

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Владислав ШЛИКОВ

«__» _____ 20__р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Медична інженерія»
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»
на тему: «Технологія виготовлення тимчасової трансрадіальної
гільзи протеза верхньої кінцівки»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи БМ-21

Підлісна Катерина Сергіївна _____

Керівник:

к.т.н., доц. каф. БМІ

Богомолів Микола Федорович _____

Консультант з охорони праці:

Доцент каф. ОППБЦ, к. т. н.

Демчук Гліб Вікторович _____

Рецензент:

Асистент каф. ББЗЛ, PhD

Сніцар Євген Вікторович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біомедичної інженерії

Кафедра біомедичної інженерії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 163 «Біомедична інженерія»

Освітньо-професійна програма «Медична інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Владислав ШЛИКОВ

«__»_____20__р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Підлісній Катерині Сергіївні

1. Тема роботи «Технологія виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки», керівник роботи Богомолів Микола Федорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри БМІ, затверджені наказом по університету від «25» травня 2026 р. № 1924-с.

2. Термін подання студентом роботи 7 червня 2026 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: наукова та технічна література з протезування верхніх кінцівок; нормативна документація з протезно-ортопедичних виробів;

4. Зміст роботи: провести аналіз особливостей трансрадіальної ампутації та сучасних методів протезування верхньої кінцівки; дослідити функції, матеріали та методи виготовлення протезних гільз; сформулювати медико-технічні вимоги до тимчасової трансрадіальної гільзи; виконати антропометричні вимірювання кукси та виготовити негативний і позитивний гіпсові зліпки; провести моделювання позитивної гіпсової моделі з урахуванням зон навантаження та розвантаження; виконати термоформування тимчасової гільзи та її механічну обробку; здійснити аналіз виявлених дефектів і способів їх усунення; розробити заходи з охорони праці під час виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи.

5. Перелік ілюстративного матеріалу презентація у форматі *Power Point*.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3	Демчук Г.В., к.т.н., доцент кафедри ОППЦБ		

7. Дата видачі завдання 27 травня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання ДР	27.05.2026	
2	Підбір та вивчення науково-технічної літератури за темою	27.05.2026 – 28.05.2026	
3	Складання теоретичного та оглядового блоку роботи	29.05.2026 – 30.05.2026	
4	Обґрунтування моделей та методів дослідження	31.05.2026 – 01.06.2026	
5	Проектування, моделювання та розробка практичної частини	01.06.2026 – 02.06.2026	
6	Оформлення розділу з охорони праці	02.06.2026 – 03.06.2026	
7	Технічне редагування та підготовка фінального тексту роботи	03.06.2026 – 04.06.2026	
8	Надання дипломної роботи для перевірки на плагіат (П.І. Андреев)	05.06.2026	
9	Подання електронного варіанту ДР та супутньої документації керівнику (М.Ф. Богомолів)	07.06.2026	
10	Отримання супровідних документів та надання паперового варіанту ДР (каб. 4-11)	10.06.2026	
11	Захист дипломної роботи	15.06.2026	

Студент

Катерина ПІДЛІСНА

Керівник

Микола БОГОМОЛОВ

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: «Технологія виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки».

Обсяг звіту становить 53 сторінки, міститься 23 ілюстрації, 15 таблиць. Загалом опрацьовано 20 джерел.

Актуальність: В останні роки кількість людей з ампутаціями кінцівок невинно збільшується. Через повномасштабне вторгнення військові часто потребують протезування. Одним із найголовніших елементів протеза є гільза, оскільки саме вона забезпечує фіксацію протеза на куксі та комфорт пацієнта. Неправильно виготовлена гільза може призвести до больових відчуттів, натирання, і внаслідок цього пацієнт може назавжди відмовитися від використання протеза.

Мета: удосконалення процесу виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки з урахуванням особливостей формування зон навантаження та розвантаження кукси.

Завдання:

1. Проаналізувати анатомо-фізіологічні особливості трансрадіальної кукси.
2. Дослідити сучасні методи виготовлення протезних гільз.
3. Визначити зони навантаження та розвантаження кукси.
4. Виготовити тимчасову трансрадіальну гільзу.
5. Провести аналіз особливостей її моделювання.
6. Розглянути питання охорони праці та безпеки.

Ключові слова: трансрадіальна ампутація, кукса передпліччя, протез верхньої кінцівки, тимчасова гільза, протезна гільза, термоформування, гіпсова модель, зони навантаження, зони розвантаження.

ANNOTATION

Diploma topic: “ Technology of Manufacturing a Temporary Transradial Socket for an Upper Limb Prosthesis ”.

The report consists of 53 pages, includes 23 figures and 15 tables. A total of 20 references were reviewed.

Actuality: In recent years, the number of people with limb amputations has been steadily increasing. Due to the full-scale invasion, many military personnel require prosthetic rehabilitation. One of the most important components of a prosthesis is the socket, as it provides fixation of the prosthesis to the residual limb and ensures patient comfort. An improperly manufactured socket may cause pain, skin irritation, and discomfort, which can ultimately lead to the patient abandoning the prosthesis altogether.

Goal: To improve the manufacturing process of a temporary transradial socket for an upper limb prosthesis, taking into account the formation of load-bearing and relief areas of the residual limb.

To achieve the goal, the following tasks were formed:

1. To analyze the anatomical and physiological features of a transradial residual limb.
2. To investigate modern methods of prosthetic socket manufacturing.
3. To identify load-bearing and relief areas of the residual limb.
4. To manufacture a temporary transradial socket.
5. To analyze the specific features of its modification and shaping process.
6. To consider occupational health and safety issues.

Keywords: transradial amputation, forearm residual limb, upper limb prosthesis, temporary socket, prosthetic socket, thermoforming, plaster model, load-bearing areas, relief areas.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

PET – поліетилентерефталат.

PLA – полілактид.

TPU – термопластичний поліуретан.

CAD/CAM – автоматизоване проєктування та автоматизоване виробництво.

ML – медіально-латеральний розмір.

3D – тривимірний.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОТЕЗУВАННЯ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОТЕЗНИХ ГІЛЬЗ.....	11
1.1 Особливості трансрадіальної ампутації.....	11
1.2 Анатомо-фізіологічні особливості кукси передпліччя.....	11
1.3 Класифікація протезів верхньої кінцівки	12
1.4 Функції протезної гільзи.....	15
1.5 Матеріали для виготовлення протезних гільз.....	16
1.6 Методи виготовлення протезних гільз.....	17
1.7 Майбутнє протезування верхніх кінцівок.....	17
1.8 Медико-технічні вимоги до тимчасової трансрадіальної гільзи.....	18
Висновки до розділу 1.....	22
РОЗДІЛ 2 ВИГОТОВЛЕННЯ ТИМЧАСОВОЇ ТРАНСРАДІАЛЬНОЇ ГІЛЬЗИ.....	23
2.1 Етапи виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки.....	23
2.2 Огляд кукси та проведення антропометричних вимірювань.....	24
2.3 Маркування навантажувальних та розвантажувальних зон.....	26
2.4 Отримання негативного зліпка кукси.....	27
2.5 Виготовлення та моделювання позитивної гіпсової моделі.....	28
2.6 Формування гільзи за допомогою пластику та нагрітого вакууму.....	33
2.7 Обрізка, шліфування та обробка країв гільзи.....	35
2.8 Узагальнення результатів корекції позитивної гіпсової моделі.....	37
Висновок до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	39
3.1 Характеристика приміщення.....	39
3.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів.....	42
3.2.1 Теплова безпека.....	42
3.2.2 Рухомі частини шліфувального обладнання.....	45

	8
3.2.3 Хімічна небезпека.....	46
Висновок до розділу 3.....	48
ВИСНОВКИ.....	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	51

ВСТУП

Ампутація верхньої кінцівки призводить до значного обмеження функціональних можливостей людини, знижує рівень її самостійності та негативно впливає на якість життя. Одним із основних засобів відновлення втрачених функцій є протезування, ефективність якого значною мірою залежить від якості виготовлення протезної гільзи. Саме гільза забезпечує безпосередній контакт між куксою та протезом, передає навантаження, забезпечує фіксацію конструкції та впливає на комфорт користувача.

Особливого значення набуває тимчасова гільза, яка використовується на початкових етапах реабілітації після ампутації. У цей період форма та об'єм кукси можуть змінюватися внаслідок зменшення набряку та перебудови м'яких тканин. Тому тимчасова гільза повинна забезпечувати надійну фіксацію протеза, рівномірний розподіл навантаження та можливість подальшої корекції конструкції відповідно до змін анатомічних параметрів кукси.

Однією з найважливіших умов успішного протезування є правильне формування зон навантаження та розвантаження. Нерівномірний розподіл тиску може призводити до появи болю, подразнення шкіри, порушення кровообігу та відмови пацієнта від використання протеза. У зв'язку з цим особливу увагу необхідно приділяти процесу моделювання позитивної гіпсової моделі та врахуванню анатомічних особливостей кукси під час виготовлення гільзи.

Тема дипломної роботи: технологія виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки.

Мета дипломної роботи: удосконалення процесу виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки з урахуванням особливостей формування зон навантаження та розвантаження кукси.

Завдання:

1. Проаналізувати анатомо-фізіологічні особливості трансрадіальної кукси.
2. Дослідити сучасні методи виготовлення протезних гільз.
3. Визначити зони навантаження та розвантаження кукси.
4. Виготовити тимчасову трансрадіальну гільзу.

5. Провести аналіз особливостей її моделювання.
6. Розглянути питання охорони праці та безпеки.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОТЕЗУВАННЯ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОТЕЗНИХ ГІЛЬЗ

1.1 Особливості трансрадіальної ампутації

Трансрадіальна ампутація належить до великих ампутацій верхньої кінцівки. Втрата руки створює значні функціональні труднощі порівняно з втратою нижньої кінцівки, оскільки суттєво обмежує виконання точних маніпуляцій та повсякденних побутових дій. Це може негативно впливати на якість життя людини, тому важливим завданням є забезпечення ефективного протезування. Для цього необхідно враховувати рівень ампутації та довжину кукси [1].

Трансрадіальна ампутація є однією з найбільш поширених, оскільки дозволяє зберегти ліктьовий суглоб, що забезпечує кращі функціональні можливості верхньої кінцівки. Довжина кукси безпосередньо впливає на можливість виконання пронації та супінації передпліччя, тому під час ампутації намагаються зберегти її максимально можливою. Крім того, довша кукса створює кращий важіль для керування протезом та сприяє зменшенню навантаження на м'які тканини [1].

Важливим також є збереження рухомості між променевою та ліктьовою кістками, що дозволяє запобігти розвитку синостозу та підтримувати обертальні рухи передпліччя. Під час формування кукси значну увагу приділяють стабілізації м'язів і профілактиці контрактур, оскільки це впливає як на комфорт пацієнта, так і на подальші можливості протезування [1].

1.2 Анатомо-фізіологічні особливості кукси передпліччя

Передпліччя складається з променевої та ліктьової кісток, які з'єднані між собою суглобами та міжкістковою мембраною. Важливу роль відіграють

проксимальний і дистальний променево-ліктьові суглоби, які забезпечують рухи пронації та супінації, тобто повертання кисті долонею вниз і догори [2].

Основне навантаження від кисті передається через променево-зап'ястковий суглоб на променеву кістку. Далі навантаження розподіляється між променевою та ліктьовою кістками за допомогою міжкісткової мембрани. Завдяки цьому забезпечується нормальна робота передпліччя під час виконання різних рухів [2].

Після трансрадіальної ампутації дистальний променево-ліктьовий суглоб видаляється, що призводить до зменшення стабільності між променевою та ліктьовою кістками. Через це під час навантаження або обертальних рухів кістки можуть зміщуватися одна відносно одної, що іноді викликає дискомфорт або біль [2].

Важливе значення для функціонування кукси мають нерви передпліччя. Найбільш вразливим до травматичних і хірургічних ушкоджень вважається поверхневий променевий нерв, який часто є місцем утворення болючих невром. Також ушкоджень можуть зазнавати дорсальна гілка ліктьового нерва, медіальний та латеральний шкірні нерви передпліччя. Травматичне ушкодження нервів може призводити до розвитку невром, які є однією з причин нейропатичного болю та можуть негативно впливати на якість життя пацієнтів [3].

1.3 Класифікація протезів верхньої кінцівки

Протези верхніх кінцівок поділяються на кілька типів: пасивні, спеціалізовані, механічні, електричні та гібридні протези [4].

Пасивні протези переважно використовуються для відновлення зовнішнього вигляду втраченої кінцівки. Вони не мають активних рухомих механізмів і не забезпечують самостійного виконання рухів, однак можуть частково допомагати під час утримання предметів або виконувати опорну функцію. Основним завданням таких конструкцій є покращення косметичного ефекту та психологічної адаптації людини після ампутації (див. Рисунок 1.1) [4].



Рисунок 1.1 – Приклад пасивного протезу [5]

Окрему групу становлять спеціалізовані протези, які створюються для виконання конкретних видів діяльності. Їх конструкція адаптується під певне завдання, наприклад спортивні навантаження, керування транспортом або роботу з інструментами. Такі протези можуть суттєво відрізнятися від стандартних моделей і орієнтовані на забезпечення максимальної ефективності в конкретних умовах використання (див. Рисунок 1.2) [4].



Рисунок 1.2 – Приклад спеціалізованого протезу [6]

Принцип роботи механічних протезів ґрунтується на використанні сили та рухів самого користувача. Керування здійснюється через систему тяг, тросів або ременів, які передають рухи плечового пояса до функціональних елементів протеза. Подібні конструкції характеризуються високою надійністю, простотою ремонту та відсутністю потреби в джерелах живлення, що робить їх поширеним рішенням у клінічній практиці (див. Рисунок 1.3) [4].



Рисунок 1.3 – Приклад механічного протезу [7]

Електричні протези працюють за рахунок енергії зовнішнього джерела живлення та електронних систем керування. Для розпізнавання намірів користувача застосовуються спеціальні датчики, які реєструють біоелектричну активність м'язів кукси. Після обробки отриманих сигналів система активує виконавчі механізми, забезпечуючи рухи кисті або інших компонентів протеза. Завдяки цьому користувач отримує можливість виконувати більш широкий спектр функціональних дій та різноманітних типів захвату (див. Рисунок 1.4) [4].



Рисунок 1.4 – Приклад електричного протезу [8]

Гібридні протези поєднують у своїй конструкції декілька принципів керування одночасно. Найчастіше вони комбінують механічні та електричні компоненти, що дозволяє використовувати переваги кожної технології. Подібні системи особливо актуальні для пацієнтів із високим рівнем ампутації верхньої кінцівки. Поєднання різних функціональних вузлів дає можливість досягти компромісу між надійністю механічних систем та розширеними можливостями електронного керування [4].

1.4 Функції протезної гільзи

Протезна гільза є основною частиною протеза, яка забезпечує з'єднання кукси з протезом (див. Рисунок 1.5). Саме від гільзи залежить, наскільки зручно людині користуватися протезом у повсякденному житті [9].



Рисунок 1.5 – Приклад протезної гільзи верхньої кінцівки [10]

Однією з головних функцій гільзи є надійна фіксація протеза на куксі. Вона повинна щільно прилягати до кукси та утримувати протез у правильному положенні під час рухів. Також гільза забезпечує передачу рухів від кукси до протеза, що дозволяє людині ефективно керувати ним. Важливо, щоб навантаження на тканини кукси розподілялося рівномірно, оскільки це зменшує дискомфорт і ризик пошкодження шкіри [9].

Для міоелектричних протезів гільза додатково використовується для розміщення електродів, які зчитують сигнали м'язів кукси та передають їх до протеза. Крім цього, гільза повинна бути легкою, міцною, зручною для надягання та знімання, а також не обмежувати рухи користувача[9].

Для протезування на рівні передпліччя часто використовують гільзу типу Northwestern. Її конструкція забезпечує надійну фіксацію протеза за рахунок охоплення ділянки над ліктем. Для підвищення зручності користування була створена тричвертна модифікація цієї гільзи, у якій відкрита зона ліктьового відростка. Це дозволяє зменшити нагрівання кукси та зробити рухи рукою більш вільними [11].

1.5 Матеріали для виготовлення протезних гільз

Під час вибору матеріалу для виготовлення протезної гільзи необхідно враховувати декілька важливих характеристик, серед яких міцність, жорсткість, довговічність, простота виготовлення та вартість матеріалу.

У більшості трансрадіальних протезів внутрішня гільза виготовляється з термопластичних матеріалів методом термоформування. Така конструкція забезпечує надійну фіксацію кукси та має достатню міцність для утримання протеза й його функціональних елементів [12].

Для підвищення міцності конструкції часто застосовують композитні матеріали на основі полімерних смол, армовані різними видами волокон. Найбільш поширеними є скловолокно, вуглецеве волокно та кевлар. Такі матеріали забезпечують високу механічну міцність і довговічність протезної гільзи [13].

Останніми роками значна увага приділяється використанню природних волокон для виготовлення композитів. Для цього досліджуються матеріали на основі рамі, ананасового та бананового волокна. Також розробляються гібридні композити, у яких природні волокна поєднуються із синтетичними армувальними матеріалами, такими як скловолокно, перлон або вуглецеве волокно [13].

Перспективним напрямком є використання поліетилентерефталатних (*PET*) волокон, отриманих із переробленої пластикової сировини. Такі матеріали є доступними, мають невисоку вартість та можуть використовуватися для виготовлення протезних гільз [13].

Для виготовлення протезних гільз методом 3D-друку найчастіше використовують полілактид (*PLA*), термопластичний поліуретан (*TPU*) та нейлон. Ці матеріали забезпечують поєднання достатньої міцності, невеликої маси та можливості індивідуального виготовлення виробів [14, 20].

1.6 Методи виготовлення протезних гільз

Існує кілька способів виготовлення протезних гільз. Найбільш поширеним є традиційний метод. Спочатку протезист проводить огляд пацієнта та виконує необхідні заміри кукси. Потім за допомогою гіпсових бинтів виготовляється негативний зліпок, який точно повторює її форму [15].

На основі цього зліпка створюють гіпсову модель кукси. Після цього протезист коригує модель, додаючи або прибираючи матеріал у потрібних місцях для кращого розподілу навантаження та комфортного користування протезом [15,19].

Далі виготовляється сама гільза. Для цього можуть використовуватися пластик, скловолокно, вуглецеве волокно та спеціальні смоли. Такий спосіб виготовлення потребує багато часу та практичних навичок, тому створення протеза може займати кілька днів [15].

З розвитком сучасних технологій у протезуванні почали використовувати цифрові методи виготовлення. Одним із них є технологія *CAD/CAM*. У цьому випадку замість гіпсового зліпка форму кукси отримують за допомогою *3D*-сканування. Після цього модель обробляється на комп'ютері у спеціальній програмі, де можна внести необхідні зміни [15].

Також останніми роками набуває популярності *3D*-друк. Після сканування кукси та створення комп'ютерної моделі гільзу друкують на *3D*-принтері. Після друку виріб додатково обробляють і готують до використання [15,18].

1.7 Майбутнє протезування верхніх кінцівок

Одним із перспективних напрямків розвитку протезування верхніх кінцівок є впровадження цифрових технологій, зокрема *3D*-сканування та *3D*-друку. Такі технології дозволяють створювати індивідуальні протезні гільзи з урахуванням анатомічних особливостей пацієнта, скорочувати час виготовлення виробу та спрощувати процес його модифікації. У майбутньому цифрові методи можуть

частково замінити традиційні технології виготовлення гільз, що базуються на ручному моделюванні та гіпсових зліпках [16].

Перспективним напрямком також є створення повністю цифрового циклу виготовлення протеза, який включатиме 3D-сканування кукси, комп'ютерне моделювання конструкції та безпосереднє виготовлення виробу методом адитивного виробництва. Це дає можливість підвищити точність виготовлення протезів і покращити комфорт їх використання [16].

Незважаючи на значний потенціал цифрових технологій, їх широке впровадження поки що потребує подальших досліджень, стандартизації та накопичення клінічного досвіду. Проте більшість сучасних досліджень розглядають цифрове протезування як один із найважливіших напрямків розвитку галузі у найближчі роки [16].

Використання новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту та віртуальної реальності, створює додаткові можливості для розвитку протезування та сприяє вдосконаленню процесів проєктування і виготовлення протезних пристроїв, що в перспективі може підвищити якість життя людей після ампутації [17].

1.8 Медико-технічні вимоги до тимчасової трансрадіальної гільзи

Медико-технічні вимоги є основою для проєктування та виготовлення протезно-ортопедичних виробів. Вони визначають основні вимоги до конструкції виробу, його функціональних характеристик, безпеки, надійності та умов експлуатації. Формування медико-технічних вимог дозволяє забезпечити відповідність виробу анатомічним особливостям пацієнта та його функціональним потребам.

На основі аналізу літературних джерел, існуючих конструкцій трансрадіальних протезів та особливостей протезування пацієнтів після ампутації верхньої кінцівки було сформовано перелік вимог до тимчасової трансрадіальної гільзи. Особливу увагу приділено забезпеченню комфортної посадки,

правильному розподілу навантаження між куксою та гільзою, можливості корекції конструкції в період зміни форми кукси, а також простоті виготовлення та використання виробу.

З метою систематизації основних медичних, технічних та експлуатаційних вимог до розроблюваної гільзи їх наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Медико-технічні вимоги до тимчасової трансрадіальної гільзи

Група вимог / Критерій	Зміст медико-технічної вимоги для об'єкта проєктування
1. Відомості про об'єкт розробки	
Повне найменування та область застосування	Тимчасова гільза протеза верхньої кінцівки трансрадіального рівня. Область застосування — первинне протезування пацієнтів після трансрадіальної ампутації.
Умовне позначення об'єкта	ТТГ-ПВК (тимчасова трансрадіальна гільза протеза верхньої кінцівки).
Шифр теми (договору)	Тема дипломної роботи (затверджена наказом по університету від 25 травня 2026 р. № 1924-с).
Перелік документів для створення	ДСТУ 3627:2005, ДСТУ EN ISO 10328:2018.
2. Підстава для розробки та назва проєктної організації	
Перелік юридичних/фінансових документів	Завдання на дипломну роботу бакалавра за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія».
Джерела та порядок фінансування	Ініціативна розробка в рамках виконання дипломної роботи.
3. Мета і призначеність розробки	
Мета, концепція та вид продукції	Мета: удосконалення процесу проєктування та виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки. Концепція — індивідуальна гільза, виготовлена за гіпсовою моделлю кукси пацієнта.

Продовження таблиці 1.1

4. Медичні вимоги	
Медичне призначення	Забезпечення фіксації протеза на куксі передпліччя та підготовка пацієнта до постійного протезування.
Особливості використання	Використовується на ранньому етапі реабілітації після ампутації верхньої кінцівки.
Вимоги до пацієнта	Наявність сформованої куksi трансрадіального рівня без протипоказань до протезування.
Спеціальні медичні умови	Забезпечення рівномірного розподілу навантаження та зменшення локального тиску на чутливі ділянки куksi.
5. Технічні вимоги	
Склад об'єкта та конструктивне виконання	Тимчасова гільза, виготовлена з термопластичного матеріалу за індивідуальною позитивною гіпсовою моделлю.
Основний матеріал	Листовий термопластик для протезно-ортопедичних виробів.
Метод виготовлення	Гіпсове моделювання, вакуумне термоформування, механічна обробка та шліфування.
Вимоги до безпеки	Відсутність гострих країв, достатня механічна міцність та безпечний контакт зі шкірою.

Продовження таблиці 1.1

Вимоги до надійності	Збереження форми та функціональних властивостей протягом періоду тимчасового використання.
Вимоги до технологічності	Можливість виготовлення в умовах протезно-ортопедичної майстерні з використанням стандартного обладнання.
Вимоги до матеріалів	Біосумісність, мала маса, достатня жорсткість та можливість термоформування.
Ергономічні вимоги	Комфортне надягання та знімання, забезпечення необхідного обсягу рухів у ліктьовому суглобі.
Експлуатація та обслуговування	Простота очищення, можливість корекції та підгонки під форму кукси.
6. Економічні показники	
Вартість виробу	Мінімізація вартості виготовлення за рахунок використання стандартних матеріалів та технологій.
Економічний ефект	Скорочення термінів виготовлення та забезпечення можливості раннього протезування пацієнта.
7. Порядок контролю і приймання	
Види та методи випробувань	Візуальний контроль, перевірка відповідності розмірів, оцінка посадки гільзи на куксі.
Вимоги до приймання	Відсутність дефектів, відповідність анатомічним особливостям пацієнта та вимогам безпеки.
Статус приймальної комісії	Оцінювання результатів здійснюється керівником дипломної роботи та екзаменаційною комісією під час захисту.

Сформовані медико-технічні вимоги визначають основні характеристики розроблюваного виробу та забезпечують його відповідність медичним, технічним і експлуатаційним вимогам.

Висновок до розділу 1

У першому розділі було розглянуто теоретичні основи протезування верхньої кінцівки на трансрадіальному рівні. Проаналізовано особливості трансрадіальної ампутації та анатомо-фізіологічні особливості кукси передпліччя, які необхідно враховувати під час проєктування протезних виробів. Наведено класифікацію сучасних протезів верхньої кінцівки та розглянуто основні функції протезної гільзи, від якої значною мірою залежать комфорт користувача, надійність фіксації протеза та ефективність його використання.

Також досліджено матеріали та методи виготовлення протезних гільз, їх переваги та недоліки, а також перспективні напрями розвитку протезування верхніх кінцівок, пов'язані з використанням цифрових технологій. На основі проведеного аналізу літературних джерел сформовано медико-технічні вимоги до тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки. Отримані результати стали теоретичною основою для виконання практичної частини роботи, присвяченої виготовленню та дослідженню тимчасової трансрадіальної гільзи.

РОЗДІЛ 2

ВИГОТОВЛЕННЯ ТИМЧАСОВОЇ ТРАНСРАДІАЛЬНОЇ ГІЛЬЗИ

2.1 Етапи виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки

Виготовлення гільзи для кукси — це кропітка та багатоетапна робота. Важливо якісно виконувати всі етапи, оскільки саме від гільзи залежить комфорт пацієнта. Якщо вона буде замалою, зavelикою або тиснутиме на чутливі ділянки та зони, нетолерантні до тиску, пацієнт може відмовитися від носіння протеза. Тому першочергово необхідно сформувати основні етапи виготовлення гільзи (див. Рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Етапи виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки

2.2 Огляд кукси та проведення антропометричних вимірювань

Коли до нас звертається людина з ампутацією з бажанням пройти протезування, необхідно провести огляд кукси та оцінити її придатність до протезування. Насамперед оцінюють візуальний стан кукси: чи зажив рубець, чи відсутні відкриті рани, запальні процеси або варикозне розширення вен високого ступеня. Наступним етапом є пальпація, під час якої визначають наявність болючих зон, невром, ущільнень або пухлинних утворень.

Після проведення огляду та за відсутності протипоказань необхідно виконати заміри, щоб у подальшому орієнтуватися на них під час моделювання протеза (див. Рисунок 2.2).

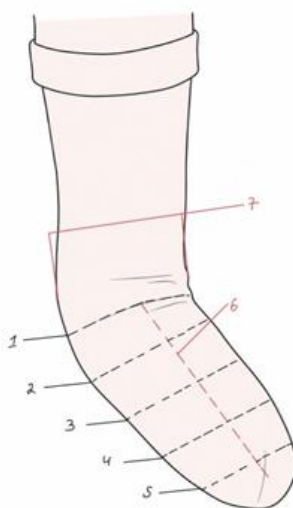


Рисунок 2.2 – Схема проведення антропометричних вимірювань
трансрадіальної кукси

1-5 – окружність кукси, виміряна через кожні 3 см, 6 – довжина трансрадіальної кукси, 7 – медіально-латеральний (*ML*) розмір у ділянці ліктьового суглоба.

Беремо вимірювальну стрічку та прикладаємо до згину руки, пацієнт повинен тримати її зігнутою під кутом 45 градусів. Вимірюємо довжину від згину до кінця кукси (див. Рисунок 2.2, 6), записуємо результат, вимірювальну стрічку не прибираємо та починаємо ставити відмітки через кожні три сантиметри, умовно

ділячи куку на кілька рівних ділянок (див. Рисунок 2.2, 1–5). Тепер у місцях, де поставлені відмітки, вимірюємо окружність без натягу та з натягом, тобто коли вимірювальна стрічка не стягує м'які тканини і коли м'які тканини трохи стискаються. Зазвичай стискання становить приблизно 1 см. Так повторюємо з кожною відміткою через кожні 3 сантиметри. Обов'язково потрібно все записувати, оскільки в подальшому завдяки цим розмірам ми будемо знати, наскільки сильно необхідно моделювати зліпок. Також потрібно виміряти медіально-латеральний розмір у ділянці ліктьового суглоба — відстань між виростками плечової кістки (див. Рисунок 2.2, 7). Останній замір, який нам потрібен, — це довжина збереженої кінцівки від ліктьового відростка до кінця першого пальця, щоб знати, якою довжиною повинен бути протез. Виміряні розміри наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Виміряні розміри кукси

Виміряні ділянки	Без натягу	З натягом
1 розмір окружності	29,7 см	28,5 см
2 розмір окружності	29,3 см	28,4 см
3 розмір окружності	28,0 см	27,0 см
4 розмір окружності	24,6 см	23,5 см
5 розмір окружності	20,5 см	20,0 см
6 - довжина кукси	19 см	-
7 - медіально-латеральний розмір	7,5 см	-
Довжина збереженої кінцівки	43 см	-

2.3 Маркування навантажувальних та розвантажувальних зон

Змащуємо кукурузу вазеліном для того, щоб легше було знімати зліпок і не травмувати шкіру пацієнта. Поверх натягуємо трикотажний носок, важливо натягнути його до середини плеча. Беремо хімічний олівець, важливо, щоб він був саме хімічний, оскільки тоді відмітки добре перебіються на зліпок. Відмічаємо всі важливі орієнтири, на які не можна буде тиснути чи змінювати їх під час моделювання. Також потрібно умовно для себе окреслити зони навантаження, тобто ті ділянки, на які можна і навіть потрібно здійснювати тиск (див. Рисунок 2.3).

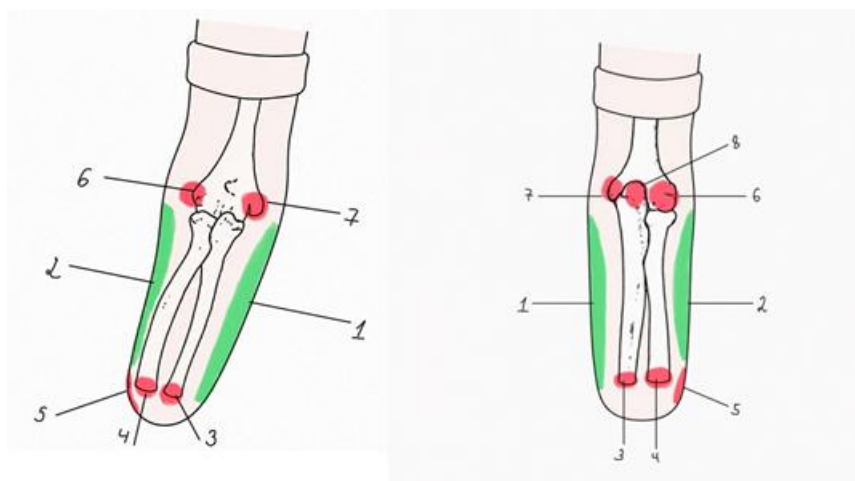


Рисунок 2.3 – Зони навантаження та розвантаження трансрадіальної кукси (вид спереду та ззаду)

1-2 – навантажувальні зони м'яких тканин передпліччя, 3 – дистальний кінець ліктьової кістки, 4 – дистальний кінець променевої кістки, 5 – чутлива зона даного пацієнта, 6 – латеральний надвиросток плечової кістки, 7 – медіальний надвиросток плечової кістки, 8 – ліктьовий відросток ліктьової кістки.

Червоним кольором (див. Рисунок 2.3) позначені зони, які потребують розвантаження та мінімального тиску через близьке розташування кісткових виступів і підвищену чутливість тканин. Зеленим кольором (див. Рисунок 2.3) позначені навантажувальні зони, здатні переносити основний тиск гільзи завдяки більшому об'єму м'яких тканин.

2.4 Отримання негативного зліпка кукси

Згинаємо куксу під кутом 45 градусів, беремо гіпсовий бинт, приблизно два мотки, змочуємо у воді та, починаючи від ліктьового згину, обмотуємо всю куксу без проміжків і щільно. Закінчивши, починаємо затискати медіальну та латеральну сторони, роблячи рухи руками вгору-вниз. Це необхідно для забезпечення стабілізації кісток, оскільки кістки в м'яких тканинах «плавають», тобто не мають стабільності. Робимо це до застигання гіпсу (див. Рисунок 2.4, а).

Беремо вазелін та змащуємо по колу ділянку біля ліктьового згину, щоб легше було знімати задню стінку. Заздалегідь готуємо шестишаровий гіпс довжиною трохи більшою, ніж окружність над ліктем, змочуємо та прикладаємо до задньої стінки ліктя. Спереду не повністю закриваємо шкіру, щоб потім можна було її зняти (див. Рисунок 2.4, б). Далі лівою рукою затискаємо надвиростки, щоб утворити кістковий замок, і тримаємо, поки гіпс не застигне (див. Рисунок 2.4, в). Беремо хімічний олівець та обводимо краї задньої стінки, а також проводимо смужки для того, щоб при знятті виставити її в те саме положення (див. Рисунок 2.4, г).

Заключний етап — зняття гіпсу: спочатку верхньої стінки (див. Рисунок 2.4, д), а потім основи з кукси. Завершальним етапом виставляємо задню стінку до основи по помічених лініях та скріплюємо степлером, у результаті чого отримуємо негатив зліпка кукси (див. Рисунок 2.4, е).

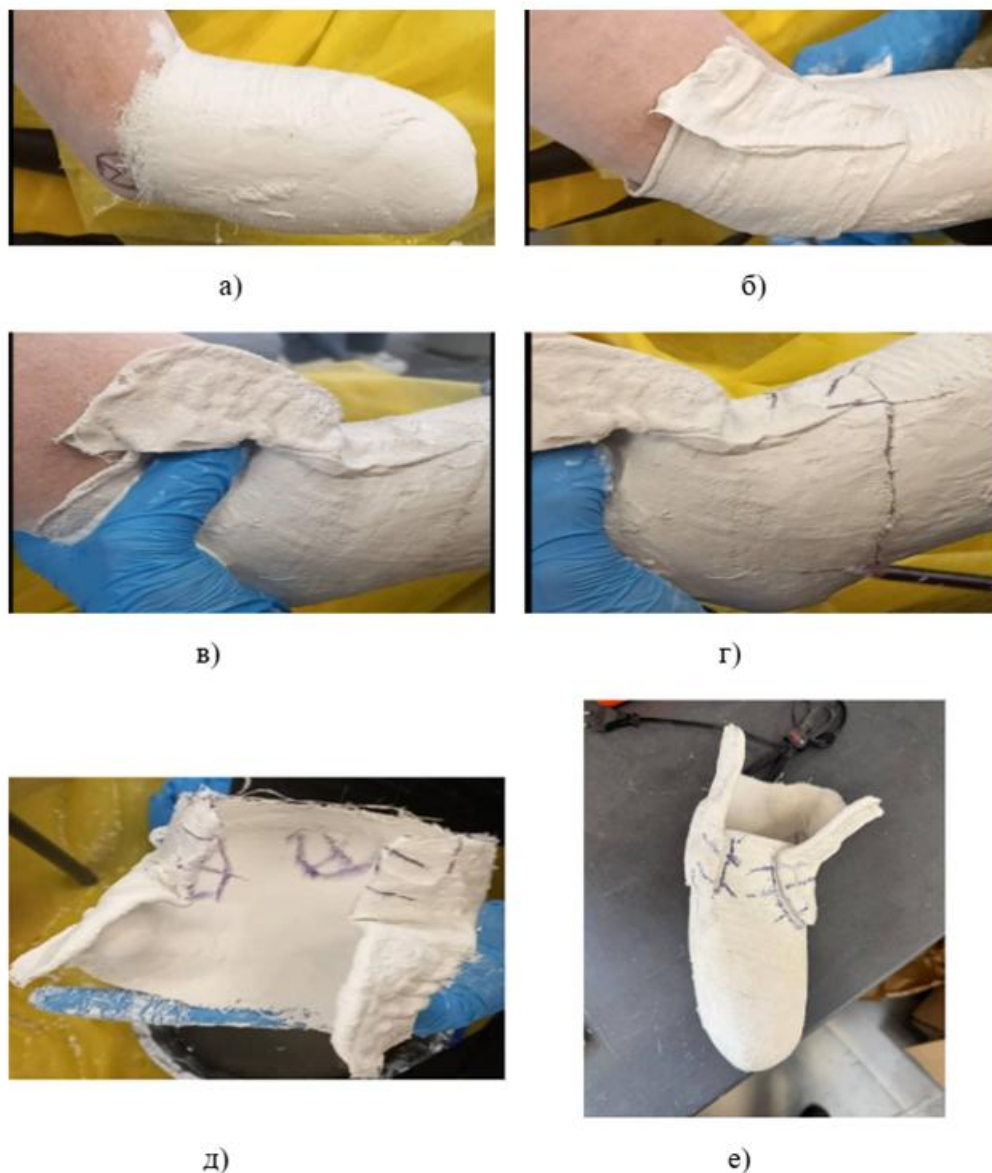


Рисунок 2.4 – Етапи виготовлення гіпсового негативу

2.5 Виготовлення та моделювання позитивної гіпсової моделі

Для того щоб залити негатив гіпсом, нам потрібно зробити його суцільним, тобто закрити проміжок, який маємо. Для цього беремо чотири шари гіпсу, змочуємо та обмотуємо навколо негативу, тобто формуємо так звану «спідницю» (див. Рисунок 2.5), після чого чекаємо до повного застигання.



Рисунок 2.5 – Формування гіпсової “спідниці”

Після висихання можна приступати до заливки. Ставимо наш негатив у пісок для стабільності. Розмішуємо сухий гіпс із водою, рідина за густотою повинна бути схожою на сметану. У негатив вставляємо трубу та фіксуємо її. Важливо, щоб вона не торкалася стінок зліпка, інакше потім не вдасться виконати моделювання (див. Рисунок 2.6, а), після чого заливаємо гіпс (див. Рисунок 2.6, б). Після заливки обов’язково потрібно постукати по боках негативу, щоб вийшло зайве повітря.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Підготовка негативного зліпка до заливки та процес заливки гіпсом

Після того як гіпс застигне, ми знімаємо гіпсові бинти та переходимо до моделювання зліпка.

При огляді я виявила кілька недоліків моєї моделі, які критично необхідно виправити, оскільки якщо залишити все так, гільза буде непридатною до використання.

Однією з проблем є зміщення лінії згину ліктя. Можливо, пацієнт повернув руку під час гіпсування, через що вона змістилася. Якщо залишити це без змін, кукса просто не зможе поміститися в гільзу. Також останній, п'ятий, розмір окружності виявився більшим за наші вимірювання, тому його потрібно трохи зменшити (див. Рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Виявлені дефекти позитивної гіпсової моделі перед моделюванням

Наступна проблема виявилась з медіального та латерального боків. Під час гіпсування задньої стінки ліктя я занадто сильно стиснула пальці, через що утворилися завеликі вм'ятини. Тепер навколо них потрібно вирівняти поверхню під глибину ямки, щоб перехід був плавним. Також на дистальному кінці сформувався занадто гострий кут, тому його необхідно зробити плавнішим (див. Рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Виявлені дефекти позитивної гіпсової моделі перед моделюванням

Останній момент полягає в тому, що позначки кісткових орієнтирів дуже погано перенеслися на модель. Тому в ділянці ліктя потрібно виділити більшу зону, оскільки в подальшому ця частина буде вирізатися, щоб лікоть міг вільно згинатися та розгинатися. Якщо виділити замалу зону і неправильно визначити орієнтири, це завадить нормальному використанню протеза (див. Рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Виявлені дефекти позитивної гіпсової моделі перед моделюванням

Визначивши проблеми, переходимо до їх виправлення. Моделюємо за допомогою рашпіля та згладжуємо поверхню за допомогою шліфувальної стрічки. Унаслідок цього отримуємо модель із виправленими помилками, яка придатна до подальших процесів. Було виконано згладження «вушок» майбутньої гільзи та

оформлено плавний перехід від основи до вушка (див. Рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Моделювання позитивної гіпсової моделі

Також було збільшено та вирівняно лінію згину ліктя, завдяки чому пацієнт зможе помістити куку в майбутню гільзу. Окрім цього, змодельовано невеликий об'ємний квадрат на основі, оскільки у пацієнта багато м'яких тканин і їм потрібен додатковий простір, щоб гільза не створювала надмірного тиску (див. Рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Моделювання позитивної гіпсової моделі

Згладжено виділену частину в області ліктя, оскільки в подальшому вона нам не потрібна. Головне — виділити цю зону, щоб надалі знати, де виконувати виріз. Також було збільшено дистальну зону для усунення гострого кута (див. Рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Моделювання позитивної гіпсової моделі

Тепер можна переходити до термоформування за допомогою пластику та вакууму.

2.6 Формування гільзи за допомогою пластику та нагрітого вакууму

Закріплюємо нашу модель на спеціальній стійці з подачею вакууму. Отвір між позитивом і стійкою закриваємо ганчіркою та замотуємо ізолентою — це необхідно для того, щоб спрацював вакуум (див. Рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Закріплення позитивної моделі на вакуумній стійці

Беремо лист пластику, розміром із нашу модель, та кладемо його в піч, нагріту до 170 градусів, приблизно на 5 хвилин. Пластик повинен стати м'яким. Витягаємо його з пічки спеціальними рукавицями та одягаємо на нашу модель. Нижні краї потрібно швидко заліпити та ввімкнути вакуум, щоб пластик щільно затягнувся й прийняв форму моделі. Зайвий пластик знизу обрізаємо ножицями так, щоб залишилося приблизно 2 см (див. Рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Вакуумне формування термопластичного матеріалу на позитивній моделі

2.7 Обрізка, шліфування та обробка країв гільзи

На заключному етапі нам потрібно почати з відмітки зон на пластику, які необхідно обрізати. Відмічаємо верхні краї нашої гільзи, а також область обрізки ліктя, зону, до якої потрібно зменшити шов, та отвори, які необхідно просвердлити (див. Рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Розмітка зон обрізки та обробки тимчасової гільзи

Після виконання поставлених задач необхідно закрутити болти в отвори на шві. Це робиться для того, щоб полегшити процес шліфування, оскільки шов у нас не суцільний, а розходиться на дві частини. Така конструкція потрібна для того, щоб пацієнту було легше знімати та одягати протез (див. Рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 – Фіксація шва тимчасової гільзи болтами перед шліфуванням

Заключними етапами є шліфування зон обрізки, щоб вони були гладенькими та рівними й не травмували куксу. Також вирізаємо круглий отвір із медіальної сторони — через нього пацієнт витягує мішок для протяжки, щоб щільно ввести куксу у внутрішню частину протеза. Болти після цього знімаємо, оскільки вони нам більше не потрібні (див. Рисунок 2.17).



Рисунок 2.18 – Готова тимчасова трансрадіальна гільза протеза верхньої кінцівки

2.8 Узагальнення результатів корекції позитивної гіпсової моделі

Після виготовлення позитивної гіпсової моделі було проведено її детальний аналіз з метою виявлення дефектів, які могли негативно вплинути на посадку та функціональність майбутньої протезної гільзи. За результатами аналізу виконано корекцію форми моделі відповідно до антропометричних вимірювань пацієнта та вимог до розподілу навантаження. Узагальнені результати виявлених дефектів і проведених коригувальних заходів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Виявлені дефекти позитивної гіпсової моделі та способи їх корекції

Виявлений дефект	Можливі наслідки	Виконана корекція
Зміщення лінії згину ліктя	Ускладнення надягання гільзи, обмеження рухів у ліктьовому суглобі	Лінію згину збільшено та вирівняно відповідно до анатомічних особливостей пацієнта
Невідповідність окружності дистальної частини моделі антропометричним вимірюванням	Погіршення посадки гільзи	Проведено корекцію форми відповідно до отриманих вимірювань
Нечітке перенесення кісткових орієнтирів	Ускладнення формування ліктьового вирізу	Додатково сформовано та виділено зону майбутнього ліктьового вирізу
Надмірні заглиблення на медіальній поверхні	Утворення локальних зон підвищеного тиску	Виконано згладжування поверхні
Надмірні заглиблення на латеральній поверхні	Утворення локальних зон підвищеного тиску	Виконано згладжування поверхні
Гострий контур дистального кінця моделі	Нерівномірний розподіл навантаження в гільзі	Дистальний кінець моделі згладжено
Недостатній об'єм у проксимальній частині моделі при значній кількості м'яких тканин	Надмірне стискання м'яких тканин під час користування протезом	Сформовано додатковий об'єм у проксимальній частині моделі

Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто процес виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки. Під час роботи проведено огляд кукси, виконано необхідні вимірювання, отримано негативний і позитивний гіпсові зліпки та виконано моделювання з урахуванням зон навантаження і розвантаження.

У процесі аналізу позитивної моделі були виявлені дефекти, зокрема зміщення лінії згину ліктя, надмірні заглиблення та нечітке відображення кісткових орієнтирів. Після проведення корекції було усунуто виявлені недоліки та покращено анатомічну відповідність моделі.

Після завершення моделювання виконано термоформування, обрізання та шліфування гільзи. У результаті виготовлено тимчасову трансрадіальну гільзу, що відповідає формі кукси пацієнта та може використовуватися на початковому етапі протезування. Отримані результати підтвердили важливість правильного моделювання позитивної гіпсової моделі для забезпечення комфорту та функціональності майбутнього протеза.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою даного розділу є виявлення та аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають під час виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки, а також розробка заходів щодо їх усунення та забезпечення безпечних умов праці.

3.1 Характеристика приміщення

Виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи проводилося в майстерні протезно-ортопедичного підприємства. Приміщення обладнане робочими місцями для виготовлення гіпсових моделей, моделювання куксоприймача, термоформування пластика та механічної обробки готового виробу.

Під час виконання роботи використовувалися вакуумна стійка для формування пластикової гільзи, термічна піч для нагрівання листового пластику, шліфувальне обладнання для обробки країв виробу, а також ручний інструмент для моделювання позитивної гіпсової моделі. Для забезпечення безпечних умов праці приміщення обладнане системою вентиляції та достатнім освітленням робочих зон.

План приміщення наведено на Рисунку 3.1, а основні характеристики приміщення та перелік використаного обладнання подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики кабінету для протезування верхніх кінцівок.
Параметри приміщення, обладнання і оснащення

№	Найменування	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
Приміщення				
1	Параметри основного приміщення	6500 × 4000 × 3000 мм; S = 26 м ² ; V = 78 м ³	-	-
2	Параметри ізольованої ділянки	2500 × 4000 × 3000 мм; S = 10 м ² ; V = 30 м ³	-	-
3	Кількість працюючих	Старший технік-протезист, технік-протезист	2	-

Продовження таблиці 3.1

4	Природне освітлення	Вікно поворотно-відкидне <i>Steko</i> 1500×1200 мм	2	1
5	Штучне освітлення	Світлодіодний лінійний світильник <i>EUROLAMP LED HIGH POWER 100W</i> 5000K	3	2
Обладнання і оснащення				
6	Інфрачервона піч <i>PDQ PO-2 Infrared Oven</i>	Розміри: 914×1016×1524 мм; температурний режим: 120–230 °C	1	3
7	Вакуумна установка <i>Ottobock Vacuum Forming Workstation</i>	Розміри: 1250×750×750 мм; потужність: 1,5 кВт; напруга: 230 В; тиск: -0,85 бар	1	4
8	Робочий стіл <i>Fasano FG 134/D2</i>	Розміри: 2000×1850×745 мм; 5 ящиків; панель для інструментів	2	5
9	Стіл-тумба з мийкою виробничий	Розміри: 500×1700 мм; матеріал: нержавіюча сталь	1	6
10	Шафа металева вогнестійка <i>CF-1220 2KL</i>	Розміри: 1220×930×560 мм Матеріал: оцинкована сталь	1	7
11	Шліфувальний верстат <i>Jet JBOS-5</i>	Потужність: 700 Вт; швидкість обертання: 1400 об/хв; розміри: 370×370×500 мм	1	8
12	<i>Plaster Modification Stand</i>	Для фіксації гіпсової моделі під час моделювання; розміри: 600×600×1200 мм	2	9
13	Система вентиляції <i>Vents WPA 250-3,6</i>	Напруга: 380 В; продуктивність: 250 м³/год; потужність: 3,6 кВт	2	10
14	Вогнегасник ОП-9	Порошковий; об'єм: 9 л	2	11
15	Система автоматичного пожежогасіння <i>ACD0.6-GC</i>	<i>ABC</i> ультратонкий сухий; об'єм гасіння: 3,9 м³	2	12

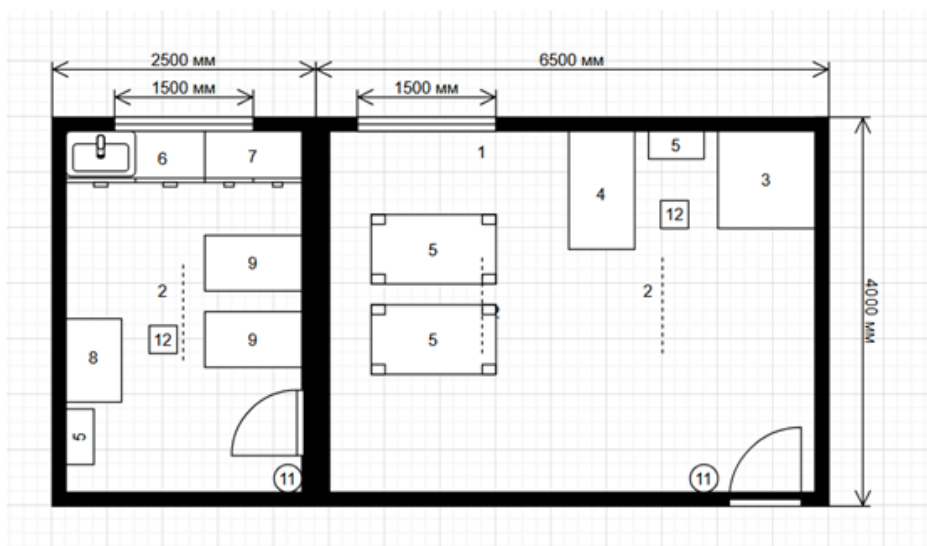


Рисунок 3.1 – Схема кабінету для для протезування верхніх кінцівок

В таблиці 3.2 наведено порівняльну характеристику основних нормативних значень кабінету протезування з реальними значеннями.

Таблиця 3.2 – Порівняння нормативних параметрів

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1	Площа на 1 працюючого	13 м ²	4,5 м ²
2	Об'єм на 1 працюючого	39 м ³	15 м ³
3	Площа ізольованої ділянки	10 м ²	6 м ²
4	Мінімальна ширина проходу	1,5 м	1,5 м
5	Мінімальна відстань між технологічним обладнанням	0,7 м	0,6 м

На основі даних, наведених у таблиці 3.2, встановлено, що приміщення, у якому проводилося виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи, відповідає вимогам нормативних документів. Фактичні значення площі приміщення, його об'єму, ширини проходів та відстаней між обладнанням знаходяться в межах допустимих значень. Тому додаткових заходів щодо нормалізації умов праці не потребується.

3.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів

Під час виконання технологічних операцій з виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи працівник може зазнавати впливу різних небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Найбільш характерними для даного виду робіт є пил, що утворюється під час обробки гіпсу та шліфування пластику, підвищений рівень шуму від роботи обладнання, контакт із нагрітими поверхнями термопечі та фізичне навантаження під час виконання окремих технологічних операцій.

Для оцінки умов праці було проведено аналіз наявних виробничих факторів відповідно до класифікації ГОСТ 12.0.003-74. Результати аналізу наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Небезпечні та шкідливі виробничі чинники

Група небезпечних факторів	Перелік основних чинників
Фізичні	Теплова безпека, рухомі частини шліфувального обладнання
Хімічні	Випари термопластичних матеріалів, гіпсовий пил.
Біологічні	Відсутні
Психофізіологічні	Відсутні

3.2.1 Теплова безпека

У процесі виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи теплові небезпеки пов'язані переважно з використанням термопечі та роботою з нагрітими термопластичними матеріалами. Результати оцінки джерел, причин виникнення та можливих наслідків теплових небезпек наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Оцінка теплових небезпек

№	Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
---	-------------------------	-------------------	-------------------	--------------------

Продовження таблиці 3.4

1	Інфрачервона піч <i>PDQ PO-2 Infrared Oven</i>	Нагрівальні елементи та корпус печі	Висока температура поверхонь під час нагрівання пластику	Термічні опіки, перегрівання приміщення
2	Металеве деко для нагрівання пластику	Нагріта металева поверхня	Контакт працівника з нагрітим деком під час перенесення пластику	Опіки рук та передпліч
3	Пластикові пластини	Нагрітий термопластичний матеріал	Контакт із нагрітим пластиком під час формування гільзи	Термічні опіки, подразнення шкіри

Порівняння реальних та нормативних значень теплових небезпечних факторів наведене в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Реальні та нормативні фактори теплової небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	температура нагрівального елемента	1000 °C	45 °C – опік шкіри
2	температура тіла рамки	170 °C	45 °C – опік шкіри
3	температура нагрітого пластику	170 °C	45 °C – опік шкіри

На основі порівняння фактичних умов праці під час виготовлення тимчасової трансradіальної гільзи з вимогами ДСТУ 7239:2011 було встановлено, що окремі показники потребують покращення. З метою підвищення рівня безпеки праці та зменшення впливу шкідливих виробничих факторів запропоновано комплекс технічних, організаційних та експлуатаційних заходів, які наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо теплової безпеки

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
Технічний	Теплоізоляція нагрівальних елементів печі, використання вентиляції для відведення тепла
Організаційний	Проведення інструктажу з безпечної роботи з нагрітими матеріалами та обладнанням
Експлуатаційний	Контроль температурного режиму інфрачервоної печі та справності обладнання
Індивідуальний	Використання термостійких рукавиць під час роботи з нагрітим пластиком та металевим деком
Протипожежний	Використання вогнегасника та системи автоматичного пожежогасіння

Запропоновані заходи з охорони праці спрямовані на зниження ризику виникнення опіків та інших травм під час нагрівання термопластичного матеріалу і проведення термоформування гільзи.

3.2.2 Рухомі частини шліфувального обладнання

Під час фінішної обробки тимчасової трансрадіальної гільзи використовуються шліфувальні машини, робота яких пов'язана з наявністю рухомих робочих елементів. Контакт із ними може призвести до травмування рук, пошкодження одягу або інших нещасних випадків. Для визначення джерел небезпеки, причин їх виникнення та можливих наслідків було проведено відповідний аналіз, результати якого наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Оцінка небезпеки рухомих частин шліфувального обладнання

№	Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Шліфувальний верстат <i>Jet JBOS-5</i>	Обертові шліфувальні насадки	Висока швидкість обертання шліфувальних елементів під час обробки гільзи	Порізи та механічні травми рук

З метою визначення відповідності умов роботи зі шліфувальним обладнанням вимогам охорони праці проведено аналіз фактичних і нормативних показників безпеки. Результати порівняння наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Реальні та нормативні фактори небезпеки рухомих частин обладнання

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
1	Швидкість обертання шліфувального елемента	1400 об/хв	0 об/хв – відсутній рух

Проведений аналіз показав, що під час шліфування та обробки протезної гільзи існує ризик механічного травмування працівника внаслідок контакту з рухомими частинами обладнання. Для зменшення ймовірності виникнення травм

необхідно дотримуватися вимог безпеки під час роботи, використовувати засоби індивідуального захисту та виконувати організаційні заходи з охорони праці. Перелік запропонованих заходів наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо небезпеки рухомих частин обладнання

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
Організаційний	Проведення інструктажу з безпечної роботи зі шліфувальним обладнанням
Технічний	Регулярна перевірка технічного стану шліфувального верстата
Експлуатаційний	Дотримання правил безпечної експлуатації під час шліфування
Індивідуальний	Використання захисних окулярів, спецодягу та засобів індивідуального захисту

Виконання запропонованих заходів безпеки дає змогу знизити ймовірність травмування працівника під час обробки протезної гільзи на шліфувальному обладнанні та забезпечити більш безпечні умови праці.

3.2.3 Хімічна небезпека

У процесі виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи можуть виникати хімічні небезпеки, пов'язані з використанням пластиків, смол та інших технологічних матеріалів. Аналіз джерел хімічної небезпеки наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Оцінка хімічної небезпеки

№	Найменування обладнання / матеріалу	Джерело небезпеки
1	Пластикові пластини	Виділення стиролу, монооксиду вуглецю при перегріві або спалюванні
2	Гіпсові бинти та гіпсові моделі	Утворення гіпсового пилу під час обробки та шліфування

Для оцінки безпеки умов праці під час роботи з пластиками та іншими технологічними матеріалами було проведено порівняння фактичних показників із нормативними вимогами. Результати аналізу наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Реальні та нормативні фактори хімічної небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
1	Стирол	5–15 мг/м ³	10 мг/м ³
2	Монооксид вуглецю	2–10 мг/м ³	10 мг/м ³
3	Гіпсовий пил	4–8 мг/м ³	6 мг/м ³

Результати аналізу свідчать про необхідність контролю запиленості повітря та концентрації шкідливих речовин, що можуть утворюватися під час виготовлення протезної гільзи. Для забезпечення безпечних умов праці запропоновано відповідні технічні, організаційні та індивідуальні заходи, наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо хімічної небезпеки

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
Технічний	Використання припливно-витяжної вентиляції та місцевої витяжної системи
Організаційний	Проведення інструктажу щодо безпечної роботи з термопластичними матеріалами та гіпсом
Експлуатаційний	Контроль температурного режиму нагрівання пластикових пластин та своєчасне прибирання гіпсового пилу
Індивідуальний	Використання респіратора, захисних окулярів та спецодягу
Санітарно-гігієнічний	Регулярне очищення робочої зони від пилу та забезпечення провітрювання приміщення

Виконання запропонованих заходів дозволяє зменшити негативний вплив шкідливих речовин і пилу на працівника під час виготовлення та обробки

тимчасової трансрадіальної гільзи.

Висновок до розділу 3

У даному розділі були визначені та проаналізовані потенційно небезпечні й шкідливі виробничі фактори, що виникають під час виготовлення тимчасових трансрадіальних гільз. Проведено оцінку теплових, механічних та хімічних небезпек, пов'язаних із використанням інфрачервоної печі, шліфувального обладнання, термопластичних матеріалів та гіпсових моделей.

У результаті аналізу встановлено, що найбільшу небезпеку становлять теплові фактори, рухомі частини шліфувального обладнання та утворення шкідливих речовин і пилу. Для підвищення рівня безпеки працівників були розроблені відповідні заходи охорони праці.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було розглянуто особливості протезування верхньої кінцівки на трансрадіальному рівні та проаналізовано сучасні підходи до виготовлення протезних гільз. Встановлено, що якість протезування значною мірою залежить від правильності формування приймальної гільзи, оскільки саме вона забезпечує фіксацію протеза, передачу навантаження на куксу та комфорт користувача під час експлуатації. Особливого значення набуває виготовлення тимчасових гільз, які використовуються на початкових етапах реабілітації та дозволяють враховувати зміни форми кукси в процесі її формування.

На основі аналізу літературних джерел досліджено функції протезної гільзи, матеріали та методи її виготовлення. Розглянуто традиційні технології виготовлення гільз із використанням гіпсових моделей і термоформування, а також сучасні цифрові методи, що базуються на CAD/CAM-технологіях та 3D-друці. Крім того, проаналізовано перспективні напрями розвитку протезування верхніх кінцівок, пов'язані з використанням цифрових технологій, адитивного виробництва та штучного інтелекту.

У ході практичної частини роботи виконано повний цикл виготовлення тимчасової трансрадіальної гільзи протеза верхньої кінцівки. Проведено огляд кукси, виконано антропометричні вимірювання, виготовлено негативний та позитивний гіпсові зліпки. Під час аналізу позитивної моделі було виявлено низку дефектів, зокрема зміщення лінії згину ліктя, нечітке перенесення кісткових орієнтирів, надмірні заглиблення на окремих ділянках та нерівномірне формування дистального кінця моделі. Для усунення виявлених недоліків проведено моделювання позитивної гіпсової моделі з урахуванням анатомічних особливостей пацієнта та зон навантаження і розвантаження.

Після завершення моделювання виконано термоформування гільзи з термопластичного матеріалу та її подальшу механічну обробку. Проведені корекції дозволили покращити анатомічну відповідність виробу, забезпечити більш рівномірний розподіл навантаження та створити умови для комфортного

користування протезом. У результаті роботи виготовлено тимчасову трансрадіальну гільзу, яка відповідає основним медико-технічним вимогам до виробів даного призначення.

У розділі охорони праці проведено аналіз умов праці під час виготовлення тимчасових трансрадіальних гільз, визначено потенційні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, а також запропоновано комплекс організаційних, технічних та індивідуальних заходів щодо зниження професійних ризиків. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення безпеки працівників та забезпечення належних умов виконання технологічного процесу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Apagüño, B., Munkwitz, S. E., Mata, N. V., Alessia, C., Nayak, V. V., Coelho, P. G., & Fullerton, N. (2025). Optimal Sites for Upper Extremity Amputation: Comparison Between Surgeons and Prosthetists. *Bioengineering*, 12(7), 765. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12070765>.
2. Bartoletta, J. J., Israel, J. S., & Rhee, P. C. (2021). Transradial Amputation With Pedicled Pronator Quadratus Interposition and Advanced Neuroma-Prevention Techniques. *The Journal of hand surgery*, 46(12), 1129.e1–1129.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2021.05.004>.
3. Kenji, K., Hasegawa, H., Omokawa, S., Mahakkanukrauh, P., & Tanaka, Y. (2025). Anatomical study of vulnerable sensory and expendable motor nerves for targeted muscle reinnervation in the upper extremity. *Journal of Plastic Surgery and Hand Surgery*, 60(1), 35–39. <https://doi.org/10.2340/jphs.v60.42655>.
4. Walters S, Seminati E, Metcalfe B, Bailey NY and Pegg EC (2025) Demystifying upper limb hybrid prostheses—a scoping review. *Front. Rehabil. Sci.* 6:1610336. doi: 10.3389/fresc.2025.1610336.
5. Інноваційні технології та технічні рішення для галузей промисловості : вебсайт. URL: <https://www.invateh.poltava.ua/index.php> (дата звернення: 28.05.2026).
6. Як влаштовані робочі протези верхніх кінцівок : вебсайт. URL: <https://chp.com.ua/meditsina-i-zdorove/item/98006-yak-vlashtovani-robochi-protezi-verkhnikh-kintsivok> (дата звернення: 28.05.2026).
7. Тягові механічні протези для верхніх кінцівок // Prothes : вебсайт. URL: <https://prothes.com.ua/tiahovi-mekhanichni-protezy-dlia-verkhnikh-kintsivok/> (дата звернення: 28.05.2026).
8. Міоелектричні протези рук // Prothes : вебсайт. URL: <https://prothes.com.ua/mioelektrichni-protezi-ruk/> (дата звернення: 28.05.2026).

9. Baumgartner, B., Vujaklija, I., Aszmann, O. C., Boesendorfer, A., Kaniusas, E., & Sturma, A. (2025). Design, construction, and evaluation of the BeneFit socket: An adjustable temporary socket for a transradial prosthesis. *Prosthetics and orthotics international*, 49(5), 515–522. <https://doi.org/10.1097/PXR.0000000000000379>.
10. Alley, R. D., Williams, T. W., 3rd, Albuquerque, M. J., & Altobelli, D. E. (2011). Prosthetic sockets stabilized by alternating areas of tissue compression and release. *Journal of rehabilitation research and development*, 48(6), 679–696. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2009.12.0197>.
11. Ngan, C.C., Pendse, V., Sivasambu, H. et al. Preliminary characterization of rectification for transradial prosthetic sockets. *Sci Rep* 14, 5759 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56333-6>.
12. Iungin, I., & Mokrousova, O. COMPOSITE MATERIALS FOR LIMB PROSTHETICS LINERS.
13. Nagarajan, Y. R., Farukh, F., Silberschmidt, V. V., Kandan, K., Rathore, R., Singh, A. K., & Mukul, P. (2023). Strength Assessment of PET Composite Prosthetic Sockets. *Materials* (Basel, Switzerland), 16(13), 4606. <https://doi.org/10.3390/ma16134606>.
14. Wendo, K., Ward, J., Baschuk, C. et al. Additive Manufacturing in Upper-Limb Prosthetics: A Survey of Stakeholders' Profiles and Expertise. *Ann Biomed Eng* (2026). <https://doi.org/10.1007/s10439-026-04159-w>.
15. Oldfrey, B. M., Morgado Ramirez, D. Z., Miodownik, M., Wassall, M., Ramstrand, N., Wong, M. S., Danemayer, J., Dickinson, A., Kenney, L., Nester, C., Lemaire, E., Gholizadeth, H., Diment, L. E., Donovan-Hall, M. K., & Holloway, C. (2024). A scoping review of digital fabrication techniques applied to prosthetics and orthotics: Part 1 of 2-Prosthetics. *Prosthetics and orthotics international*, 48(5), 574–589. <https://doi.org/10.1097/PXR.0000000000000351>.
16. J. Olsen, S. Day, S. Dupan, K. Nazarpour and M. Dyson, "3D-Printing and Upper-Limb Prosthetic Sockets: Promises and Pitfalls," in *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 29, pp. 527-535, 2021, doi: 10.1109/TNSRE.2021.3057984.

17. Xu, K., & Qin, S. (2023). An Interdisciplinary Approach and Advanced Techniques for Enhanced 3D-Printed Upper Limb Prosthetic Socket Design: A Literature Review. *Actuators*, 12(6), 223. <https://doi.org/10.3390/act12060223>.
18. Ribeiro, D.R., Cimino, S.R., Mayo, A.L., Ratto, M., Hitzig, S.L., 3D Printing and Amputation: A Scoping Review, *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2019, 16, 2, 221-240, <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1646825>.
19. Manz, S., Valette, R., Damonte, F. et al. A review of user needs to drive the development of lower limb prostheses. *J NeuroEngineering Rehabil* 19, 119 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01097-1>.
20. Lutfi, S.N.N., Abd Razak, N.A., Ali, S., Gholizadeh, H., Compression and Tension Behavior of the Prosthetic Foam Materials Polyurethane, EVA, Pelite™ and a Combination of Polyurethane and EVA: A Preliminary Study, *Biomed Tech (Berl)*, 2021, 66, 3, 317-322. <https://doi.org/10.1515/bmt-2019-0110>.