

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біомедичної інженерії
Кафедра трансляційної медичної біоінженерії**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

Олександр БЕСАРАБ
«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Регенеративна та біофармацевтична інженерія»
спеціальності 163 Біомедична інженерія
на тему: «Розробка процесу конструювання
функціональних протезів для тварин
на прикладі протезування нижньої кінцівки птаха»**

Виконала:

здобувачка IV курсу, групи БФ-01

Тарасова Юлія Сергіївна

Керівник:

Доцент кафедри ТМБ, к. б. н.

Поєдинок Наталія Леонідівна

Консультант з «Розробки схеми автоматизації»:

Старший викладач кафедри ТПЗА

Жураковський Ярослав Юрійович

Консультант з «Охорони праці та техніки безпеки»:

ктн, доцент кафедри ОППЦБ

Демчук Гліб Іванович

Рецензент:

асистент кафедри ББЗЛ

Сніцар Євген Вікторович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2024 рік

Відомість дипломного проєкту

№	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	БФ 0114.12.30.001 ПЗ	Пояснювальна записка	70	
3	A1	БФ 0114.12.30.002 ТС	Технологічна схема	1	
4	A1	БФ 0114.12.30.003 АС	Апаратурно-технологічна схема	1	
5	A1	БФ 0114.12.30.004 СА	Схема автоматизації	1	

				БФ 0119. 1110.001		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Тарасова Ю. С.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Поєдинок Н. Л.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. <u>ТМБ</u> Гр. <u>БФ-01</u>	
Н/контр.						
В.о. зав. каф.	Бесараб О. Б.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту

на тему: «Розробка процесу конструювання функціональних протезів для тварин на прикладі протезування нижньої кінцівки птаха»

Київ – 2024

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського» Факультет біомедичної інженерії
Кафедра трансляційної медичної біоінженерії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 163 Біомедична інженерія

Освітньо-професійна програма «Регенеративна та біофармацевтична інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

Олександр БЕСАРАБ

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт
студенту Тарасовій Юлії Сергіївні**

1. Тема проєкту: «Розробка процесу конструювання функціональних протезів для тварин на прикладі протезування нижньої кінцівки птаха», керівник проєкту Поєдинок Наталія Леонідівна, к. б. н., доцент кафедри ТМБ, затверджені наказом по університету від « 29 » травня 2024 р. № 2165-с.
2. Термін подання студентом проєкту: 16.06.2024 р.
3. Вихідні дані до проєкту: полілактид (PLA) – 750 грам, акрилонітрилбутадієнстирол (ABS) – 500 грам, полієфірефіркетон (PEEK) – 250 грам, спосіб отримання – 3Д-друк, вихід цільового продукту – 1 одиниця повністю зібраного індивідуального протезу.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, 4 розділи (медико-біологічна частина, технологічна частина, апаратурно-інженерна частина, охорона праці та техніка безпеки), висновки, перелік посилань, додатки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Технологічна схема (A1) – 1 шт., Апаратурно-технологічна схема (A1) – 1 шт., Автоматизація (A1) – 1 шт.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 3.2. Розробка схеми автоматизації	Жураковський Я. Ю., старший викладач кафедри технічних автоматизацій та програмних засобів автоматизації	27.05.2024	10.06.2023
Розділ 4. Охорона праці та техніка безпеки	Демчук Т. В., доцент кафедри охорони праці, промислової та цивільної безпеки	27.05.2024	10.06.2024

7. Дата видачі завдання 27.05.2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературний пошук за темою дипломного проєкту	01.06.2023 - 07.12.2023	
2	Вибір матеріалів та технологій для створення біонічних протезів нижніх кінцівок птахів	12.10.2023 - 12.12.2023	
3	Розгляд технологічних процесів виробництва та визначення оптимальної технології з урахуванням стандартів охорони праці та технічної безпеки	13.12.2023 - 07.02.2024	
4	Створення схеми автоматизації виробництва, технологічної схеми та апаратурно-технологічної схеми	10.02.2024 - 20.05.2024	
5	Оформлення дипломного проєкту для подальшого захисту	27.05.2024 - 04.06.2024	

Здобувач

Юлія ТАРАСОВА

Керівник

Наталія ПОЄДИНОК

РЕФЕРАТ

Реферат представляє дипломний проект, присвячений автоматизації процесів у виробництві протезів для птахів. Документ складається з 70 сторінок, включає 17 таблиць та 4 ілюстрації, а також обсяг пояснювальної записки. В проекті використано 32 джерело літератури.

Метою проекту є розробка та впровадження автоматизованих технологій для підвищення ефективності виготовлення протезів, що включає оптимізацію точності та зменшення матеріальних витрат. Використовувались сучасні методики 3D-друку і комп'ютерного моделювання, завдяки яким забезпечено високу точність та якість протезів. Також було розроблено заходи безпеки, зокрема контроль УФ-випромінювання, щоб знизити ризики під час виробництва.

Проект має значний потенціал для використання у ветеринарній практиці та може бути адаптований для потреб людської ортопедії. Результати дослідження підтверджують зростання якості життя тварин з протезами, зменшують час реабілітації після ампутацій.

Висновки проекту рекомендуються до використання у ветеринарних клініках, а також можуть бути корисними для наукових досліджень у галузі біомедичної інженерії. Розробки мають потенціал для отримання патентів та можуть бути представлені у вигляді публікацій у наукових журналах.

Ключові слова: автоматизація, протезування птахів, 3D-друк, ветеринарна медицина, біомедична інженерія.

ABSTRACT

The paper presents a diploma project dedicated to the automation of processes in the production of prostheses for birds. The document consists of 70 pages, includes 17 tables and 4 illustrations, and covers the explanatory note's content. The project utilized 32 literary sources.

The project aims to develop and implement automated technologies to enhance the efficiency of prosthesis manufacturing, which includes optimizing precision and reducing material costs. Modern 3D printing and computer modeling techniques were employed, ensuring the high accuracy and quality of the prostheses. Safety measures were also developed, including UV radiation control, to minimize risks during production.

The project has significant potential for use in veterinary practice and can be adapted for human orthopedic needs. Research results confirm an improvement in the quality of life for animals with prostheses and a reduction in rehabilitation time after amputations.

The project's conclusions are recommended for use in veterinary clinics and can also be useful for scientific research in biomedical engineering. The developments have the potential for patenting and can be presented in scientific journal publications.

Keywords: automation, avian prosthetics, 3D printing, veterinary medicine, biomedical engineering.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 МЕДИКО-БІОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	13
1.1 Медико-біологічне обґрунтування	13
1.1.1 Анатомічні та фізіологічні особливості птахів.....	13
1.1.2. Огляд існуючих протезів для птахів і аналіз їхніх недоліків та переваг.....	14
1.2 Характеристика біомедичного продукту та обґрунтування складу (конструкції)	15
1.2.1. Дослідження та вибір матеріалів.....	15
1.2.2. Вивчення сучасних технологічних рішень	17
1.3 Розробка моделі протезу	19
1.3.3. Адаптація моделей для специфічних потреб птахів	19
1.3.2. Вимоги до прототипування та протезування.....	21
1.4 Вивчення можливостей застосування розроблених протезів у людській медицині.....	22
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
2.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення.....	25
2.2 Опис технологічного процесу виготовлення	26
2.3 Матеріальний баланс виробництва	38
2.4 Контроль процесу виготовлення	42
2.5 Стандартизація біомедичної продукції.....	44
Висновки до розділу 2	45

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АПАРАТУРНО-інженерна частина	46
3.1 Обґрунтування конструкції технологічного устаткування	46
3.2 Розробка схеми автоматизації технології виготовлення.....	49
3.3 Опис розробленої схеми автоматизації	50
Висновки до розділу 3	52
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	53
4.1 Характеристика організації модернізованого виробництва	53
4.2 Аналіз основних потенційних небезпек.....	56
4.2.1 Електробезпека.....	57
4.2.2 Фізичні небезпеки: УФ-випромінювання.....	58
4.2.3 Хімічна небезпека: шкідливі речовини	59
Висновки до розділу 4	60
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63
ДОДАТКИ.....	67
Додаток А. Специфікація устаткування, виробів і матеріалів	67

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

PLA – Полілактид (Polylactic Acid)

ABS – Акрилонітрилбутадієнстирол (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

PEEK – Поліетеретеркетон (Polyether Ether Ketone)

3D – Тривимірний друк (3D Printing)

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність дипломного проекту полягає у високій потребі розробки ефективних та доступних протезів для тварин в Україні. Особливо значимим є адаптація протезів під фізіологію птахів, що вимагає інноваційного підходу до вибору матеріалів і технологій.

Потенціал застосування технологій, розроблених для протезування тварин, в дитячій ортопедії та спортивній медицині відкриває нові горизонти у покращенні якості життя людей. Це особливо актуально для дітей, які перенесли ампутації або мають вроджені аномалії кінцівок. Традиційні протези часто важкі та не повністю адаптовані до динамічних потреб ростучого дитячого організму. Інноваційні матеріали та технології, випробувані на тваринах, можуть бути модифіковані для створення легших, більш гнучких і адаптивних протезів, що враховують не тільки анатомічні, але й психологічні потреби дитини. Такі протези можуть забезпечити комфорт і безпеку під час занять спортом чи просто в повсякденному житті, сприяючи швидкій соціалізації та адаптації.

У спортивній медицині, технології протезування, розроблені спочатку для тварин, можуть значно вдосконалити процес відновлення спортсменів після травм. Протези, що поєднують в собі легкість, міцність і ергономічність, дозволяють спортсменам не тільки повернутися до тренувань, але й покращити свої спортивні показники. Індивідуальний підхід у виготовленні спортивних протезів, що включає спеціальні підходи під конкретний вид спорту та специфіку рухів, може забезпечити максимальну ефективність і комфорт використання.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета цього дипломного проекту полягає у розробці процесів конструювання зносостійких протезів для тварин, що можуть бути адаптовані для використання у дитячій ортопедії та спортивній медицині, забезпечуючи високу функціональність та поліпшення якості життя користувачів.

Основні **завдання** проекту:

1. Виявити основні вимоги до функціональності, комфорту та адаптивності протезів для тварин, аналізуючи потреби та специфічні умови їхнього використання.
2. Дослідити літературні джерела про сучасні матеріали і технології, що використовуються в протезуванні, для вибору оптимальних рішень щодо легкості, довговічності та гнучкості протезів.
3. Визначити параметри для подальшої адаптації протезів для використання у людській медицині, зокрема у дитячій ортопедії та спортивній медицині, засновуючи рішення на отриманих результатах тестувань.
4. Виконати технологічну схему процесу створення прототипу протезу.
5. Виконати апаратурно-технологічну схему виробництва прототипу протезу.
6. Керуючись висновками з аналізу літератури, розробити схему автоматизації основних процесів, що характерні при виробництві протезів.
7. Проаналізувати основні небезпеки при процесах створення протезу та розробити запобіжні заходи щодо їх попередження.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 МЕДИКО-БІОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Медико-біологічне обґрунтування

1.1.1 Анатомічні та фізіологічні особливості птахів

Протезування птахів є складним завданням, яке вимагає глибокого розуміння їхньої унікальної анатомії та фізіології. Птахи, відмінні своєю здатністю до польоту, мають легкі та міцні кістки, що дозволяє їм здійснювати польоти. Ця особливість є важливою при проектуванні протезів, адже необхідно створювати вироби, що не перевантажують тіло птаха та зберігають його маневреність та баланс [1].

Кісткова система птахів має пневматичну структуру, тобто вона наповнена повітрям, що знижує загальну масу тіла. Така структура вимагає від протезів високої точності приєднання, щоб забезпечити надійність та безпеку при використанні. Особлива увага при розробці протезів повинна приділятися забезпеченню амортизації та гнучкості, адже жорсткість конструкції може спричинити травматизацію додаткових ділянок кінцівок або тіла птаха [2].

Серцево-судинна та дихальна системи птахів також мають особливості, які необхідно враховувати при протезуванні. Ефективність дихання птахів значною мірою залежить від стану їхніх кінцівок, адже вони використовують мускулатуру крил та ніг для підтримки потоку повітря через дихальну систему. Тому протези мають сприяти природній динаміці рухів, не перешкоджаючи дихальним процесам [3].

Запропоновані методи та матеріали для створення протезів повинні враховувати не тільки механічну стійкість і легкість, але й біосумісність. Дослідження в області біоінженерії та ветеринарної медицини підтверджують, що використання інноваційних біосумісних матеріалів, таких як полімери та композитні матеріали, може значно покращити якість життя птахів з протезами [1].

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.2. Огляд існуючих протезів для птахів і аналіз їхніх недоліків та переваг.

Протезування тварин залишається важливою областю ветеринарної медицини, що покращує якість життя тварин з ампутаціями або вродженими дефектами. Розвиток протезних технологій спрямований на створення більш ефективних, функціональних та комфортних протезів для різних видів тварин, включаючи собак, котів, птахів, та навіть диких тварин. Переваги сучасних протезів включають поліпшену мобільність та здатність тварин вести активний спосіб життя. Протези допомагають запобігти компенсаторним травмам, які можуть виникнути через нерівномірне навантаження на різні частини тіла. Це особливо важливо для тварин, які активно рухаються, адже протез дозволяє їм відновити природну поставу та рухливість [1].

Недоліки існуючих протезів часто пов'язані з обмеженнями в точності підгонки та комфорті. Не всі протези адаптовані до індивідуальних особливостей тварини, що може спричинити подразнення шкіри, зсув протеза або навіть біль під час використання. Також значною проблемою є висока вартість багатьох сучасних протезів, яка обмежує доступність цих технологій для широкого кола власників тварин [4].

Згідно з науковими дослідженнями, оптимізація матеріалів, таких як поліуретани, силікони та композитні матеріали, може значно покращити функціональність протезів, роблячи їх легшими та більш міцними. Використання сучасних методів друку, таких як 3D-друк, відкриває нові можливості для створення індивідуалізованих протезів, що ідеально підходять під анатомічні особливості конкретної тварини [5].

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Характеристика біомедичного продукту та обґрунтування складу (конструкції)

1.2.1. Дослідження та вибір матеріалів

Вибір матеріалів для створення протезів птахів є критично важливим, адже вони мають бути не лише міцними та легкими, але й біосумісними та здатними витримувати різні навантаження та погодні умови. Сучасні дослідження показують, що використання композитних матеріалів, полімерів і металевих сплавів може відповідати цим вимогам.

Композитні матеріали, такі як вуглецеве волокно, відрізняються високою міцністю при низькій вазі та високою зносостійкістю. Вони забезпечують необхідну стабільність протезу при мінімізації його маси, що критично важливо для збереження природньої поведінки птахів. Наприклад, використання композитних матеріалів у протезуванні кінцівок показало збільшення функціональності протезів і покращення адаптації тварин до них [6].

Металеві сплави, зокрема титан і його сплави, використовуються для каркасів протезів завдяки їх високій міцності, стійкості до корозії та біосумісності. Титан є особливо популярним у ветеринарному протезуванні через свою здатність інтегруватися з кістковою тканиною, що може сприяти кращій фіксації протезу [7].

Полімери, такі як нейлон та силікони, використовуються для виготовлення зовнішніх частин протезів, що контактують із шкірою птахів. Ці матеріали відрізняються хорошими амортизаційними властивостями, гнучкістю та біосумісністю. Вони мінімізують ризик подразнення шкіри і дозволяють птахам комфортно використовувати протез протягом тривалого часу.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак, важливо зазначити, що деякі типи полімерів можуть вимагати спеціальної обробки для забезпечення додаткової міцності та стійкості до ультрафіолету [8].

Сучасні технології 3D-друку відіграють ключову роль у виробництві персоналізованих протезів для тварин, особливо завдяки використанню різноманітних полімерних матеріалів. Серед найбільш поширених матеріалів для 3D-друку протезів є фотополімерні інженерні смоли, PLA (полілактид) та ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол). Кожен з цих матеріалів має свої переваги та обмеження з погляду біосумісності, міцності, гнучкості та довговічності [5].

Фотополімерні смоли використовуються в стереолітографічних (SLA) 3D-принтерах, де вони відомі своєю високою точністю та здатністю формувати складні геометричні структури. Вони забезпечують гладку поверхню, що є важливим для запобігання подразненню шкіри тварин. Тим не менш, основні недоліки фотополімерних смол включають їхню потенційну токсичність та обмежену механічну міцність, що може бути проблематичним для тривалого використання у виготовленні протезів.

PLA (полілактид) є біорозкладаним термопластичним поліестером, який виготовляється з відновлюваних ресурсів, наприклад, кукурудзяного крохмалю. Він є одним з найбільш екологічно чистих 3D-друкованих матеріалів. PLA пластик характеризується гарною міцністю та жорсткістю, але він може стати крихким під впливом низьких температур. Крім того, PLA має обмежену гнучкість, що може знизити його придатність для деяких видів протезів, які вимагають високої гнучкості [9].

ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол) є ще одним популярним матеріалом для 3D-друку, відомий своєю високою міцністю та гнучкістю. ABS може витримувати більш високі механічні навантаження і має вищу стійкість до ударів, ніж PLA.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак цей матеріал виділяє токсичні випаровування під час друку, що вимагає вентиляції та може бути менш бажаним для використання в деяких додатках [9].

Після детального аналізу, ABS пластик виявляється найбільш оптимальним для виготовлення протезів, які вимагають високої міцності, гнучкості та довговічності. Незважаючи на потребу у вентиляції під час друку, його переваги у виготовленні довговічних та комфортних протезів переважають можливі ризики, особливо коли забезпечено належні умови виробництва. Всі ці матеріали та технології повинні проходити ретельне тестування на біосумісність та безпеку, щоб гарантувати, що вони не викликають алергічних реакцій або інших небажаних ефектів у птахів. Також важливим є проведення клінічних випробувань, які могли б підтвердити ефективність і безпечність використання розроблених протезів у реальних умовах.

1.2.2. Вивчення сучасних технологічних рішень

Фотополімерний 3D-друк, відомий також як стереолітографія (SLA), є однією з найбільш передових технологій для створення високодеталізованих і точних виробів, що робить її ідеальною для виготовлення малих та складних протезів для тварин. Особливість цієї технології полягає у використанні ультрафіолетового лазера для затвердіння рідкого фотополімеру шар за шаром, що дозволяє виробляти деталі з винятковою точністю та якістю поверхні. Принцип роботи фотополімерного 3D-принтера полягає в наступному: принтер складається з резервуару, який містить рідкий фоточутливий полімер, та ультрафіолетового лазера, що випромінює світло на певну довжину хвилі. Під керуванням комп'ютера лазер точно фокусується на поверхні полімеру, затвердіваючи його в точних місцях відповідно до цифрової 3D-моделі виробу. Після затвердіння одного шару платформа занурюється на величину товщини шару, і процес повторюється для наступного шару [10].

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги фотополімерного друку включають:

Висока точність та деталізація: Лазерне затвердіння дозволяє добитися надзвичайно високої точності, ідеально підходить для створення складних медичних протезів, які вимагають великої точності, наприклад, складних суглобових механізмів або деталізованих місць кріплення до кісток.

Гладка поверхня: Протези, виготовлені за допомогою SLA, мають гладку поверхню, що знижує ризик подразнення шкіри тварини і сприяє комфорту при використанні.

Можливість використання різноманітних матеріалів: Сучасні фотополімерні смоли можуть містити різні добавки для покращення механічних властивостей, таких як гнучкість, міцність або біосумісність, що дозволяє адаптувати матеріали під конкретні вимоги протезу [11].

Придатність для дрібних та детальних протезів є ключовою перевагою фотополімерного друку. Дрібні розміри протезів для птахів, таких як кінцівки або частини дзьоба, вимагають високої точності, яку складно досягти іншими видами 3D-друку. SLA дозволяє вирішити цю проблему, виготовляючи структури, що ідеально відповідають анатомічним особливостям конкретної тварини [11].

Ефективність 3D-друку полягає в його здатності точно відтворювати складні структури, які традиційні методи виробництва не можуть легко або економічно виготовити. Сучасні 3D-принтери здатні обробляти різноманітні матеріали, включаючи пластики, метали та композити, дозволяючи виготовляти протези, які є легкими, міцними та гнучкими одночасно. Особливо значущим є використання полімерів, таких як ABS та PLA, які дозволяють виготовляти деталі з високою деталізацією при відносно низьких виробничих витратах.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наукові дослідження вказують на те, що застосування 3D-друку в протезуванні тварин може значно знизити час виготовлення протезів та забезпечити кращу адаптацію до індивідуальних анатомічних особливостей тварини. Така персоналізація є критично важливою для ефективності протеза, оскільки неправильна підгонка може викликати дискомфорт або навіть травми у тварин. Бюджетність технології 3D-друку також є значущим чинником. В порівнянні з традиційними методами виробництва, 3D-друк знижує витрати на матеріали та виробництво, оскільки матеріал використовується лише там, де це необхідно, і мінімізується відходи. Такий підхід дозволяє виготовляти протези навіть для рідкісних чи екзотичних тварин, які раніше могли бути обмежені через високу вартість кастомізованих протезів. Згідно з даними, протези, виготовлені за допомогою 3D-друку, можуть скоротити вартість виготовлення на 70% у порівнянні з традиційними методами. Це робить технологію особливо привабливою для ветеринарних клінік та реабілітаційних центрів, що працюють з обмеженим бюджетом [10].

1.3 Розробка моделі протезу

1.3.3. Адаптація моделей для специфічних потреб птахів

Створення практичного та зносостійкого протезу на базі пташиного організму потребує гарного розуміння специфіки анатомії та фізіології птахів.

На рентгенівському знімку здорового птаха наглядно видно, що його кістки мають пневматичну структуру, тобто є пористими (Рис.1.1). Ця особливість дозволяє птахам зменшити вагу свого тіла для можливості польоту [2]. Протези для птахів повинні бути особливо легкими, щоб не

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевантажувати кістки і дозволяти звичайну активність без додаткового навантаження.

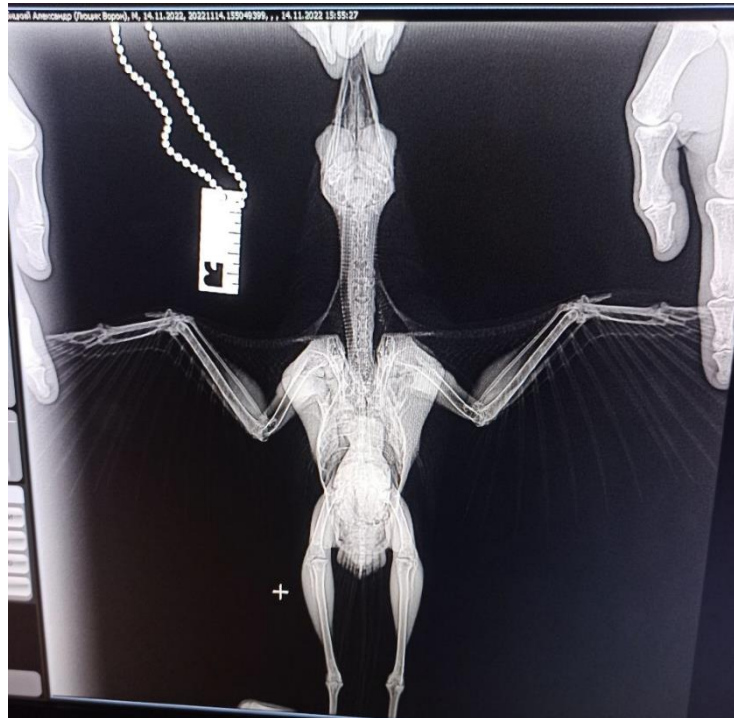


Рисунок 1.1 – Рентген здорового грака в порівнянні з кістками людини та лінійкою для масштабу

Малі розміри кінцівок вимагають високої точності в виготовленні протезів, щоб забезпечити ідеальне прилягання та відновлення функцій.

Гарним прикладом розуміння функціональності протезу може бути анатомія лебедя. Вони мають особливу будову кінцівок, які використовуються не тільки для пересування землею, але і як засіб для підтримки плавання. Також, їх будова ефективно амортизує зміщений центр тяжіння тіла [12]. Тому, кожен протез для лебедя має бути розроблений з урахуванням не тільки ходіння по суші, але й здатності ефективно використовуватися у воді (Рис. 1.2).

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для вирішення анатомічної функції кінцівки – амортизації, протез для водоплаваючих птахів має бути достатньо пружним.



Рисунок 1.2 – Перелом лапи лебедя в області між цівкою та пальцями з ампутацією

1.3.2. Вимоги до прототипування та протезування

Виходячи з попереднього аналізу можна зробити ряд висновків щодо вимог до прототипів та протезів для птахів.

Таблиця 1.1 – Ключові характеристики готових протезів

№	Вимога до протеза	Опис
1	Легкість матеріалів	Матеріали протезу повинні бути легкими, щоб не перевантажувати тіло і не впливати на його рухливість.
2	Міцність конструкції	Протези мають бути міцними, щоб витримувати щоденні навантаження, забезпечуючи довговічність і надійність.
3	Біосумісність	Матеріали протезу повинні бути біосумісними, щоб не спричиняти алергічних реакцій чи відторгнення.
4	Гнучкість і амортизація	Протези повинні дозволяти тваринам відчувати природний рух, маючи адекватну амортизацію.
5	Ергономічність	Дизайн протезу має бути ергономічно пристосованим до особливостей кожного виду тварини.

Таким чином створення повноцінного протезу повинно включати в себе розуміння всіх анатомічних потреб птаха ще на етапі розробки прототипу. Приклад такого підходу наведений нижче (Рис.1.3). Необхідна амортизація, яку виконує кінцівка лебедя задля балансування його тіла, була створена за допомогою доповнення у вигляді пружини.



Рисунок 1.3 – Приклад прототипу протезу з урахуванням анатомічних особливостей тварини

1.4 Вивчення можливостей застосування розроблених протезів у людській медицині

Технології та матеріали, розроблені для протезування тварин, можуть знайти застосування в людській медицині, зокрема у виготовленні біомедичних протезів для людей. Особливу увагу заслуговують інновації в області 3D-друку, які відкривають нові можливості для створення індивідуалізованих, високоадаптивних протезів з використанням біосумісних полімерів. Стереолітографія (SLA), технологія 3D-друку, яка використовує ультрафіолетовий лазер для затвердіння рідких фотополімерів, демонструє особливі переваги у точності та якості виробів.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вона ідеально підходить для створення деталізованих медичних протезів завдяки здатності формувати складні структури з високою роздільною здатністю. Така точність особливо важлива при виготовленні компонентів, які мають підходити до унікальних анатомічних особливостей пацієнта. Наукові дослідження підкреслюють, що полімери, які використовуються в SLA, можуть бути модифіковані для досягнення необхідних механічних властивостей та біосумісності [13].

Водночас, перед використанням у людській медицині, матеріали і технології мають пройти строгий контроль за їх біосумісністю та безпечністю. Наприклад, дослідження засвідчили, що деякі фотополімери можуть виділяти токсичні речовини під час процесу полімеризації, що вимагає подальшої модифікації хімічного складу для забезпечення безпеки пацієнтів. Інтеграція таких технологій з існуючими медичними рішеннями потребує глибокого аналізу поточних медичних стандартів та протоколів. Це дозволить визначити можливі точки синергії та необхідність адаптації технологій під конкретні медичні потреби. Адаптація 3D-друку для виробництва протезів в людській медицині обіцяє значне скорочення витрат та часу виробництва, а також покращення якості життя пацієнтів, що потребують протезування.

Загалом, потенціал застосування ветеринарних технологій протезування в людській медицині відкриває нові перспективи для покращення реабілітаційних технологій, забезпечуючи більшу доступність та адаптивність медичних виробів.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 1

У даному розділі було розглянуто медико-біологічні аспекти протезування тварин з можливістю застосування отриманих технологій та матеріалів у людській медицині. Було здійснено аналіз анатомічних та фізіологічних особливостей птахів, що є важливим для розуміння потреб при проектуванні протезів, а також розглянуто сучасні матеріали та технології 3D-друку, які використовуються для створення функціональних, міцних і легких протезів. Зокрема, підкреслено значення стереолітографії (SLA) та інших форм 3D-друку, які дозволяють виробляти складні за конфігурацією протези з високою точністю. Вивчення потенційної переносимості цих технологій у медичну практику показало, що вони можуть значно вплинути на розвиток протезування у людей, особливо забезпечуючи персоналізовані рішення, що підвищують комфорт та ефективність протезів.

Також у розділі було визначено можливості інтеграції нових розробок з існуючими медичними рішеннями, що відкриває перспективи для подальшого використання інноваційних матеріалів та методик у клінічній практиці. Підходи, розроблені для протезування тварин, можуть бути адаптовані для вирішення специфічних медичних завдань у лікуванні людей, зокрема у реабілітації після ампутацій або у виробництві протезів для дітей та спортсменів.

Враховуючи актуальність і важливість розробки протезів, які відповідають як технічним, так і біологічним вимогам, цей розділ надає обґрунтування для подальшого розвитку та впровадження новітніх технологій у сфері біомедицини. Використання перспективних матеріалів і технологій відіграє ключову роль у покращенні якості життя тварин та людей, що вимагають протезування.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення

Обираючи технологію для виготовлення протезів для птахів, особлива увага приділяється матеріалам та методам, які максимізують функціональність, довговічність та комфорт використання. АБС-пластик і фотополімерна печать (стереолітографія, SLA) виявились ідеальними рішеннями, що відповідають цим критеріям.

АБС-пластик, завдяки своїм унікальним властивостям, став одним із найпопулярніших матеріалів у 3D-друку. Його висока міцність та жорсткість роблять матеріал ідеальним для виготовлення протезів, що витримують значні навантаження без деформації. АБС також має відмінну термостійкість та відносну гнучкість, яка дозволяє протезам підтримувати активний спосіб життя птахів. Цей матеріал демонструє хорошу адгезію між шарами під час друку, що забезпечує виробам додаткову міцність та зносостійкість [9].

Стереолітографія як метод фотополімерної печаті використовує ультрафіолетовий лазер для точного затвердіння рідкого фотополімеру відповідно до цифрової 3D-моделі. Така технологія дозволяє виробляти високодеталізовані протези з надзвичайно гладкою поверхнею, що мінімізує подразнення шкіри птахів та сприяє комфорту при носінні. Оскільки кожен шар полімеру затвердіває з великою точністю, SLA ідеально підходить для виготовлення складних геометричних структур, які часто необхідні в медичних протезах [13].

Окрім технічних переваг, важливим аспектом є економічна вигода фотополімерної печаті.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В порівнянні з традиційними методами виготовлення, такими як лиття або механічна обробка, SLA значно знижує витрати на матеріали та виробництво. Матеріал використовується лише там, де це необхідно для створення самого протезу, що значно зменшує відходи. Це робить SLA особливо привабливим для виготовлення індивідуалізованих медичних виробів, де кожен протез має унікальні розміри та форму, адаптовану під конкретного пацієнта. Стереолітографія також відома своєю швидкістю виробництва, що є важливим для медичного застосування, де швидкість може бути критичною для відновлення пацієнта після травми або операції. Швидке виробництво дозволяє медичним фахівцям швидше отримувати готові протези для тестування та коригування, забезпечуючи кращі результати лікування [13].

З урахуванням усіх цих факторів, вибір АБС-пластику і фотополімерної печаті для виготовлення протезів для птахів є логічним та обґрунтованим рішенням. Ці технології не тільки підвищують ефективність виготовлення, але й сприяють виробництву якісних, міцних та комфортних медичних протезів, які забезпечують високий рівень життя та активність птахів.

2.2 Опис технологічного процесу виготовлення

ДР 1 Санітарна підготовка виробництва

ДР1.1 Підготовка дезинфікуючих розчинів

Процес починається з першого етапу, названого 'Санітарна підготовка виробництва', де основне завдання – підготувати виробничий простір до санітарних стандартів. На цьому етапі немає вхідних даних, а результатом є санітарно підготовлений простір, контрольований на певних точках Кт і Кмб.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На цьому етапі основна увага приділяється вибору та приготуванню дезінфікуючих розчинів. Вибір розчинів залежить від типу обладнання та матеріалів, з якими вони контактують. Важливо обрати засоби, які ефективно видаляють мікроорганізми, але не пошкоджують поверхні обладнання. Розчини готуються у спеціально відведених приміщеннях з використанням точних ваг та мірних посудин, щоб забезпечити потрібну концентрацію.

ДР1.2 Підготовка персоналу

На етапі ДР1.2, що стосується санітарної підготовки персоналу, особлива увага приділяється навчанню працівників забезпеченню гігієнічних умов у виробничому процесі. Цей процес включає ретельне ознайомлення з правилами вибору, носіння та догляду за спеціальним одягом, який необхідний для роботи в умовах, що вимагають високого рівня санітарії. Процедури включають в себе правила використання захисних рукавичок, які є важливим елементом у запобіганні контамінації та забезпеченні безпеки працівників під час роботи з хімічними речовинами та іншими потенційно небезпечними матеріалами. Крім того, навчання охоплює тематику правильної обробки та дезінфекції робочих поверхонь та інструментів, щоб мінімізувати ризик мікробіологічного забруднення. Працівники отримують детальні інструкції з підготовки робочих зон до і після виробничих процесів, включаючи правильне використання дезінфікуючих засобів. Важливою частиною навчання є також загальні інструктажі з роботи та технічної безпеки, які покликані забезпечити повну обізнаність персоналу щодо заходів безпеки, необхідних для запобігання аварійних ситуацій на виробництві. Це включає в себе розуміння небезпек, пов'язаних із роботою в певних умовах, та методи їх запобігання.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДР 2 Підготовка виробничих приміщень та комунікацій

ДР 2.1 Стерилізація та підготовка інструментів

На цьому етапі проводиться стерилізація всіх інструментів, які будуть використовуватися у виробництві. Це включає очищення, дезінфекцію та термічну обробку інструментів. Кожен інструмент перевіряється на наявність пошкоджень та зносу.

ДР 2.2 Прибирання приміщень

Прибирання виробничих приміщень включає вологе прибирання підлоги, стін, обладнання, а також вентиляційних систем. Використовуються спеціалізовані миючі та дезінфекційні засоби, які не залишають слідів та не впливають на якість виробництва.

ДР 3 Підготовка обладнання перед використанням

ДР 3.1 Підготовка філаменту для друку

На цьому етапі основна увага приділяється якості філаменту, який використовується для 3D друку протезів. Філамент ABS має бути збережений у сухому, захищеному від світла та пилу місці, щоб уникнути будь-яких забруднень чи вологи, які можуть вплинути на якість друку [9]. Перед використанням кожен рулон філаменту ретельно перевіряється на наявність дефектів, таких як вузли, нерівномірність діаметра або сторонні включення. Такі дефекти можуть призвести до збоїв під час друку та погіршення якості готового продукту.

ДР 3.1.1 Нагрівання хотенда

На цьому етапі важливо точно налаштувати температуру нагрівання хотенда 3D принтера.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Неправильна температура може призвести до неправильного розплавлення філаменту, що впливає на якість друку. Температура встановлюється з урахуванням типу філаменту (температура плавлення ABS становить 210-240°C) і контролюється за допомогою вбудованих датчиків принтера [14]. Ретельно відслідковується рівномірність нагрівання по всій довжині хотенда, а також відсутність перегріву, який може призвести до пошкодження обладнання або пожежі.

ДР 3.1.2 Завантаження нитки в екструдер

Під час завантаження філаменту в екструдер принтера необхідно переконатися, що він вільно проходить через напрямні і екструдер. Цей процес включає перевірку на наявність забруднень чи засмічень у шляху подачі філаменту, що можуть призвести до зупинки або зниження якості друку [14]. Також слід переконатися, що філамент правильно зафіксований у екструдері, щоб забезпечити стабільну та рівномірну подачу матеріалу під час друку.

ДР 3.2 Вирівнювання та очистка платформи принтеру

Ретельне вирівнювання платформи є критично важливим для забезпечення, щоб перший шар філаменту правильно прилягав до платформи. Нерівна платформа може призвести до деформації чи відшарування друкованого об'єкта. Перед процесом вирівнювання слід провести очистку платформи, щоб видалити залишки попередніх друків або забруднення, які можуть перешкоджати адгезії. Використовуються спеціальні очищувальні засоби, які не залишають слідів і не пошкоджують поверхню платформи.

ДР 3.3 Калібрування платформи принтеру

Калібрування платформи принтеру - це процес, що забезпечує точне позиціонування платформи відносно друкарського сопла.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це включає регулювання висоти та рівня платформи, щоб уникнути занадто близького або занадто віддаленого контакту з соплом, що може вплинути на якість друку. Правильне калібрування допомагає забезпечити, що перший шар філаменту рівномірно розподіляється по всій поверхні платформи, що є вирішальним для успішного друку складних деталей, як наприклад, протезів для тварин. Процедура калібрування зазвичай включає в себе використання спеціалізованих інструментів та програмного забезпечення, які дозволяють точно налаштувати відстань між соплом та платформою, а також перевірку горизонтальності платформи. Окрім цього, налаштовується швидкість друку та температура, виходячи з матеріалу філаменту та специфікацій об'єкта, що друкуються, щоб забезпечити оптимальні умови для друку [14].

ТП 4 Зняття гіпсового відбитка з кінцівки тварини

На цьому етапі проводиться зняття точного гіпсового відбитка кінцівки тварини, який використовуватиметься як основа для створення індивідуального протезу. Важливо забезпечити, щоб тварина була комфортна та нерухома під час процедури. Гіпс наноситься на кінцівку, формуючи м'яку обгортку, яка застигає, приймаючи точну форму кінцівки. Після застигання гіпсу, форма знімається з кінцівки тварини та відправляється на подальшу обробку.

ТП 5 Оцифрування відбитка у САПР програмі

Цей етап включає в себе оцифрування гіпсового відбитка за допомогою сканера високої точності. Сканування дозволяє отримати тривимірну цифрову модель кінцівки, яка є точною копією оригінальної гіпсової форми. Отримані дані імпортуються в САПР програму для подальшого моделювання.

ТП 6 Створення 3Д-моделі протезу у CAD-системі

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На цьому етапі фахівець використовує отриману 3D-модель кінцівки для розробки конструкції протезу. Завдання полягає у створенні моделі протезу, яка буде ергономічно та функціонально відповідати особливостям кінцівки тварини. Модель повинна враховувати різні фактори, такі як вага тварини, рівень активності, індивідуальні особливості анатомії. CAD-система дозволяє детально налаштувати форму, розміри та інші характеристики протезу, щоб максимально адаптувати його під потреби тварини. Цей процес включає ітерації та вдосконалення дизайну, доки не буде досягнута оптимальна конфігурація протезу.

ТП 7 Адаптація САПР-файлу моделі до 3D-друку

ТП 7.1 Переведення 3D-моделі слайсером в формат G-code

Після завершення проектування протезу у CAD-системі, наступним кроком є перетворення моделі в формат, сумісний з 3D-принтером. Використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення - слайсер, 3D-модель трансформується в G-code, який містить інструкції для 3D-принтера про те, як будувати кожен шар протезу. Слайсер дозволяє детально налаштувати параметри друку, такі як товщина шару, швидкість друку, температуру матеріалу, а також необхідні підтримки для складних елементів конструкції.

ТП 7.2 Моделювання опорних структур

Цей етап важливий для гарантування стабільності і точності друку, особливо в частинах конструкції з великими перекриттями або складною геометрією. Опорні структури розробляються таким чином, щоб підтримувати елементи протезу під час друку, але при цьому їх можна було легко видалити після завершення друкованого процесу без пошкодження самої конструкції протезу. Моделювання опорних структур потребує точного розрахунку та проектування, щоб забезпечити достатню підтримку при мінімальному використанні матеріалу та зусиллях на їх видалення. Це включає визначення

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимальних точок підтримки, а також налаштування їх густини та міцності відповідно до конкретних вимог до протезу.

ТП 8 3D-друк прототипу протезу

Після детального планування та підготовки 3D-моделі протезу, наступним кроком є його друк. 3D-друк прототипу протезу вимагає високої точності та використання відповідних матеріалів, які мають бути міцними, але в той же час достатньо гнучкими для комфорту тварини. Процес друку включає ретельне налаштування 3D-принтера, включаючи температуру, швидкість друку та розміщення моделі на друкувальній платформі. Точність друку критично важлива для забезпечення, що кінцевий продукт буде відповідати всім вимірам та специфікаціям, розробленим на попередніх етапах.

ТП 9 Обробка прототипу ізопропіловим спиртом

Після завершення 3D-друку протезу на фотополімерному принтері наступним важливим етапом є обробка прототипу ізопропіловим спиртом. Цей процес необхідний для видалення незатверділого резидуального фотополімеру, який може залишитися на поверхні та в порах протезу після друку. Перш за все, прототип потрібно акуратно витягнути з принтера, забезпечуючи, щоб всі механізми принтера були чистими та вільними від забруднень. Далі прототип поміщають у ванну з ізопропіловим спиртом на кілька хвилин, що допомагає розчинити та видалити незатверділий полімер. Після цього проводять друге промивання у новій ванні з чистим спиртом для повного видалення залишків полімеру [13].

Після завершення промивання прототип потрібно ретельно висушити, використовуючи або природнє висушування при кімнатній температурі, або активне висушування за допомогою повітряних потоків.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повне видалення спирту є обов'язковим, оскільки його залишки можуть негативно вплинути на властивості матеріалу протезу.

ТП 10 Опромінення прототипу УФ-лампю

Опромінення прототипу УФ-лампю є критичним етапом у процесі виготовлення протезів, який слідує за обробкою ізопропіловим спиртом. Цей процес використовує ультрафіолетове світло для додаткового затвердіння та поліпшення механічних властивостей фотополімерного матеріалу, з якого виготовлений протез. Після того, як прототип висушено та відчищено від залишків рідкого полімеру та спирту, він поміщається під УФ-лампу. УФ-опромінення допомагає повністю затвердити матеріал, збільшуючи його довговічність та зносостійкість. Процес опромінення може тривати від кількох хвилин до декількох годин, залежно від розміру протезу та специфіки використовуваного полімеру.

УФ-опромінення не тільки забезпечує додаткове затвердіння зовнішніх шарів, але й проникає глибше в структуру матеріалу, забезпечуючи однорідне затвердіння по всій товщі виробу. Це особливо важливо для забезпечення рівномірних механічних властивостей у всіх частинах протезу, що вкрай важливо для функціональності та надійності протезу при його використанні [13].

Крім того, опромінення УФ-світлом може допомогти знищити мікроорганізми на поверхні протезу, забезпечуючи його стерильність до моменту використання. Це особливо актуально для медичних протезів, де вимоги до стерильності високі. Завершальний етап опромінення УФ-лампю забезпечує, що протез буде безпечним і довговічним для використання, міцним на стиснення та згинання, а також стійким до зовнішніх умов, що можуть включати вологість та температурні коливання.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, опромінення УФ-лампкою є необхідним для забезпечення оптимальних властивостей готового протезу.

ТП 11 Обробка після друку прототипу протезу

ТП 11.1 Видалення опорних структур

Після завершення друку, першим кроком у обробці прототипу є видалення опорних структур. Ці структури, які були необхідні для підтримки моделі під час друку, видаляються за допомогою спеціалізованих інструментів. Важливо зробити це обережно, щоб не пошкодити сам прототип протезу.

ТП 11.2 Шліфування поверхні прототипу від дефектів

Шліфування поверхні прототипу є наступним кроком і допомагає усунути будь-які нерівності або дефекти, що виникли під час друку. Цей процес виконується за допомогою різних абразивних матеріалів та інструментів для досягнення гладкої та однорідної поверхні.

ТП 11.3 Фарбування поверхні прототипу протезу

Фарбування прототипу виконується для надання йому естетичного вигляду та захисту від зовнішніх впливів. Використовуються фарби, які добре зчіплюються з матеріалом протезу і стійкі до зносу. Фарбування може бути виконане в кольори, що імітують природний вигляд кінцівки тварини, або використовувати спеціальні кольори для забезпечення візуальної привабливості. Важливо, щоб фарба була нетоксичною та безпечною для тварини.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТП 11.4 Полірування поверхні прототипу

Після фарбування прототипу проводиться його полірування. Цей процес допомагає зробити поверхню протезу більш гладкою та блискучою, що підвищує естетичний вигляд і сприяє комфорту тварини під час використання протезу. Полірування виконується за допомогою м'яких полірувальних матеріалів та спеціальних хімічних речовин.

ТП 11.5 Склейка частин прототипу протезу

У випадках, коли протез складається з кількох частин, наступним кроком є їх склейка. Для цього використовуються спеціалізовані клеї, які забезпечують міцне з'єднання деталей, одночасно зберігаючи необхідну гнучкість конструкції. Склейка повинна виконуватися акуратно, щоб уникнути виникнення зазорів або нерівностей на стиках. Завершення цих етапів технологічного процесу є важливим для створення функціонального та високоякісного прототипу протезу для тварин. Від точності 3D-друку до деталей фінішної обробки, кожен крок вимагає уваги до деталей та високої кваліфікації фахівців. Ці процедури забезпечують, що кожен протез буде не тільки функціонально відповідним, але й комфортним для тварини, а також матиме естетично привабливий зовнішній вигляд. Всі ці кроки сприяють створенню продукту, який може значно покращити якість життя тварини з фізичними обмеженнями.

ТП 12 Фінальна збірка кінцевого протезу

ТП 12.1 Кінцева обробка всіх окремих деталей

На цьому етапі всі частини протезу, які були виготовлені та оброблені на попередніх етапах, піддаються останній обробці перед збіркою. Це включає точне шліфування, полірування та за необхідності - фарбування деталей. Завдання полягає у тому, щоб кожна частина мала гладку та акуратну

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхню, вільну від будь-яких дефектів, які можуть вплинути на функціональність або комфорт протезу.

ТП 12.2 Інтеграція всіх механічних систем та елементів

На цьому етапі всі окремі деталі та механічні елементи протезу збираються разом. Це включає в себе монтаж рухомих частин, кріплення, шарнірів, а також інтеграцію будь-яких спеціальних механізмів, які можуть бути необхідні для функціонування протезу. Увага приділяється тому, щоб усі частини добре фіксувалися та взаємодіяли між собою без зайвого тертя або зусиль.

ТП 12.3 Загальна перевірка кінцевого продукту на відповідність вимогам

Після збірки кінцевого протезу проводиться його ретельна перевірка. Це включає оцінку зовнішнього вигляду, перевірку міцності з'єднань та функціональність всіх рухомих частин. Контроль якості забезпечує, що готовий протез відповідає всім встановленим стандартам та специфікаціям.

ПМВ 13 Пакування та маркування продукції за протоколом

На цьому етапі готовий протез пакується для зберігання та транспортування. Пакування виконується таким чином, щоб забезпечити максимальний захист протезу від ушкоджень. Також на продукцію наноситься маркування, яке містить інформацію про виробника, дату виготовлення, технічні характеристики та інші важливі дані, які можуть бути корисними як для медичних фахівців, так і для кінцевих користувачів. Контрольні точки включають перевірку упаковки. Всі відомості на маркуванні повинні бути чіткими та легкочитаними, щоб забезпечити легкий доступ до необхідної інформації.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПМВ 14 Розподіл та транспортування продукції до замовника

Одним з останніх етапів є доставка готової продукції до замовника. Це включає в себе організацію логістики для ефективного та безпечного транспортування протезів. Важливо, щоб під час транспортування протези були належним чином захищені від впливів, таких як удари, вібрації або зміни температури, які можуть привести до їх пошкодження. Розподіл продукції має відбуватися з урахуванням індивідуальних потреб та вимог кожного замовника, а також забезпечувати своєчасність та точність доставки.

ДР 15 Підтримка клієнтів після виконання замовлення

ДР 15.1 Інструктування та технічна підтримка стосовно продукту

Після доставки протезу клієнту надається докладне інструктування щодо його використання та догляду. Цей процес включає консультації з ветеринарами та спеціалістами, які допомагають клієнтам розуміти, як правильно встановлювати протез на тварину, як підтримувати його в чистоті, та як слідкувати за здоров'ям тварини під час використання протезу. Технічна підтримка також включає в себе консультації з приводу можливих проблем або необхідних корекцій у використанні протезу.

ДР 15.2 Анкетування клієнта з приводу якості обслуговування

Для забезпечення високого рівня задоволення клієнтів та постійного вдосконалення сервісу, проводиться анкетування клієнтів. Вони запрошуються надати відгуки про свій досвід взаємодії з компанією, якість продукту та ефективність підтримки. Ця інформація використовується для аналізу та впровадження відповідних поліпшень у роботі компанії.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗВ 16 Знешкодження відходів

На останньому етапі виробничого процесу, особлива увага приділяється екологічному знешкодженню відходів. Усі матеріали, які не були використані або які є відходами процесу виробництва, збираються та утилізуються відповідно до екологічних норм та стандартів. Це включає сортування відходів, їх переробку або безпечне знищення. ЗВ 16 гарантує, що виробництво протезів не тільки є ефективним та відповідає потребам клієнтів, але й здійснюється з урахуванням екологічної відповідальності та зниження негативного впливу на довкілля.

2.3 Матеріальний баланс виробництва

Таблиця 2.1 – Матеріальний баланс

Використано					Отримано				
Назва сировини, матеріалів, напівпродуктів		Кількість			Назва сировини, матеріалів, напівпродуктів		Кількість		
		кг	шт	мл			кг	шт	мл
ТП 4 Зняття гіпсового відбитка з кінцівки тварини									
Ортопедичний гіпс 3M Scotchcast Plus Casting Tape		-	5	-	Гіпсовий відбиток кінцівки	-	1	-	
Вода		-	-	2000					
Медичний бинт Johnson & Johnson Band-Aid Brand of First Aid Products Gauze Pads		-	3	-					
Пластиковий пакет Glad ForceFlex Plus Tall Kitchen Drawstring Bags		-	1	-					
					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ				Арк.
									38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Нітрилові рукавички Kimberly-Clark Professional Purple Nitrile Exam Gloves	-	1	-				
Ножиці	-	1	-				
Підкладка з пінополіуретану FoamTouch Upholstery Foam	-	1	-				
Маркер	-	1	-				
Хлоргексидин	-	-	100				
Всього	-	13	2100	Всього	-	1	-

ТП 5 Оцифрування відбитка у САПР програмі

Гіпсовий відбиток кінцівки	-	1	-	Оцифрований відбиток кінцівки	-	1	-
ПК з функціонуючою САПР	-	1	-				
Всього	-	2	-	Всього	-	1	-

ТП 8 3D-друк прототипу протезу

Конічні насадки	-	3	-	Використані насадки	-	3	-
Полілактид	0,75	-	-	Прототип основної структури протезу	-	1	-
3D-модель основної частини протезу	-	1	-				
Акрилонітрил- бутадієнстирол	0,5	-	-	Посилені елементи протезу	-	5	-
3D-модель посилених елементів протезу	-	1	-				

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Полієфірефіркетон	0,25	-	-	Елементи, що контактують зі шкірою	-	2	-
3D-модель біосумісних елементів протезу	-	1	-				
Клейка стрічка	-	3	-	Використана стрічка	-	3	-
Всього	1,5	9	-	Всього	-	14	-
ТП 9 Обробка після друку прототипу протезу							
Прототип протезу	-	1	-	Оброблений протез	-	1	-
Захисні окуляри 3M Safety Glasses	-	1	-	Захист у процесі обробки	-	1	-
Захисні рукавички (пара) Ansell HyFlex	-	1	-				
Ножиці	-	1	-	Видалення опорних структур	-	1	-
Наждачний папір з зернистістю 200 grit	-	2	-				
Наждачний папір з зернистістю 300 grit	-	2	-	Грубе шліфування, видалення шорсткості	-	1	-
Ґрунтувальний барвник Rust-Oleum Zinsser Bulls Eye 1-2-3 Primer	-	-	500	Фарбування та лакування протезу	-	1	-
Акрилова фарба Liquitex Basics Acrylic Paint	-	-	500				

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прозорий лак Krylon Crystal Clear Acrylic Coating	-	-	500	Фарбування та лакування протезу	-	1	-
Пензель Da Vinci Brushes	-	1					
Наждачний папір з зернистістю 800 grit	-	2	-	Дрібне шліфування, полірування	-	1	-
Полірувальна паста на основі силікону	-	-	50				
Всього	1	11	1550	Всього	-	6	-
ТП 12 Фінальна збірка кінцевого протезу							
Прототип основної структури протезу	-	1	-	Готовий протез	-	1	-
Посилені елементи протезу	-	5	-				
Елементи, що контактують зі шкірою	-	2	-				
Клеєвий пістолет	-	1	-				
Клей	-	-	100				
Силіконова підкладка	-	2	-				

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всього	-	11	100	Всього	-	1	-
ПМВ 13 Пакування та маркування продукції за протоколом							
Готовий протез	-	1	-	Запакований продукт	-	1	-
Коробка для упаковки	-	1	-				
Пухирчаста плівка	0,3	-	-				
Пінополістирольні гранули	0,05	-	-				
Скотч	-	1	-				
Всього	0,35	3	-	Всього	-	1	-
ПМВ 14 Розподіл та транспортування продукції до замовника							
Запакований продукт	-	1	-	Продукт, доставлений до замовника	-	1	-
Кур'єрська/поштова служба	-	1	-				
Всього	-	2	-	Всього	-	1	-

2.4 Контроль процесу виготовлення

Значний прогрес у сфері виробництва медичних виробів, зокрема протезів для тварин, вимагає дотримання строгих стандартів якості та безпеки, які забезпечують ефективність і надійність кінцевого продукту. Вибір АБС-пластика та фотополімерної печаті для створення протезів є результатом глибокого аналізу технічних можливостей, вартісної ефективності та вимог нормативних документів.

Передусім, АБС-пластик вирізняється високою міцністю, термостійкістю та достатньою гнучкістю, що є критично важливим для динамічно навантажених протезів птахів [9].

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою перевагою є також його здатність до точної і якісної обробки за допомогою 3D-друку, як зазначено в ДСТУ EN ISO 13485:2018 та ДСТУ ISO 10993-1:2022, що встановлюють вимоги до систем управління якістю та біологічної безпеки медичних виробів.

Фотополімерна печать (SLA) обрана з огляду на її здатність створювати складні геометрії з високою точністю, що є незамінним при виготовленні маленьких, деталізованих медичних протезів. Ця технологія відповідає вимогам Настанови СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2020, яка регулює виробничу практику з оцінки якості вакцин, що є порівнянною з виробництвом медичних протезів у плані строгості контролю процесів [17].

Стереолітографія також дозволяє ефективно управляти якістю продукції завдяки можливостям точного налаштування параметрів друку, що відповідає критеріям ДСТУ ISO 19011:2019 – національному стандарту, що містить настанови щодо аудиту систем управління.

Контроль якості виробничого процесу, особливо у стадії підготовки виробничих приміщень та обладнання, регулюється ДСТУ EN ISO 15189:2022, який встановлює вимоги до якості та компетентності медичних лабораторій. Це забезпечує високий рівень санітарної безпеки та ефективності всіх використовуваних матеріалів та технологій.

На кожному етапі виробництва, від санітарної підготовки до кінцевої перевірки готового продукту, важливо дотримуватись принципів ДСТУ ISO 31000:2018, що надає настанови з управління ризиками, що сприяє попередженню будь-яких можливих виробничих проблем.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Стандартизація біомедичної продукції

Таблиця 2.2 відображає основні аспекти, які необхідно контролювати для забезпечення високої якості та безпеки протезів, виготовлених за допомогою фотополімерної 3D-друку. Вона включає в себе як механічні властивості, так і біологічну безпеку продукту, забезпечуючи їх відповідність медичним стандартам.

Таблиця 2.2 – Специфікація якості

Показник контролю	Встановлені значення	Методи контролю
Міцність	Витримує навантаження до 200 Н	Випробування на розтягнення
Гнучкість	Мінімальний радіус вигину 30 мм	Випробування на вигин
Стерильність	Відсутність патогенних мікроорганізмів	Газова стерилізація, бактеріологічний контроль
Токсичність	Відповідає класу 6 ISO 10993-5	Біологічні тести in vitro
Водопоглинання	Максимум 1,5%	Гравіметричний аналіз
Хімічна стійкість	Стійкість до розчинників і масел	Хімічний аналіз
Довговічність	Мінімум 5 років служби	Випробування на старіння

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було детально розглянуто обґрунтування вибору технології для виготовлення протезів, яке базується на вимогах до високої міцності, гнучкості та доступності матеріалів і технологій. Було визначено, що фотополімерний 3D-друк ідеально підходить для створення складних та високодеталізованих протезів завдяки його здатності точно відтворювати необхідні форми і структури.

Особливу увагу приділено використанню ABS-пластику, що виявився найбільш оптимальним варіантом для створення міцних і довговічних протезів завдяки його фізичним характеристикам.

Розглянуто процеси стандартизації виробництва, які забезпечують дотримання необхідних стандартів якості і безпеки відповідно до встановлених норм. Введення чітких стандартів сприяє виробництву протезів, що відповідають як технічним, так і медичним вимогам, забезпечуючи високу якість і безпеку продукції.

У процесі розгляду технологічних аспектів були обґрунтовано вибрані технології і матеріали, які не тільки задовольняють потреби теперішнього часу, але й мають потенціал для подальшого розвитку та впровадження в медичну практику. Застосування новітніх методів друку та інноваційних матеріалів відкриває нові можливості для покращення реабілітаційних технологій, зниження вартості виробництва та підвищення доступності високоякісних медичних протезів.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АПАРАТУРНО-ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування конструкції технологічного устаткування

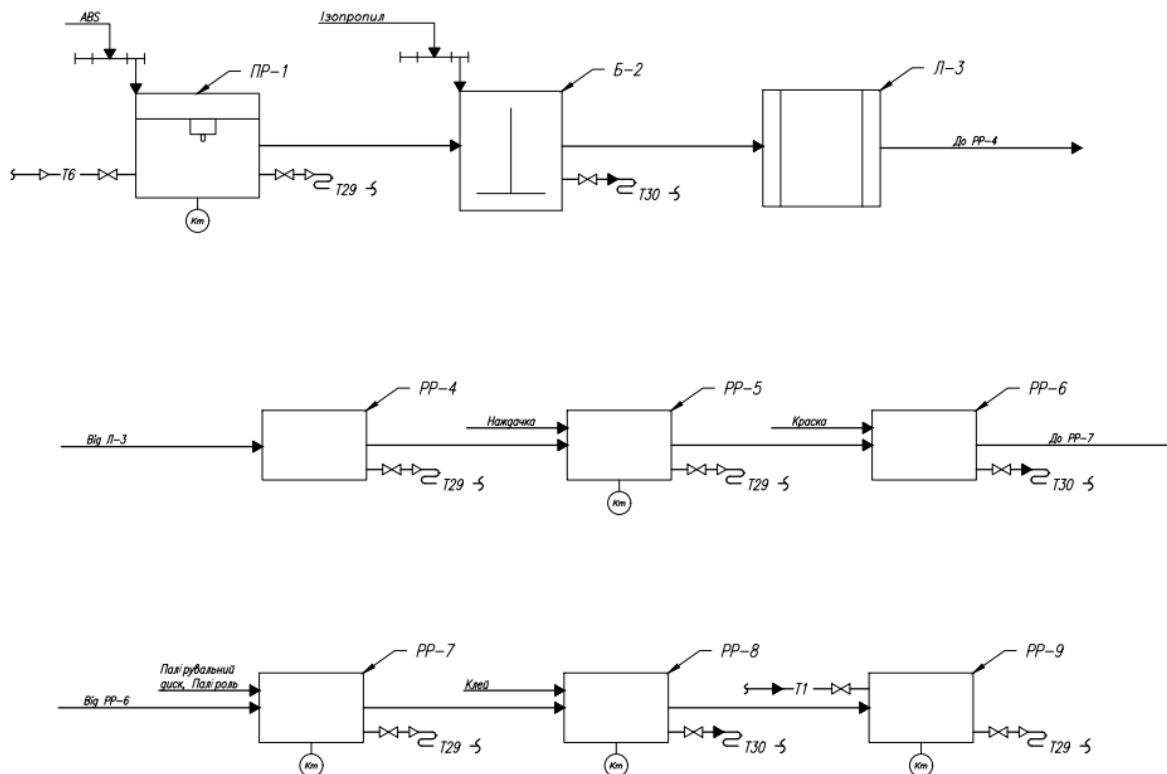


Рисунок 3.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу створення протезу:
PP-1 – 3D-принтер; Б-2 – бокс з ізопропіловим спиртом; Л-3 – УФ-камера; PP-4-9 – ручні етапи обробки.

Процес друку на 3D-принтері Crealiti Halot-Mage 8K використовує технологію SLA (Stereolithography), яка значно відрізняється від FDM технології.

Перед друком 3D-модель має бути спеціально підготовлена у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке перетворює модель у шари і розраховує необхідну підтримку для високодеталізованих ділянок.

У налаштуваннях принтера Creality Halot-Mage 8K визначаються параметри такі як витрата смоли, точність шару (від 0.01 мм до 0.1 мм) і швидкість затвердіння. Принтер оснащений 8K монохромним LCD для забезпечення високої точності та швидкості друку. Під час друку UV-світло проектується на смолу, яка затвердіває шар за шаром. Технологія SLA дозволяє друкувати складні деталі з високою точністю, що ідеально підходить для створення малих і точних протезів. Після друку модель потребує очищення від невідвердженої смоли за допомогою ізопропілового спирту та подальшого відвердження під УФ-світлом для досягнення остаточної міцності та стійкості матеріалу [13].

Після завершення 3D-друку прототипу протезу переходимо до обробки після друку. Перший процес включає видалення опорних структур, які були необхідні під час друку, за допомогою спеціальних інструментів. Ця операція вимагає обережності, щоб не пошкодити сам прототип. Другий процес - це шліфування поверхні прототипу за допомогою наждачного паперу з різною зернистістю (200 і 300 grit, по 2 шт. кожного). Цей процес допомагає усунути нерівності та дефекти, що можуть виникнути під час друку, і створює гладку поверхню. Третій процес – фарбування прототипу. Для цього використовуються ґрунтувальний барвник (500 мл), акрилова фарба (500 мл) та прозорий лак (500 мл), які надають протезу естетичний вигляд і захист від зовнішніх впливів. Четвертий процес – полірування прототипу за допомогою полірувальної пасти на основі силікону (50 мл). Цей процес допомагає досягти гладкої та блискучої поверхні, що сприяє як естетиці, так і комфорту тварини. П'ятий процес – склейка частин прототипу за допомогою спеціалізованих клеїв. Ця операція виконується для забезпечення міцного з'єднання деталей, зберігаючи гнучкість конструкції протезу.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Специфікація обладнання

№ з/п	Позначення на АС	Найменування апарату	Виробник	Основні характеристики	К-сть	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1.	ПР-1	3D-принтер Creality Halot-Mage 8K	Creality	Технологія друку: LCD Роздільна здатність друку: 8K Розмір друку: 172 x 102 x 160 мм Діаметр нитки: не застосовується (використовується рідкий резин) Швидкість друку: до 50 мм/год Точність друку: до 28 мікрон	1	—
	Л-3	УФ-камера для відвердіння Elegoo Mercury X	Elegoo	Кількість ламп: 16 UV-LED. Довжина хвилі: 405 нм. Час відвердження: регульований, до 30 хвилин. Розміри пристрою: 200 x 200 x 300 мм. Безпека: захисний кожух з автоматичним вимкненням при відкритті. Особливості: сенсорний контроль, 360° обертовий стіл.		

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ

Арк.

48

	Б-2	Мийка Elegoo Mercury Plus 2.0	Elegoo	Об'єм мийки: 2.5 літра. Час миття/відвердження: регульований, до 30 хвилин. Особливості: сенсорний контроль.		
2.	PP-4, PP-5, PP-6, PP-7, PP-8, PP-9	Ручні роботи	—	Роботи, що здійснюються вручну відповідно до ТП11.1-ТП11.5 та ТП12	6	—

3.2 Розробка схеми автоматизації технології виготовлення

Процес виготовлення протезів для птахів вимагає високої точності та індивідуального підходу, тому впровадження автоматизованих систем може значно підвищити ефективність, зменшити витрати часу та ресурсів, а також покращити якість продукції. Це особливо важливо при друку за допомогою FDM-технології, тому у схемі автоматизації буде автоматизований саме такий принтер.

Після аналізу особливостей процесу нашого протезу необхідно забезпечити наступний рівень автоматизації у виробництві, включаючи:

- Контроль положення головки екструдера 3D-принтеру;
- Контроль витрати філаменту;
- Контроль та регулювання температури нагріву філаменту для 3D-друку;
- Контроль та регулювання витрати повітря у лабораторному боксі;
- Контроль роботи УФ-лампи.

Параметри контролю та регулювання виробництва наведено у табл. 1.1.

Таблиця 3.2 – Параметри контролю та регулювання елементів виробництва протезів

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Назва стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Назва контрольованого чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму	Вимоги до рівня автоматизації
1	3D-принтер	Витрата	—	Контроль
		Швидкість друку (переміщення екструдера)		
		Температура	+1000°C	Контроль, регулювання
2	Трубопровід повітря лабораторного Боксу Elegoo Mercury Plus 2.0	Витрата	—	Контроль, регулювання
3	УФ-камера для відвердіння Elegoo Mercury X	—	—	Контроль

3.3 Опис розробленої схеми автоматизації

Автоматизація містить кілька контурів, які забезпечують автоматичний контроль і регулювання різних параметрів процесу виготовлення протезів для тварин.

Перший контур: Контроль витрати філаменту. Датчик витрати філаменту (2-1) контролює кількість матеріалу, що подається до екструдера, необхідний пневматичний передавальний перетворювач перепаду тиску (2-2). Дані надходять на вторинний пневматичний показувальний та реєструвальний прилад (2-3).

Другий контур: Контроль положення головки екструдера 3D-принтера. Для контролю переміщення електродвигуна М1 розроблено контур 1, який включає в себе пристрій для зміни вихідного положення з дистанційним

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передаванням показань (2-1), керуючий блок (2-2) та пристрій для керування процесом згідно з часовою програмою (2-3).

Третій контур: Контроль та регулювання температури нагріву філаменту для 3D-друку з використанням ТЕНу. Термоперетворювач (3-1) вимірює температуру нагріву філаменту. Дані з термоперетворювача надходять до показувального і реєструвального приладу, що оснащений станцією керування (3-2), (3-3).

Четвертий контур: Контроль та регулювання витрати повітря у лабораторному боксі. Датчик витрати повітря (4-1) вимірює об'єм повітря, що проходить через лабораторний бокс. Електро-пневматичний перетворювач (4-2) перетворює сигнал датчика у відповідний пневматичний сигнал для пневматичного регулюючого приладу (4-3), який, у свою чергу, взаємодіє з пропорційно-інтегральним регулятором (4-4) для підтримки необхідного потоку повітря та обертовим механізмом (4-5).

П'ятий контур: Контроль якості ізопропілового спирту. Датчик (5-1) вимірює концентрацію та передає сигнал на вторинний показувальний прилад (5-2).

Шостий контур: Контроль швидкості обертання підставки під УФ лампою. Первинний вимірювальний прилад (6-1) знімає покази з двигуна і передає їх до вторинного показувального приладу (6-2) з'єданого з підсилювачем потужності (6-3).

УФ лампа має пост ручного дистанційного керування та оснащена сигнальним дзвінком

Специфікацію устаткування, виробів і матеріалів обраних для автоматизації виробництва зазначено в додатку.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 3

В цьому розділі було проаналізовано особливості технологічного процесу виготовлення протезів для птахів та визначено необхідність автоматизації цього процесу. Автоматизація дозволила забезпечити точне дозування та контроль якості використовуваних матеріалів, а також вплинути на ефективність та швидкість виробництва. Описано специфікацію технічних засобів, що використовуються в процесі виготовлення, зокрема, контроль за положенням екструдера, температурою філаменту, витратою матеріалів та роботою УФ-ламп. Підкреслено значення інтеграції цих систем в загальну схему автоматизації, що сприяє підвищенню точності та якості кінцевого продукту.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Дана дипломна робота виконується на базі факультета біомедичної інженерії НТУУ «КПІ імені І. Сікорського».

Цей розділ дипломної роботи складений відповідно до плану №2 та зосереджується на ро біоінженерному конструюванні функціональних протезів для тварин, зокрема на розробці протезу нижньої кінцівки птаха. Об'єктом є лабораторія, де займаються розробкою і тестуванням протезів.

4.1 Характеристика організації модернізованого виробництва

Лабораторне приміщення обладнане природним та штучним освітленням для точності технічних робіт, з можливістю детального визначення кольору та деталей протезів. Підлога покрита епоксидним наливним покриттям, а стіни та стеля — водостійкою олійною фарбою для забезпечення чистоти і візуального розширення простору. Висота стін 3 метри дозволяє ефективно розподіляти повітря за допомогою сучасної вентиляційної системи, яка регулює температуру та вологість, критичні для роботи з 3D-принтерами. Локальні відсмоктувачі видаляють шкідливі випари, забезпечуючи безпеку працівників. В лабораторії встановлені системи швидкого реагування на аварії, включно з системами гасіння пожежі та аварійними виходами.

Таблиця 4.1 – Оснащення приміщення

№	Найменування обладнання, оснащення, матеріалів	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Параметри всього кабінету	7000x4000x3000 мм; S=28 м²; V=84 м³	-	-

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

2	Параметри ізолюваного боксу	3000x4000x3000 мм; S=12 м²; V=36 м³	-	-
3	Кількість працівників	Інженер-біомеханік, технік-лаборант	2	-
4	Природне освітлення	Високо розмірний 1500x1200 мм	2	-
5	3D-принтер 3D-принтер Creality Halot-Mage 8K	Размер: 500x700x600 мм; Матеріал: метал, пластик; Споживана потужність: 1000 Вт	1	1
6	Система вентиляції Daikin	Тип: промислова; Матеріал каналів: вогнетривкі полімери; Спроможність: 500 м³/год	1	-
7	Робочий стіл для лабораторії Trespa TopLab	Размер: 1200x800x750 мм; Матеріал: нержавіюча сталь	3	2
8	Комп'ютер Dell Precision 7920	Операційна система: Windows 10; ОЗУ: 16 ГБ; Технічні макс.: 1 ТБ	1	3
9	Стул для лабораторії BioLight Engineers	Матеріал: полімер, метал; Регулюєма висота	2	4
10	Шафа для інструментів Lista	Размер: 2000x1000x500 мм; Матеріал: метал	1	5
11	Шафа для зберігання JustRite Sure-Grip	Размер: 1800x1200x450 мм; Матеріал: метал і антикорозійні покриття	1	6

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ

Арк.

54

12	Мойка Franke Planar 8	Размер: 500х700х400 мм; Матеріал: нержавіюча сталь	1	7
13	Пожежний спостерігач	Призначення: Спостереження; Модель: Tiara Смота СМ10; Розмір: 110 х 110 х 50 мм	2	8
14	Вогнегасник	Протипожежний; ОУ-10, ємність 10 л	1	9
15	УФ-камера для відвердіння Elegoo Mercury X		1	1

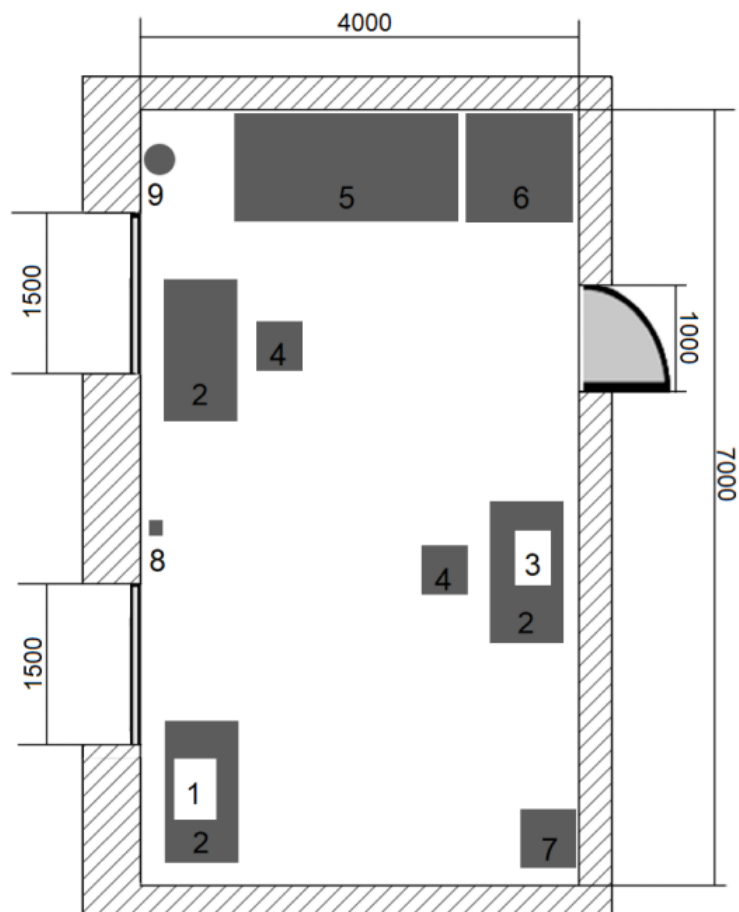


Рисунок 4.1 – Схема лабораторії

Таблиця 4.2 – Реальні та нормативні характеристики приміщення

№	Параметр приміщення	Реальні значення	Нормативні значення
1	Мінімальна площа на 1 працюючого	28 м ² (S всього кабінету)	6 м ²
2	Мінімальний об'єм на 1 працюючого	84 м ³ (V всього кабінету)	20 м ³
3	Мінімальна ширина проходу	1,5 м (враховуючи розмір вікна і загальну площу)	1,5 м
4	Мінімальна відстань між технологічним обладнанням (робоча зона)	1 м (ізолюваний бокс)	1 м
5	Мінімальна відстань між технологічним обладнанням (неробоча зона)	0,8 м (між обладнанням у кабінеті)	0,6 м

Реальні характеристики приміщення відповідають нормам ДСТУ Б В.1.1-36:2016, тому проводити додаткові заходи нормалізації не має потреби.

4.2 Аналіз основних потенційних небезпек

Відповідно до ДСТУ 12.0.003-74, різні фактори ризику в робочому середовищі можуть впливати на безпеку та ефективність робочих процесів.

Таблиця 4.3 — Несприятливі та шкідливі чинники

Несприятливі фактори	Перелік основних чинників
Фізичні	Електробезпека, УФ-випромінювання
Хімічні	Шкідливі речовини
Біологічні	Немає
Психофізіологічні	Немає

4.2.1 Електробезпека

Дані про джерела електричної небезпеки та заходи щодо їхнього запобігання представлені в таблицях 4.4–4.6.

Таблиця 4.4 – Оцінка небезпечних електричних факторів

№	Найменування обладнання, оснащення, матеріалів	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки
1	3D-принтер Creality Halot-Mage 8K	Змінний струм	Пошкодження ізоляції, відсутність заземлення	Ураження електричним струмом
2	Система вентиляції Daikin		Потрапляння води, механічні пошкодження	
3	Робочий стіл для лабораторії Trespa TopLab		Відсутність заземлення, витік струму	
4	Комп'ютер для моделювання Dell Precision 7920		Відсутність заземлення, перевантаження мережі	
5	Електронні ваги A&D Weighing EK-610i		Перевантаження мережі, відсутність заземлення	

Таблиця 4.5 – Реальні та нормативні значення факторів електробезпеки

Фактор небезпеки	Реальні значення	Нормативні значення
Максимальний струм протезу	> 1 А	1 А

Таблиця 4.6 – Превентивні та захисні заходи для факторів електробезпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Види заходів	Критерії вибору
1	Технічні заходи	Заземлення робочих столів	Запобігання ураженню електричним струмом
		Використання низьковольтного обладнання для протезування	Зниження ризику електричної травми

		Ізоляція джерел живлення	Захист від прямого контакту з електричними елементами
		Встановлення захисних автоматичних вимикачів	Негайне відключення живлення при короткому замкненні
		Встановлення захисних автоматичних вимикачів	Швидке відключення електрики у разі аварійної ситуації
		Ізоляція джерел живлення та устаткування	Запобігання прямому контакту з електричними елементами
2	Організаційні заходи	Навчання з питань електробезпеки	Підвищення обізнаності працівників з електробезпеки
		Розробка інструкцій з експлуатації обладнання	Забезпечення належного використання та обслуговування

4.2.2 Фізичні небезпеки: УФ-випромінювання

Дані про джерела пожежної небезпеки та заходи щодо їхнього запобігання представлені в таблицях 4.7–4.9.

Таблиця 4.7 – Оцінка основних факторів фізичної небезпеки

№	Найменування обладнання, оснащення, матеріалів	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	УФ-камера для відвердження Elegoo Mercury X	УФ-випромінювання	Вплив УФ-випромінювання на шкіру	Пошкодження шкіри, подразнення очей, потенційні пошкодження зору

Таблиця 4.8 – Реальні та нормативні значення факторів фізичної небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальні значення	Нормативні значення
1	Інтенсивність УФ-випромінювання	$< 0.3 \text{ мВт/см}^2$	$\leq 0.3 \text{ мВт/см}^2$

Згідно з документом ДСанПіН 6.6.3-150-2007, безпечний рівень інтенсивності УФ-випромінювання не повинен перевищувати 0.3 мВт/см².

Таблиця 4.9 – Превентивні заходи для факторів пожежної небезпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Види заходів	Критерії вибору
1	Організаційні заходи	Розроблення процедур безпечної роботи з УФ-камерою	Налаштування таймера Elegoo Mercury X для автоматичного вимкнення, щоб запобігти перевищенню дози УФ-випромінювання.
2	Технічні заходи	Перевірка і налаштування захисних шторок на лампі	Забезпечення, що захисні шторки на лампі повністю закривають доступ до УФ-світла під час роботи.
3	Засоби індивідуального захисту	Використання захисних окулярів та одягу	Використання УФ-захисних окулярів та спеціального одягу для запобігання впливу УФ-випромінювання на шкіру і очі.

4.2.3 Хімічна небезпека: шкідливі речовини

Дані про джерела небезпеки та заходи щодо їхнього запобігання представлені в таблицях 4.10–4.12.

Таблиця 4.10 – Оцінка основних факторів хімічної небезпеки

№	Найменування обладнання	Джерело токсичності	Причини токсичності	Наслідки токсичності
1	3D-принтер Creality Halot-Mage 8K	Пластик	Нагрівання матеріалів	Ураження органів дихання
2	Система вентиляції Daikin	Видалення випарів	Неадекватна фільтрація	

Таблиця 4.11 – Реальні та нормативні значення факторів хімічної небезпеки

Фактор небезпеки	Реальні значення	Нормативні значення
Концентрація токсичних випарів з пластику	наявні значення > допустимі	8 мг/м ³
Наявність токсичних випарів з лаків та фарб	наявні значення > допустимі	10 мг/м ³
Ефективність відсмоктування	недостатня	99.97% (НЕРА фільтри)

Таблиця 4.12 – Превентивні заходи для факторів хімічної небезпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Види заходів	Критерій вибору
1	Технічні заходи	Використання матеріалів з низьким рівнем випарів	Зменшення кількості токсичних випарів
		Підтримання адекватного рівня вентиляції	Ефективне видалення токсичних випарів з повітря
		Регулярне обслуговування вентиляційних систем	Запобігання збоїв у системі вентиляції
2	Організаційні заходи	Навчання персоналу методам безпеки при роботі з хімічними речовинами	Підвищення обізнаності і безпеки працівників
		Встановлення датчиків контролю якості повітря	Швидке виявлення збільшення концентрації токсинів
		Розробка і впровадження плану евакуації у випадку аварій з токсичними речовинами	Забезпечення безпеки при екстрених ситуаціях

Висновки до розділу 4

У цьому розділі дипломної роботи розглядаються основні потенційні небезпеки, пов'язані з токсичними випарами, що виникають при роботі з 3D-принтерами в лабораторії біомедичної інженерії. Аналізується вплив шкідливих випарів на здоров'я працівників, і вживаються заходи для зниження цих ризиків, включно з удосконаленням систем вентиляції та використанням матеріалів з низьким рівнем емісії токсинів.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заходи безпеки включають також регулярне технічне обслуговування обладнання та навчання персоналу, що спрямовані на запобігання інцидентам, пов'язаним з токсичними випарами

Ретельне дотримання інструкцій з використання спеціалізованого обладнання, як УФ-камера та мийка Elegoo Mercury Plus 2.0, забезпечує зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій і сприяє підтриманню високих стандартів виробництва протезів. Особлива увага приділяється забезпеченню адекватної вентиляції та уникненню прямого контакту з шкідливими речовинами, що забезпечує додатковий рівень захисту для персоналу лабораторії.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

На основі вивченого матеріалу можна зробити висновки, що повністю відповідають поставленим у проекті завданням:

1. Було встановлено основні вимоги до функціональності та комфорту протезів для птахів, а також аналізовано потреби та специфічні умови їх використання.
2. Проведено дослідження літератури щодо використання матеріалів та технологій, що дозволило вибрати ABS-пластик та фотополімерні принтери як найбільш придатні для виготовлення легких, міцних та економічно ефективних протезів.
3. Розроблено параметри для технологічних етапів створення прототипів, включаючи друк, обробку, та UV-опромінення, що забезпечує високу якість кінцевого продукту.
4. Виконано технологічний процес створення прототипу протезу, який включав точне планування, налаштування принтера, та власне друк.
5. Виконано апаратурно-технологічні етапи, які включали післядрукову обробку протезів, щоб забезпечити їх довговічність та безпечність для використання.
6. Опираючись на аналіз літератури та експериментальні дані, вдалося розробити схему автоматизації виробничих процесів, яка оптимізує виготовлення та знижує витрати.
7. Проаналізовано основні недоліки та переваги процесів створення протезів та розроблено зміни, які дозволяють покращити кінцевий продукт.

Кожне з цих завдань було виконано з високим рівнем деталізації та точності, що підтверджується обґрунтуванням вибору матеріалів, методів виробництва та технологій у рамках цього дипломного проекту.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Galicia C, Urraca VH, Del Castillo L, Mvz JSamour. Design and Use of a 3D Prosthetic Leg in a Red-lored Amazon Parrot (*Amazona autumnalis*). *Journal of Avian Medicine and Surgery* [Internet]. 2018 Jun 1;32(2):133–7. Available from: <https://doi.org/10.1647/2017-282>.
2. Dumont ER. Bone density and the lightweight skeletons of birds. *Proceedings - Royal Society Biological Sciences/Proceedings - Royal Society Biological Sciences* [Internet]. 2010 Mar 17;277(1691):2193–8. Available from: <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0117>.
3. Berger M, Hart JS, Roy OZ. Respiration, oxygen consumption and heart rate in some birds during rest and flight. *Journal of Comparative Physiology A, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology/Journal of Comparative Physiology A, Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* [Internet]. 1970 Jan 1;66(2):201–14. Available from: <https://doi.org/10.1007/bf00297779>.
4. Olsen, J., Day, S., Dupan, S., Nazarpour, K., & Dyson, M. (2021). 3D-Printing and Upper-Limb Prosthetic Sockets: Promises and Pitfalls. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 29, 527–535. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2021.3057984>
5. Manero, A., Smith, P. A., Sparkman, J., Dombrowski, M., Courbin, D., Kester, A., Womack, I., & Chi, A. (2019). Implementation of 3D printing technology in the field of prosthetics: past, present, and future. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9), 1641. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091641>.
6. De Santis R, Gloria A, Ambrosio L. Composite materials for hip joint prostheses. In: Elsevier eBooks [Internet]. 2017. p. 237–59. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081007525000123>.
7. Manisor M, Marcu C, Tomoaia G, Miclea L. Comparison between Titan and Cobalt Hydroxyapatite-Coated Shoulder Prosthesis, during External and Internal

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Rotation. In: Advances in intelligent systems and computing [Internet]. 2013. p. 191–205. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-642-32548-9_14.
8. Hoque ME, Shafoyat MU, Tabassun F. Polymers, Their Composites, Blends, and Nanocomposites for the Fabrication of Prosthetics [Internet]. 2024. Available from: <https://doi.org/10.1002/9781119783473.ch15>.
 9. Dhinesh SK, Arun PS, Senthil KKL, Megalingam A. Study on flexural and tensile behavior of PLA, ABS and PLA-ABS materials. Materials Today: Proceedings [Internet]. 2021 Jan 1;45:1175–80. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.546>.
 10. Koprnický, J., Šafka, J., & Ackermann, M. (2018). Using of 3D printing technology in low cost prosthetics. *Materials Science Forum*, 919, 199–206. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.919.199>.
 11. Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3D printing of biomaterials. Journal of Biological Engineering [Internet]. 2015 Mar 1;9(1). Available from: <https://doi.org/10.1186/s13036-015-0001-4>.
 12. Frank CW. Anatomy of a waterfowl: For Carvers and Painters. Pelican Publishing; 1992.
 13. Huang J, Qin Q, Wang J. A review of Stereolithography: Processes and Systems. Processes [Internet]. 2020 Sep 11;8(9):1138. Available from: <https://doi.org/10.3390/pr8091138>.
 14. Kristiawan RB, Imaduddin F, Ariawan D, Ubaidillah N, Arifin Z. A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. Open Engineering [Internet]. 2021 Jan 1;11(1):639–49. Available from: <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>.
 15. Антарьова Ю. Впровадження вимог ДСТУ ISO 13485:2018 в діяльність ТОВ HBO «Біополімер» [Internet]. 2024. Available from: <http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/32129>.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. ДСТУ EN ISO 10993-1:2022 Біологічне оцінювання медичних виробів.
Частина 1. Оцінювання і випробування в рамках процесу управління ризиками (EN ISO 10993-1:2020, IDT; ISO 10993-1:2018, IDT) [Internet]. Available from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=99539.
17. Allport-Settle MJ. Good Manufacturing Practice (GMP) guidelines: The Rules Governing Medicinal Products in the European Union EudraLex Volume 4 Concise Reference. Pharmalogika; 2009.
18. ДСТУ ISO 19011:2019 Настанови щодо проведення аудитів систем управління (ISO 19011:2018, IDT) [Internet]. Available from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=88049.
19. ДСТУ EN ISO 15189:2015 Медичні лабораторії. Вимоги до якості та компетентності (EN ISO 15189:2012, IDT) [Internet]. Available from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66234.
20. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT) [Internet]. Available from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80322.
21. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Internet]. Available from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419.
22. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація [Internet]. Available from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48127.
23. ДСанПіН 6.6.3-150-2007 Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур [Internet]. Available from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48180.

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Tumbleston JR, Shirvanyants D, Ermoshkin N, Januszewicz R, Johnson AR, Kelly D, et al. Continuous liquid interface production of 3D objects. *Science* [Internet]. 2015 Mar 20;347(6228):1349–52. Available from: <https://doi.org/10.1126/science.aaa2397>.
25. Ventola, C. L. (2014). Medical applications for 3D printing: Current and projected uses. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10), 704–711.
26. Vujaklija, I. (2018). 3D printed upper limb prosthetics. *Expert Review of Medical Devices*, 15(7), 505–512. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1494568>
27. Golovin, M. A., Marusin, N. V., & Golubeva, Y. (2018). Use of 3D printing in the orthopedic prosthetics industry. *Biomedical Engineering*, 52(2), 100–105. <https://doi.org/10.1007/s10527-018-9792-1>
28. Kate, J. T., Smit, G., & Breedveld, P. (2017). 3D-printed upper limb prostheses: a review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 12(3), 300–314. <https://doi.org/10.1080/17483107.2016.1253117>
29. Banga, H. K., Kalra, P., Belokar, R. M., & Kumar, R. (2021). Design and fabrication of prosthetic and orthotic product by 3D printing. In *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94846>
30. Abbady, H. E. M. A., Klinkenberg, E. T. M., De Moel, L., Nicolai, N., Van Der Stelt, M., Verhulst, A. C., Maal, T. J. J., & Brouwers, L. (2021). 3D-printed prostheses in developing countries: A systematic review. *Prosthetics and Orthotics International*, 46(1), 19–30. <https://doi.org/10.1097/pxr.0000000000000057>
31. Ribeiro, D. R., Cimino, S. R., Mayo, A., Ratto, M., & Hitzig, S. L. (2019). 3D printing and amputation: a scoping review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 16(2), 221–240. <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1646825>

					БФ 0114. 12.30. 001 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А. Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Завод-виробник	Кількість
1	2	3	4	5	6	7	8	9
УСТАТКУВАННЯ ТА ПРИЛАДИ								
1-1	Витрата	Трубопровід філаменту	—	Трубо-провід	Діафрагма камерна, Р _у = 0,6 МПа; D _{тр} = 75 мм	ДКС0,6-75	БАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	1
1-2	—	—	—	Місцевий	Дифманометр безшкальний з квадра-тичною функцією перетворення; Δ Р _{max} = 40 кПа; клас точності 1; Р _{вих} = 20...100 кПа	13ДД11 (мод. 720)	ВО «Тепло-риладр»	1
1-3 4-3	—	—	—	На щиті	Прилад вторинний пневматичний пока-зувальний, реєструвальний (система СТАРТ) зі станцією керування; Р _{вх} = 20...100 кПа, граничнодопустима основна похибка 0,5 %; Р _{живл} = 140 кПа	ФК0071	АТ «ТИЗПРИЛАД»	2
2-1	Перемі-щення	Електродвигун	—	Місцевий	Магнітострикційні лінійні датчики положення, діапазон вимірювання 2250 мм, аналоговий, струмовий 0-20 мА, робоча напруга 20-28 В постійного струму, точність ±0,02 %	BTL01R0	Balluff, Нова Зеландія	1

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-2	—	—	—	Щит керування	Інтегрований контролер положення, вхідна напруга 120 або 240 ±10% В постійного струму, максимальний постійний струм 50 А, 50-60 Гц, одночасні осі - до 8, послідовні осі - до 8, віртуальні осі - до 4 на шасі, робоча температура 0-40 С°	ELE-IPC	NSI-MI, Technologies, США	1
2-3	—	—	—	Щит керування	Реле часу багатофункціональне, 10 режимів роботи, 2 діапазони часу: блок 1 інтервалу - секунди/хвилини, блок 2 -хвилини/години, керуюча напруга 220-230 В, частота 50-60 Гц, номінальний струм перемикачання 16 А, тип керуючої напруги змінний (АС)	Exta 250V 16A	Zamel, Польща	1
3-1	Температура	3Д-принтер	—	Місцевий	Перетворювач температури, вихід 4-20 мА, точність : <0,1% або <0,5 °С, гальванічна розв'язка 1500 В змінного струму	SMART TIXo3	Georgin, Франція	1
3-2				Щит керування	багатофункціональний універсальний вимірювальний контролер, аналогових сигналів 4-20 мА, частота 3,5 кГц, зворотний аналоговий вихід 10-0 В, 20-0 мА	EPA200	ATEK Sensor Technologies, Туреччина	1
3-3				Щит керування	індикатор температури, діапазон вимірювання -58~1382 °С, роздільна здатність 0,1 °С нижче 1000 °С, 1 °С вище 1000 °С, точність ±(0,1 % від показів + 0,7 °С), RS232 інтерфейс	ATS-2000	EZODO, Тайвань	1

Продовження таблиці Б.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4-1	Витрата	Трубопровід 3	–	Трубо- провід	Датчик витрати 1,5 – 335 м ³ /год, Р _у = до 6 бар, І _{вих} = 4...20мА, точність 1,5% OS 401 (421)	«OS 401 (421)»	«Omega Air» Німеччина	1
4-2	–	–	–	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, І _{вх} = 4...20 мА; Р _{вих} = 20...100 кПа, Основна похибка 0,5%	ЕП3211	«Промтех сервіс» м. Київ	1
4-4	–	–	–	Щит керування	Регулятор пневматичний пропорційноінтегральний (система СТАРТ); витрата повітря живлення – 4,5 л/хв, Р _{жив} = 0,14 МПа, Р _{вих} = 20...100 кПа	ФР009	«АТ «ТИЗ-ПРИЛАД»	1.
4-5	–	–	–	Місцевий	Механізм виконавчий електричний одно обертовий: 6,3 – номінальний момент на вихідному валу, Н·м; 12,5 – час повного ходу вихідного валу, с; 0,25 – повний хід валу, об	МЭО - 6,3/12,5 - 0,25 - 99	Севанський завод електричних виконавчих механізмів, м. Севань	1
5-1	Концентрія	Ізопропиловий спирт	–	Трубо- провід 8	Датчик з монітором ізопропілового спирту: діапазон вимірювання від 0 до 100% ізопропілового спирту в розчині; точність ± 0,1 %	LiquiSonic®	Contact SensoTech	1
5-2				Щит керування				
6-1	Оберти	Двигун М3	–	Місцевий	Електронний тахометр. Діапазон вимірювань 10...999 об/хв, U _{живл} = 8 – 24 В, похибка 1,5%	NJK-5002C	Mainland China, Китай	1
6-2				Щит керування				

Продовження таблиці Б.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SB1, SB2, SB3, SB4	—	—	—	Щит керування	Пост керування кнопковий, номінальна робоча напруга 220 В	ПКУ- 123-11 —	ЗАТ «Променерго автоматика», м. Київ	3
SA1	—	—	—	Місцевий	Універсальний перемикач, номінальна робоча напруга 220 В	УП- 5313	ТОВ «ТД ПРОМКОМП ЛЕКТАЦІЯ	1
ЕЛЕКТРОАПАРАТИ								
МП1, МП2, МП3	—	—	—	Місцевий	Пускач магнітний безконтактний нереверсивний з реле IP-20; $I_{BX} = 160A$	ПМ 12- 01025 —	ВО «Електроп рибор»	3
6-3	—	—	—	Місцевий	Підсилювач потужності аналоговий	У13Н	НВО «Електрот ермія», м. Луцьк	1
HL1 HL2	—	—	—	—	Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («Верхній граничний рівень»), $U_{жив} = 220 В$, 50/60 Гц	ЛС 47-1	«ІЕК Україна», Україна	1
EA1	-	—	—	—	Дзвінок сигнальний Номін.напруга - 230В Сила звуку - 60 дБ	AD22 DS	Electrotm. Київ	1