а це відкриває величезні можливості для людства в цілому.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Енріке Канесса. Доступний 3d друк для науки, освіти та стійкого розвитку / Енріке Канесса, Карло Фонду, Марко Дзеннаро / МЦТФ, 2013. – 195 с.*
2. *Ковальов В.А. Аналіз текстури тривимірних медичних зображень // Видавничий дім «Білоруська наука», 2008. – 279 с.*
3. *Джуліан Джонс. Біоматеріали, штучні органи і інжиніринг тканин / Джуліан Джонс, Леррі Хенч // Техносфера, 2005. – 305 с.*
4. *Келлі Мердок. Autodesk 3ds Max 2013. Біблія користувача Autodesk 3ds Max 2013 Bible // М.: Діалектика, 2013. – 816 с.*
5. <https://www.nature.com/articles/nbt.3413>
6. [http://www.pit.kiev.ua/3d-printed\\_ears\\_for\\_mice](http://www.pit.kiev.ua/3d-printed_ears_for_mice)
7. [http://storage.library.opu.ua/online/conference/tez\\_52/1/1-4.pdf](http://storage.library.opu.ua/online/conference/tez_52/1/1-4.pdf)

*Стаття надійшла до редакції 12.01.2018 р.*