

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



Кафедра РТТ

Методичні вказівки
до лабораторних робіт
з дисципліни
«САПР біомедичних апаратів та конструкцій»
для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньої програми «Телемедичні та біомедичні системи»
усіх форм навчання

2019

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «САПР біомедичних апаратів та конструкцій» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» освітньої програми «Телемедичні та біомедичні системи» усіх форм навчання / Укл.: А.В. Пархоменко, О.М. Гладкова. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 62 с.

Укладачі: А.В. Пархоменко, к.т.н., доцент каф. ПЗ
О.М. Гладкова, к.т.н., доцент каф. РТТ

Рецензент: Г.М. Шило, д.т.н., зав.каф. ІТЕЗ

Відповідальний за випуск: зав.каф. радіотехніки та телекомунікацій
С.В. Морщавка, к.т.н., доцент.

Затверджено
на засіданні
кафедри РТТ
Протокол № 1 від
“11” вересня 2019 р.

Ухвалено
на засіданні НМК
факультету РЕТ
Протокол № 2 від
“19” вересня 2019 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота №1 Знайомство з інтерфейсом Creo Parametric	8
Лабораторна робота № 2 Створення 3D-моделі пальця кіберфізичної руки	15
Лабораторна робота № 3 Побудова 3D-моделі основної частини кисті руки	21
Лабораторна робота № 4 Проєктування 3D-моделі п'ястя великого пальця	26
Лабораторна робота № 5 Створення кресленика пальця та складання повної 3D-моделі кисті.....	34
Лабораторна робота № 6 Розробка цифрового прототипу кінцівки людини з використанням технології 3D-сканування	40
Лабораторна робота № 7 Розробка фізичного прототипу роботизованого протезу кінцівки людини з використанням технології 3D-принтіngu ..	52
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	60
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	61

ВСТУП

Метою даного циклу лабораторних робіт є дослідження особливостей віртуального та фізичного прототипування роботизованого протезу верхньої кінцівки людини (рис. 1) з використанням сучасних технологій 3D моделювання, 3D сканування та 3D принтіngu [1].

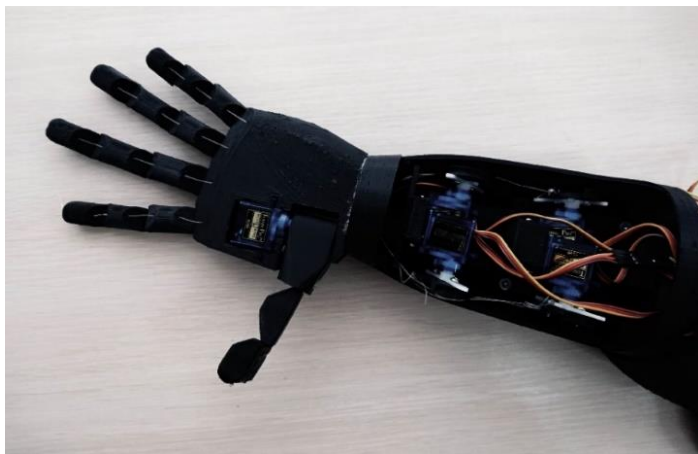


Рисунок 1 – Вигляд прототипу роботизованого протезу верхньої кінцівки людини

Створення та дослідження віртуального прототипу (рис.2) проєктованого виробу дозволяє: виявити помилки проєкту на ранніх етапах створення проєкту та, відповідно, зменшити час розробки та знизити витрати на доробку; дослідити більше альтернативних варіантів та шляхів розвитку проєкту; виконати дослідження прототипу, які інколи є неможливими в реальних умовах на натурному макеті; не проводити фізичні експерименти, що потребують значного часу та матеріальних витрат.

Для створення та дослідження віртуальних прототипів схем та конструкцій роботизованих протезів використовуються сучасні системи автоматизованого проєктування та моделювання (Altium Designer, PROTEUS, Creo та ін.) [2].

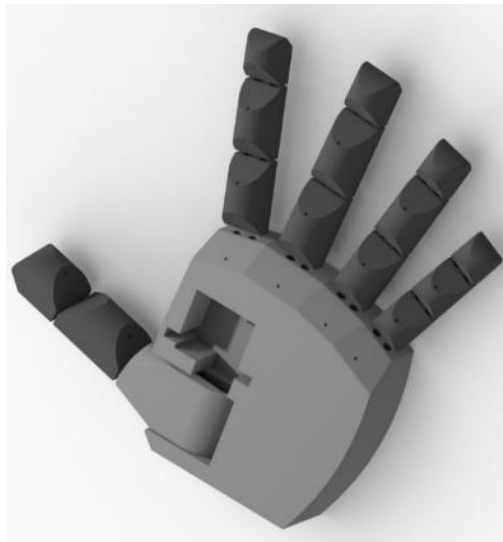


Рисунок 2 – Віртуальна модель частини роботизованого протезу

Після виконання лабораторних робіт №1-5 студент має володіти основними навичками створення 3D моделей виробів, розуміти методику сполучення компонентів і створення складальної моделі, розуміти інтерфейс Creo і володіти всіма основними інструментами середовища проєктування [2-4]. В середовищі Creo студентом має бути створено 9 результуючих файлів, а саме: 7 файлів з окремими твердотільними моделями кисті руки, один складальний файл кисті та файл кресленника будь-якого з п'яти пальців руки (рис. 3).

Технологія 3D-сканування тісно пов'язана з оцифровкою об'єктів проєктування та побудовою 3D-моделі проєктованого виробу та дозволяє максимально забезпечити зовнішню схожість виробу зі здоровою кінцівкою та відповідні габаритні розміри. Питання вибору відповідного апаратного забезпечення, налаштування якого дозволяють забезпечити ефективність процесу сканування за умови урахування типу об'єкту, умов освітлення, відстані до об'єкта та ін., є надзвичайно важливим. Крім того, для покращення результатів 3D сканування та моделювання існує ряд програм (наприклад, David-3D, Skanect, Autodesk 123D Catch, Artec Studio 10), вибір яких також суттєво впливає на якість отриманого результату.

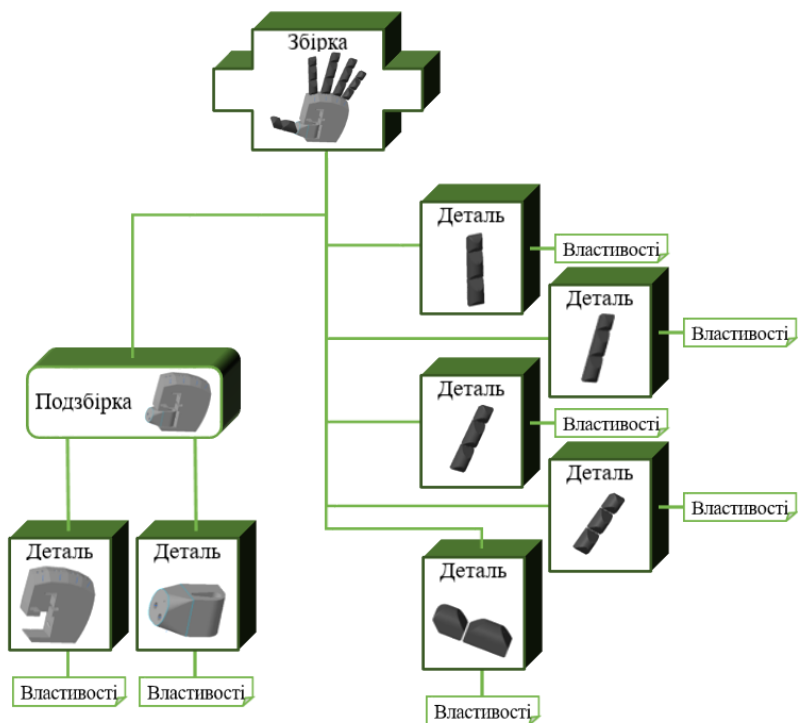


Рисунок 3 – Ієрархічна структура кисті кіберфізичної руки

Після виконання лабораторної роботи №6, студент має засвоїти принципи 3D сканування кінцівки людини за допомогою сканера Gotcha та роботи зі сканованим зображенням в середовищі Skanect [5-7].

Технології 3D-принтіngu в біоінженерії та медицині дозволяють отримати максимально реалістичні екземпляри для досліджень та безпосереднього використання. На 3D-принтері вже сьогодні друкують біомедичні вироби та ця технологія розвивається й надалі [8]. Існує багато різних технологій та відповідно апаратних засобів 3D-принтіngu [9-14]. Питання вибору відповідного програмного забезпечення, налаштування якого дозволяють забезпечити якість процесу друкування за умови урахування часових та матеріальних обмежень, є надзвичайно важливим.

Після виконання лабораторної роботи №7, студент має опанувати технології 3D друку з використанням 3D принтеру Leapfrog Creatr HS [15], практично ознайомитись з програмним забезпеченням Simplify3D [16], дослідити вплив налаштувань на якість друку (рис.4).

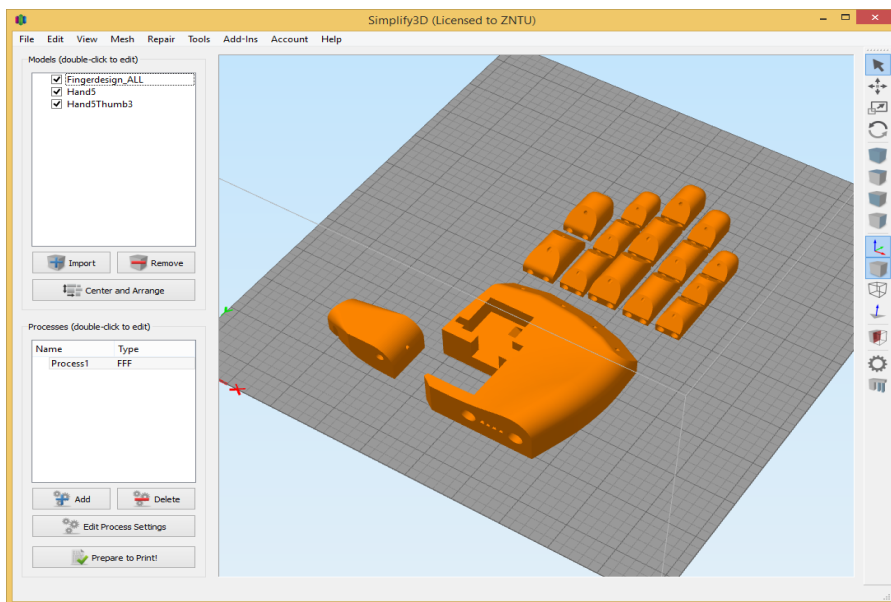


Рисунок 4 - 3D модель кисті роботизованого протезу в середовищі Simplify3D

Також студентам рекомендується самостійно дослідити сучасні тенденції в галузі розробки роботизованих протезів кінцівок людини на основі аналізу джерел [17-23].

Лабораторна робота №1

Знайомство з інтерфейсом Creo Parametric

Мета циклу робіт: ознайомитися з інтерфейсом системи PTC Creo. Виконати проектування віртуального прототипу кисти роботизованого протезу верхньої кінцівки людини.

1.1 Головне вікно системи

Після запуску системи PTC Creo, з меню **Пуск** → **Усі програми** → **PTC Creo** → **Creo Parametric** і створення нового файлу **File** → **New** (**Файл** → **Створити**), відкривається головне робоче вікно цієї системи (рис. 1.1), яке містить наступні компоненти: панель швидкого доступу до команд, стрічкове меню, навігатор, графічне вікно, браузер, область повідомлень.

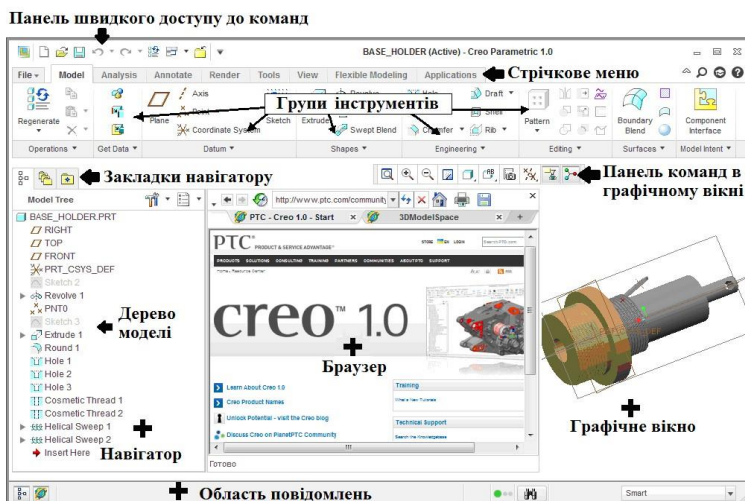


Рисунок 1.1 – Головне вікно системи

Панель швидкого доступу до команд служить для швидкого доступу до часто використовуваних команд, таких як: створення нової моделі, відкриття вже існуючої моделі, збереження моделі, скасування

або повтор виконаних операцій, регенерація, список відкритих вікон моделей, закриття та збереження моделі в сесії, список можливих налаштувань даної панелі.

Стрічкове меню. Основне меню системи в безлічі випадків (в модулях для створення компонувань, перетинів, деталей, складань, двовимірних креслень, форматів) зображено у вигляді стрічкового меню, яке містить в собі вкладки, з розміщеними в них групами інструментів (операцій, команд). Групи інструментів можуть містити списки, що випадають з командами, піктограми яких не розміщені на панелі.

Навігатор. У навігаторі за замовчуванням відображено дерево моделі, яке в свою чергу показує весь поетапний процес створення моделі. Навігатор містить ряд закладок: огляд вмісту дерева моделі, навігатор папок, і часто використовувані папки. Навігатор папок дозволяє, не залишаючи відкритого вікна моделі відкривати вже існуючі на диску моделі в іншому допоміжному вікні.

Всі побудовані креслення, складання деталей, оформлення звітів, і подібне виконуються в **графічному вікні (області)**, де відображається побудований об'єкт щодо 2D- або 3Dкоординат. Перегляд моделі динамічний, тобто її можна обертати, панорамування (будувати панорами), масштабувати.

Доступ до Інтернет-сторінок вбудованого web-браузера. Щоб відкрити його необхідно натиснути на піктограму (в нижньому лівому кутку головного вікна), або перейти за допомогою навігатора папок до мережевого оточення Network Neighborhood (Мережеве оточення).

Область повідомлень служить для оповіщення стану роботи системи і підказок користувачеві.

1.2 Основне меню

Основне меню у вигляді стрічкового меню розміщено у верхній частині вікна програми і вміщує в собі вкладки з групами інструментів або зі списками команд для роботи з системою. Кількість таких вкладок може бути різною в залежності від типу створеного документа. Тому розглянемо призначення тільки основних з них:

- **File (Файл)** – містить список команд управління файлами;

- **Model (Модель)** – містить різні групи інструментів для створення і редагування моделей об'єктів;
- **Analysis (Аналіз)** – містить групи інструментів для проведення аналізу моделей в модулях інших систем, встановлення розмірів, перевірки геометрії, т.п.;
- **Annotate (Анотація)** – містить групи інструментів для управління анотаціями;
- **Render (Рендеринг)** – містить групи інструментів для роботи зі сценами, перспективним видом, рендерингом (створенням плоского зображення (картинки) за розробленою 3D-сцені);
- **Tools (Інструменти)** – містить групи інструментів для перегляду прив'язок, порівнянь деталей і іншого типу досліджень, і додаткові утиліти;
- **View (Вид)** – містить групи інструментів для налаштування відображення моделей, їх орієнтацій в просторі, відображення шарів, і управління вікнами;
- **Flexible Modeling (Гнучке моделювання)** – призначено для гнучкого редагування об'єктів;
- **Applications (Додатки)** – містить групи інструментів для роботи з виконавчими модулями;
- **Sketch (Ескіз)** – дана вкладка з'являється при створенні ескізу і містить групи інструментів для створення простих двовимірних геометричних об'єктів ескізу;
- **Manufacturing (Виробництво)** – служить для відтворення процесу виробництва деталей, з використанням верстатів;
- **Layout (Компонування)** – містить групи інструментів для настройки листа двовимірного креслення, для створення видів, роботи з текстом при побудові двовимірних креслень;
- **Table (Таблиця)** – для роботи з таблицями, їх створення і редагування;
- **Edit (Правка)** – список команд для редагування звітів, схем;
- **Insert (Вставка)** – список команд для додавання до звіту або схеми креслення.
- **Format (Формат)** – список команд для завдання стилю тексту, ліній, розмірів під час створення звітів або схем;
- **Help (Справка)** – список команд роботи з довідником.

Для вибору команди необхідно перейти на потрібну вкладку основного меню і потім вибрати її зі списку команд, або відповідну їй піктограму з панелі інструментів.

Можливий і інший варіант вибору команд, який прискорює роботу користувача з системою, використовуючи для цього тільки клавіатуру. При натисканні на клавішу **Alt**, знизу кожної вкладки або піктограми команд панелі швидкого доступу, буде відображатися символ(-и) - відображення для вибору даної вкладки, або команди (інструменту). Вибравши потрібну вкладку або команду натисканням клавіш (и) клавіатури, які відповідають(-є) певного позначення, можна перейти до даної вкладці, або викликати команду. Наприклад, для побудови ескізу можна спочатку вибрати вкладку **Model (Модель)** – **Alt+M**, потім команду **Sketch (Ескіз)** – **Alt+S**, вказати курсором миші площину на якій буде побудований ескіз і перпендикулярну їй площину для прив'язки, натиснути на клавішу **Enter**, і приступити до побудови ескізу.

1.3 Групи інструментів

Як вказувалось раніше, в даній системі групи інструментів чи панелі інструментів можуть бути розміщені як на вкладках основного меню (стрічкового меню), так і нижче нього, зверху (панель швидкого доступу до команд), і інколи справа (диспетчер меню). В залежності від режиму роботи набір кнопок (піктограм) на групах (панелях) інструментів може бути різний.

Оскільки груп та панелей інструментів достатньо багато, і їх вміст може змінюватися в залежності від типу документу з котрим працює користувач (деталь, складання, креслення, формат), розглянемо деякі з них, що найчастіше використовуються:



– **Create (Створити)** – дозволяє створити новий документ для моделі, креслення, складання, звіту, схеми, тощо; відкриває діалогове вікно **New (Новий)** (рис. 1.2);



– **Open (Відкрити)** – дозволяє відкрити вже створений файл (ескіз, деталь, складання); відкриває діалогове вікно **File Open (Відкрити файл)**, де й вибирається необхідний файл.



– **Close (Закрити)** – закриває відкритий файл.

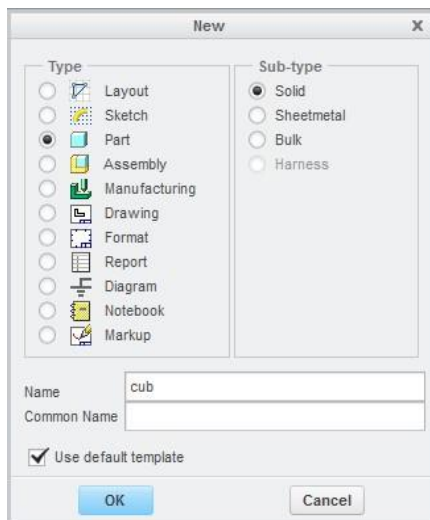


Рисунок 1.2 – Діалогове вікно створення нового документа New (Новий)



– **Save (Зберегти)** – зберігає файл відкритого документа під привласненим іменем в попередньо створену папку.



– **Undo (Скасувати)** – відмінює останню виконану команду.



– **Redo (Відновити)** – повертає видалену команду.



– **Regenerate (Регенерувати)** – дозволяє регенерувати (перерисовувати) модель.



– зміна масштабу відображення в розмір моделі.



– збільшення масштабу зображення, зменшення масштабу зображення.



– **Redraw (Перерисувати екран)** – оновлює екран, видаляє зайві лінії та точки.



– поворот моделі відносно центра чи відносно довільної точки.



– **Named Views (Іменовані види)** – дозволяє зафіксувати вид у встановленій чи вибраній за замовчуванням орієнтації.



– **Reorient (Виконати переорієнтацію)** – дозволяє вибрати потрібну орієнтацію моделі.



– **Layers (Відобразити шар)** – дозволяє відображати вже існуючі і створювати нові шари, на котрих розміщуються твердотільні чи нетвердотільні елементи моделі, компоненти зборки, креслярську геометрію виду.



– каркасне зображення, зображення з підсвіченням невидимих ліній, відображення без невидимих ліній, зафарбоване зображення, заливка з кромками, заливка з відображенням.



– ввімкнути/ вимкнути базові площини, ввімкнути/ вимкнути базові осі, ввімкнути/ вимкнути базові точки, ввімкнути/ вимкнути базові системи координат.



– ввімкнути/ вимкнути відображення розмірів, ввімкнути/ вимкнути відображення закріплення, ввімкнути/ вимкнути сітки, ввімкнути/ вимкнути відображення вершин в перетині.



– дозволяє орієнтувати площину ескізу паралельно екрану.



– ввімкнути/ вимкнути дерево моделі, ввімкнути/ вимкнути навігатор папок, ввімкнути/ вимкнути вибране.



– виконує пошук, фільтрацію і вибір об'єктів в моделі за правилами та критеріями.

1.4 Дерево моделі

Дерево моделі (**Model Tree**) – являє собою спеціальне інформаційне вікно, в якому послідовно відображається вся історія створення моделі. Воно розташоване на навігаторі в лівій частині екрана і має такий вигляд (рис. 1.3).

Інформаційні колонки дерева моделі можуть вилучатися для того, додаватися, а також вимикатися і вмикатися. Для вибору операції в дереві моделі, необхідно клікнути лівою клавішею миші на відповідній операції. Рядок **Insert Here (Вставити тут)** дозволяє переміщатися по дереву моделі від однієї операції до іншої, переміщаючи червону стрілку. Для видалення операції необхідно вибрати операцію лівою клавішею миші, і викликавши контекстне меню правою клавішею вибрати команду **Delete (Видалити)**. Щоб вмикати або вимикати операції використовується команда контекстного меню **Set Representation to (Задати уявлення)**.

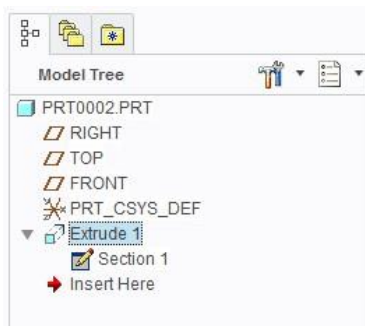


Рисунок 1.3 – Дерево моделі

1.5 Завдання до роботи

1.5.1 Запустити програму Creo.

1.5.2 Ознайомитися з описом інтерфейсу Creo.

1.5.3 Виконати проєктування окремих частин прототипу роботизованого протезу згідно з методиками, що наведені в лабораторних роботах № 2-5.

1.5.4 Виконати створення складання всіх частин прототипу протезу.

1.5.5 Оформити звіт з роботи.

1.6 Зміст звіту

1.6.1 Тема та мета роботи.

1.6.2 Структура проєкту, перелік створених файлів.

1.6.3 3D-моделі окремих частин проєктованого об'єкту та складання.

1.6.4 Висновки з робіт 1-5.

Лабораторна робота № 2

Створення 3D-моделі пальця кіберфізичної руки

Создать

Створимо нову деталь:
FILE(Файл)→NEW(Створити).
Вбрати тип: Part(ДЕТАЛЬ).
Підтип: Solid(Тверде тіло).
Ім'я: index_finger

Наименование: index_finger

Общее наименование:

☒ Использовать шаблон по умолчанию

Наименование	Тип	Значение	Обс...	Доступ	Источ...	Ом...	Ограни...	Колес...	Единиц...
F_HEIGHT	Вещество...	13.200000	☒	Полн...	Определ...				мм
F_F_HEIGHT	Вещество...	5.200000	☐	Блок...	Уравнение				мм
F_WEIGHT	Вещество...	14.000000	☒	Полн...	Определ...				мм
F_WEIGHT_END	Вещество...	13.000000	☒	Блок...	Уравнение				мм
F_LENGTH	Вещество...	71.600000	☒	Полн...	Определ...				мм
SMALL_F	Вещество...	17.600000	☒	Блок...	Уравнение				мм
F	Вещество...	26.000000	☒	Блок...	Уравнение				мм
HEIGHT_HOLE	Вещество...	7.170000	☐	Блок...	Уравнение				мм

Уравнения

```

F_F_HEIGHT = 0.4 * F_HEIGHT
F_WEIGHT_END = F_WEIGHT - 1
SMALL_F = (F_HEIGHT / 3) * 4
F = (F_LENGTH - (SMALL_F + 2)) / 2
height_hole = (0.6 * f_height) - 0.75

```

Начальный

Локальные параметры

«Інструменти» → «Параметр»

Натискаємо , додаємо нові параметри як зазначено на зображенні. Натискаємо OK

Де F_HEIGHT - висота пальця;

F_WEIGHT - ширина пальця;

F_LENGTH - довжина пальця;

F_F_HEIGHT - висота основної частини пальця;

F_WEIGHT_END - ширина пальця у кінця;

SMALL_F - довжина крайньої (дрібної) фаланги пальця;

F - довжина основної фаланги.

height_hole – висота отвору для волосіння.

Параметри F_HEIGHT, F_WEIGHT, F_LENGTH вносяться самостійно, виходячи з габаритів необхідного пальця. У свою чергу, параметри F_F_HEIGHT, F_WEIGHT_END, SMALL_F, F, height_hole обчислюються за рівняннями.

«Інструменти» → «Рівняння»

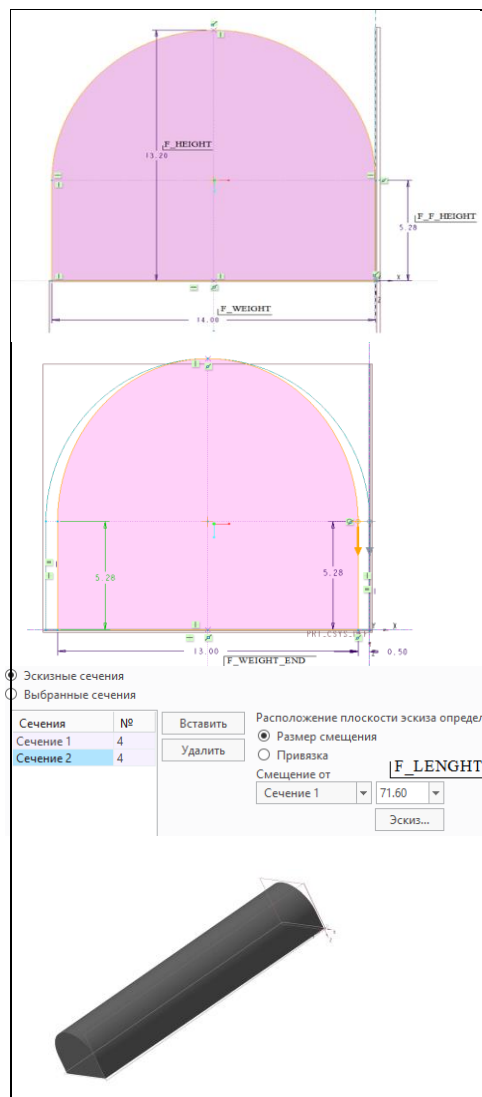
$F_F_HEIGHT = F_HEIGHT - 9;$

$F_WEIGHT_END = F_WEIGHT - 1 \text{ мм};$

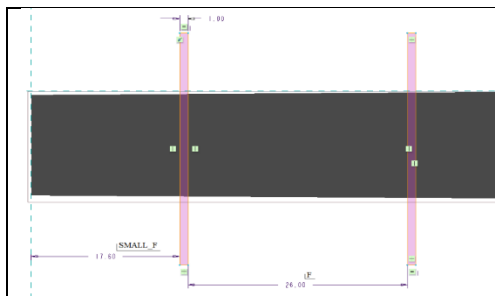
$SMALL_F = (F_HEIGHT / 3) * 4;$

$F = (F_LENGTH - (SMALL_F + 2 \text{ мм})) / 2;$

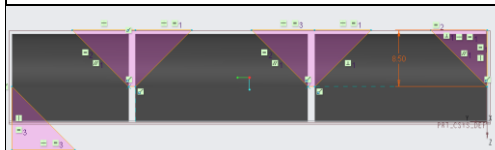
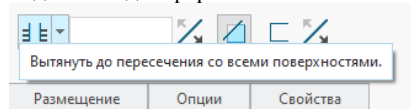
$height_hole = (0.6 * f_height) - 0.75.$



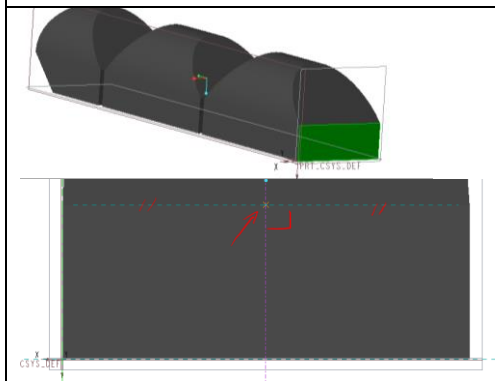
Створюємо основну форму пальця за допомогою «Сполучити» («Модель» > «Форми»). Для цього нам потрібно накреслити перше січення, яке зображено на рисунку, після чого додаємо друге січення замінивши F_WEIGHT на F_WEIGHT_END яке розташоване паралельно першого січення на відстані рівної параметру F_LENGTH. Завершивши сполучення, ми отримуємо основну форму пальця, звужену до кінця.



Далі нам потрібно розбити цю форму на фаланги пальців з відстанню між ними в 1 мм. Для цього за допомогою «Витягнути» («Модель» > «Форми») креслимо наступний ескіз, який зображений на рисунку, попередньо виділивши дно форми.

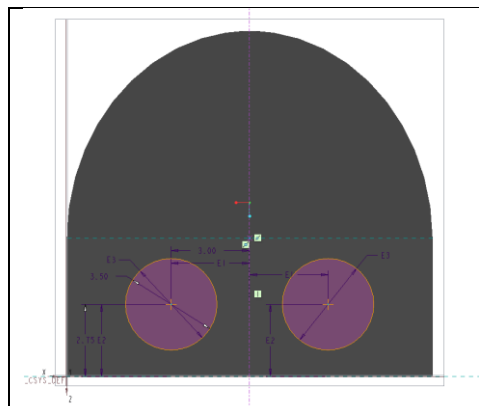


Відокремивши один від одного фаланги робимо їх так щоб при стисненні пальця нічого не заважало і зовні вони були схожі. Для цього робимо згини на кожній фаланзі за допомогою «Витягнути» («Модель» > «Форми»), але вже з прив'язкою до орієнтації «RIGHT».

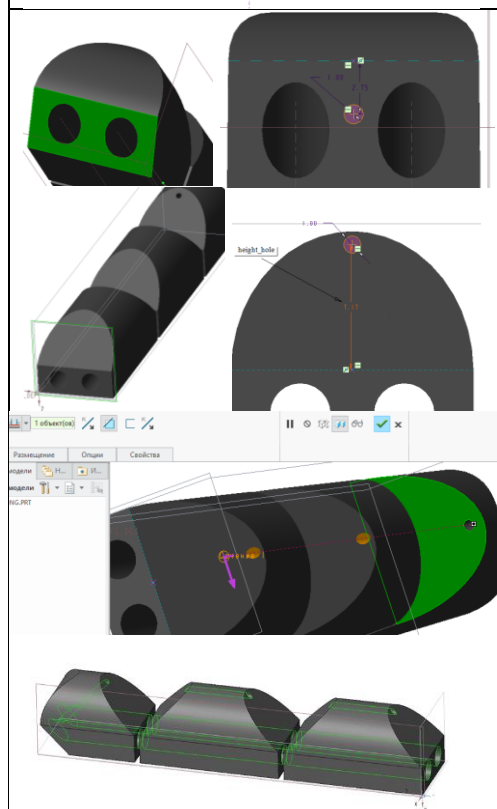
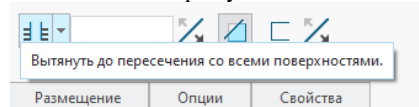


Тепер потрібно додати отвори для опорної частини і для. Це можна зробити за допомогою «Отвір», та продублювати його за допомогою «Масив», але швидше це зробити за допомогою «Витягнути».

У якості площини на якій буде розміщено січення обираємо площину як зображено на рисунку, та обравши «Витягнути» робимо ескіз, як показано на рисунку нижче. Спочатку зробимо точку рівно по середині, та лінію осьову.



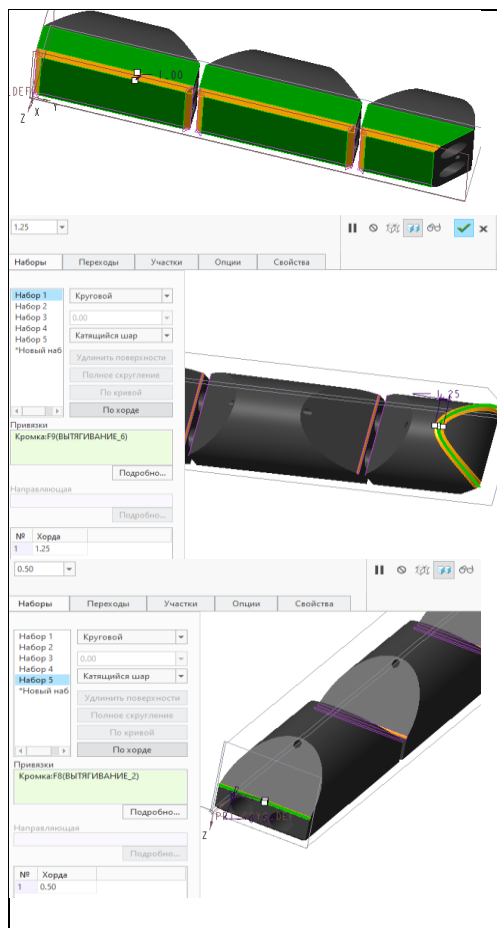
Від них будемо окружності діаметра 3 мм, на рівній відстані в 3 мм, а так само від нижньої частини на відстані в 2,75 мм. и робимо наскрізні отвори з видаленням матеріалу.



Далі за допомогою «Витягнути» робимо отвір, попередньо поставивши крапку на центрі лінії, щоб точно по центру будувати. Робимо ескіз, як зображено на рисунку, і завершуємо побудову витягування з видаленням матеріалу.

Обравши площину TOP, обираємо «Витягнути» та креслимо ескіз кола з прив'язкою до точки, що знаходиться точно по центру, центр якого знаходиться на відстані height hole від точки, та радіусу 1 мм. Завершуємо побудовання ескізу та обираємо «Витягнути до обраної точки, поверхні, площині» та коло вихідного отвору попереднього витягування, у якості об'єкта прив'язки.

Отримуємо усі потрібні нам отвори.



Залишилося додати заокруглення для плавності згинання, а також заокруглення на кінець пальця і фаску уздовж верхньої частини пальця. Обираємо «Фаска» («Модель» > «Проектування»), ставимо діаметр зрізу 1 мм, обираємо першу площину та другу площину (затискаючи Ctrl і обираючи іншу площину). Далі обираємо наступні дві площини, та так само далі до того результату як показано на рисунку. Завершуємо побудовання натиснувши . Та обираємо «Округлення» («Модель» > «Проектування») обираємо кромку кінчика пальця, натискаємо «По хорді» (у вкладці «Набори») та ставимо діаметр 1,25 мм. Натиснувши «*Новий набір» обираємо місця згинання фаланг, попередньо поставив діаметр 0,5 мм. Завершуємо побудовання.

Модель вказівного пальця кіберфізичної руки – готова.



Щоб створити інші пальці потрібно зберегти копію даної моделі під іншим ім'ям, після чого відкрити і ввести інакші три основних параметри у вікні «Параметри», як вказано у Таблиці 1, натиснути кнопку «Регенерувати» (або Ctrl+G) на вкладці «Модель» та зберегти. При створенні великого пальця треба ще видалити одну фалангу, так як за анатомією у людини всього дві фаланги у великому пальці.

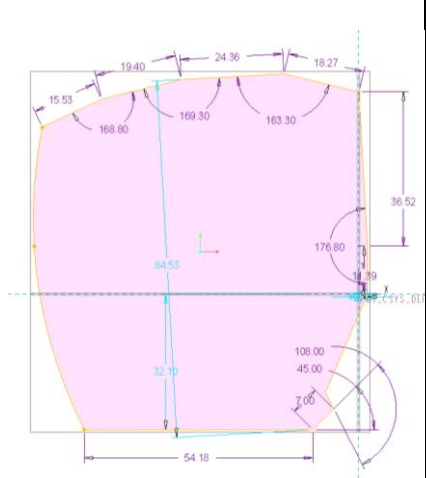
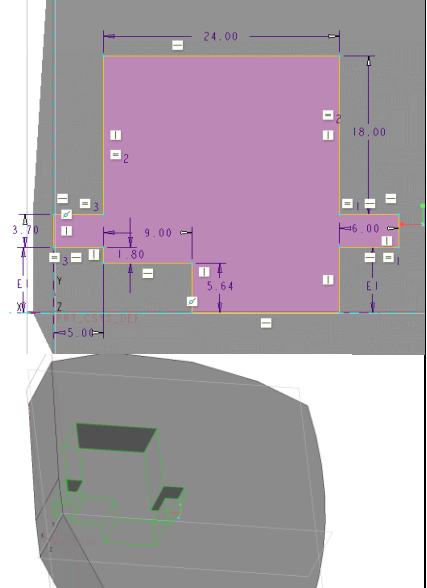
Примітка. Вводяться лише перші три параметри, а інші оновлюються самостійно, як тільки регенерація пройде.

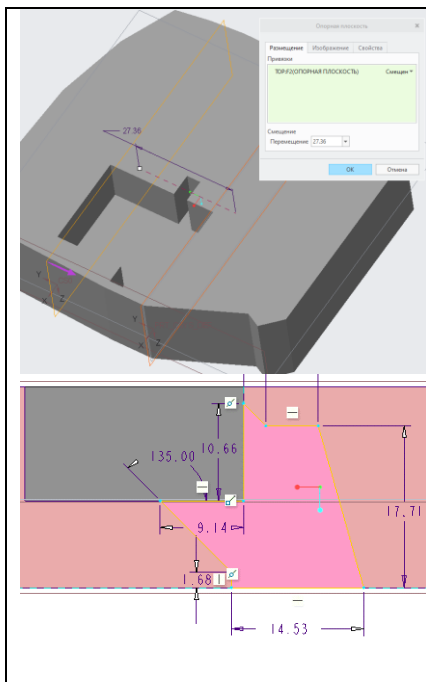
Таблиця 1 - Параметри пальців кіберфізичної руки, мм

Назва параметру	вказівний	середній	безіменний	мізинець	великий
F_HEIGHT	13,2	14,1	13,2	12	16
F_WEIGHT	14	15	14	13	18
F LENGHT	71,6	77,8	71,6	56,7	80
F_F_HEIGHT	4,2	5,1	4,2	3	7
F_WEIGHT_END	13	14	13	12	17
SMALL_F	17,6	18,8	17,6	16	21,333
F	26	28,5	26	19,35	28,333

Лабораторна робота № 3

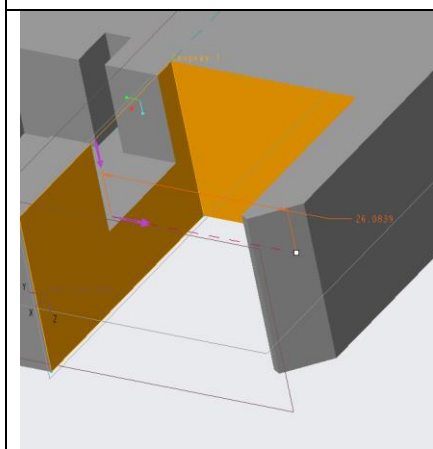
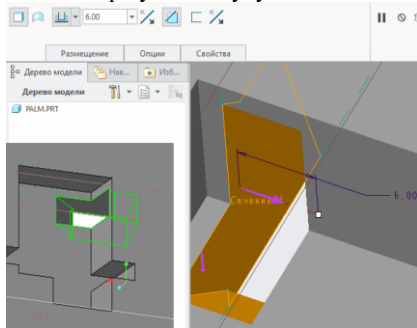
Побудова 3D-моделі основної частини кисті руки

	Створимо деталь долоні: FILE(Файл)→NEW(Створити). Вбрати тип: Part(ДЕТАЛЬ). Підтип: Solid(Тверде тіло). Ім'я: palm Основні побудови будуть виконуватися у площині FRONT. На рисунку зображено кресленик основної частини долоні. Використовуючи «Витягнути» витягуємо це січення на 22 мм. Завершуємо дану дію. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>W_END_FING</td> <td>Висота...</td> <td>18.27200</td> <td>☐</td> <td>☒ Поверх...</td> <td>Определ...</td> <td>☐</td> <td>Длина</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W_MID_FING</td> <td>Висота...</td> <td>24.35700</td> <td>☐</td> <td>☒ Поверх...</td> <td>Определ...</td> <td>☐</td> <td>Длина</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W_BOND_FING</td> <td>Висота...</td> <td>19.39600</td> <td>☐</td> <td>☒ Поверх...</td> <td>Определ...</td> <td>☐</td> <td>Длина</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W_LITT_FING</td> <td>Висота...</td> <td>15.53370</td> <td>☐</td> <td>☒ Поверх...</td> <td>Определ...</td> <td>☐</td> <td>Длина</td> <td>mm</td> </tr> </table>	W_END_FING	Висота...	18.27200	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm	W_MID_FING	Висота...	24.35700	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm	W_BOND_FING	Висота...	19.39600	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm	W_LITT_FING	Висота...	15.53370	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm
W_END_FING	Висота...	18.27200	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm																													
W_MID_FING	Висота...	24.35700	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm																													
W_BOND_FING	Висота...	19.39600	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm																													
W_LITT_FING	Висота...	15.53370	☐	☒ Поверх...	Определ...	☐	Длина	mm																													
	Наступним етапом є вилучення місця під сервопривід (сервомотор) великого пальця. Для початку треба визначити розміри та форму самого мотору. Виходячи з цих даних, завдяки «Витягнути» з використанням видалення матеріалу, видаляємо спочатку частину тіла мотора. Січення тіла мотора витягуємо на висоту тіла мотору 12,5 мм у напрямленні до низу.																																				

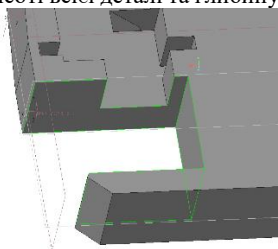


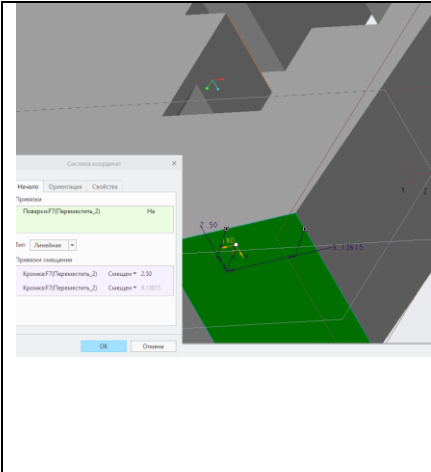
Але у мотору є і додаткова частинка. Цю частину можна побудувати додавши до ще одну площину, окрім трьох основних. Для цього вибрав «Площина» у вкладці «Модель» будуюмо площину паралельно основній площині TOP на відстані 27,36 мм.

Обрав дану площину починаємо будувати січення додаткової частини сервомотору. Витягуємо це січення на відстань рівну 6 мм у сторону площини TOP. Завершуємо побудову.



Далі зробимо виїмку під тіло обертальної частини великого пальця. Для цього від площини TOP у протилежну сторону від виїмки сервомотору видалимо частину яка починається на площині RIGHT та має ширину 34,2815 мм, висоту рівну висоті всієї деталі та глибину 26,0839 мм.





Потрібно зробити продовження для каналів опорної частини пальців і для каналів по яких тягнеться волосінь. Робимо це послідовним поєднанням дій «Система координат», «Система координат зміщення», «Крива по точкам» та «Протягнути»:

А) На початок, будемо для вказівного пальця, а далі за аналогією і інші. Вибираємо «Система координат». Розташовуємо її на відстані 2,5 мм від верхнього ребра, та на відстань рівную половині від ширини грані пальця (використовуємо умови, на рисунку 9.13615 мм - це отриманий результат після вводу у цю графу розміру $W_IND_FING / 2$).

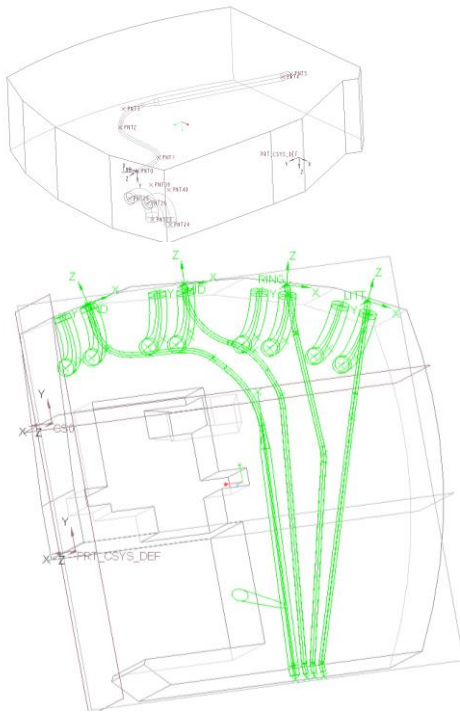
Тепер, використовуючи «Система координат зміщення» побудуємо потрібні точки для вказівного пальця, які можна побачити у Таблиці 2.

Таблиця 2 - Координати та назви усіх точок для «Система координат зміщення»

Пал.	Назва точки	X	Y	Z	Пал.	Назва точки	X	Y	Z
Вказівний	PNT0	0.00	0.00	0.00	Середній	PNT6	0.00	0.00	0.00
	PNT1	0.00	0.00	-10.00		PNT7	0.00	0.00	-10.00
	PNT2	20.00	0.00	-20.00		PNT8	13.10	0.00	-15.00
	PNT3	26.10	0.00	-30.00		PNT9	17.70	0.00	-25.00
	PNT5	12.40	10.01	-88.30		PNT10	18.50	10.00	-80.50
	PNT4	13.10	10.00	-85.51		PNT11	18.70	10.00	-83.50
	PNT23	3.00	19.50	-10.00		PNT27	3.00	19.50	-10.00
	PNT24	-3.00	19.50	-10.00		PNT28	-3.00	19.50	-10.00
	PNT25	3.00	9.00	0.00		PNT29	3.00	9.00	0.00
	PNT26	-3.00	9.00	0.00		PNT30	-3.00	9.00	0.00
	PNT39	3.00	9.00	-10.00		PNT41	3.00	9.00	-10.00
	PNT40	-3.00	9.00	-10.00		PNT42	-3.00	9.00	-10.00

Продовження таблиці 2.

Пал.	Назва точки	X	Y	Z	Пал.	Назва точки	X	Y	Z
Безіменний	PNT12	0.00	0.00	0.00	Мізинець	PNT17	0.00	0.00	0.00
	PNT13	2.50	0.00	-10.00		PNT18	3.00	0.00	-25.00
	PNT14	10.00	0.00	-35.00		PNT19	12.60	10.00	-74.80
	PNT15	13.20	10.00	-77.60		PNT20	13.80	10.00	-77.40
	PNT16	13.90	10.00	-80.40		PNT35	3.00	19.50	-10.00
	PNT31	3.00	19.50	-10.00		PNT36	-3.00	19.50	-10.00
	PNT32	-3.00	19.50	-10.00		PNT37	3.00	9.00	0.00
	PNT33	3.00	9.00	0.00		PNT38	-3.00	9.00	0.00
	PNT34	-3.00	9.00	0.00		PNT45	3.00	9.00	-10.00
	PNT43	3.00	9.00	-10.00		PNT46	-3.00	9.00	-10.00
	PNT44	-3.00	9.00	-10.00					

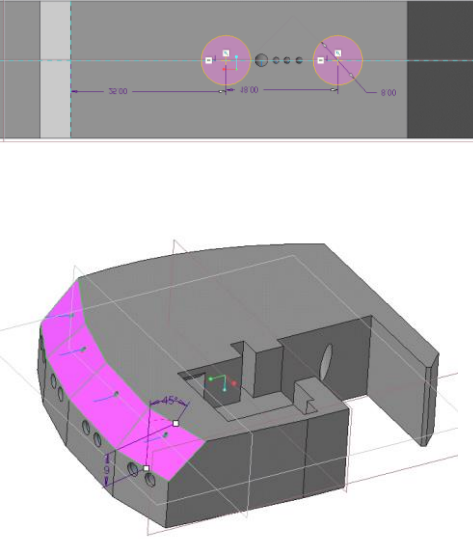
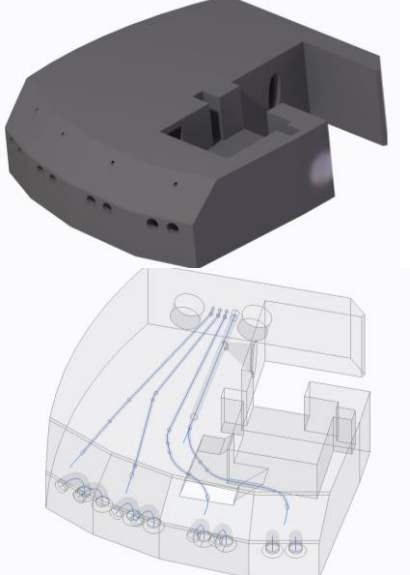


Б) Точки проставлено, тепер з’єднаємо точки послідовно за номерами завдяки «Крива по точкам», як наприклад PNT0-PNT1-PNT2-PNT3-PNT4-PNT5 – це буде крива каналу для волосінні вказівного пальця, а PNT23-PNT39-PNT25 та PNT24-PNT40-PNT26 криві для каналів опорної частини пальця.

В) Далі обираємо «Протягнути». Так як було вирішено поєднати канали для волосінь великого та вказівного пальців, при виконанні дії «Протягнути», в якості початкового січення було обрано коло діаметра 1,25 мм, а наприкінці, у області з’єднання кисті до зап’ястя, було обрано коло 2,5 мм.

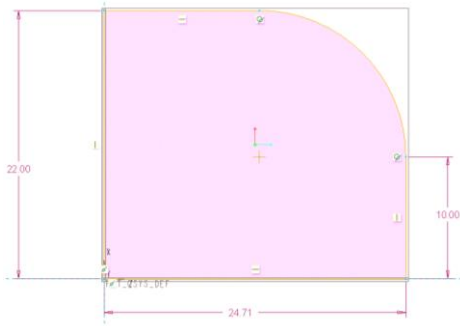
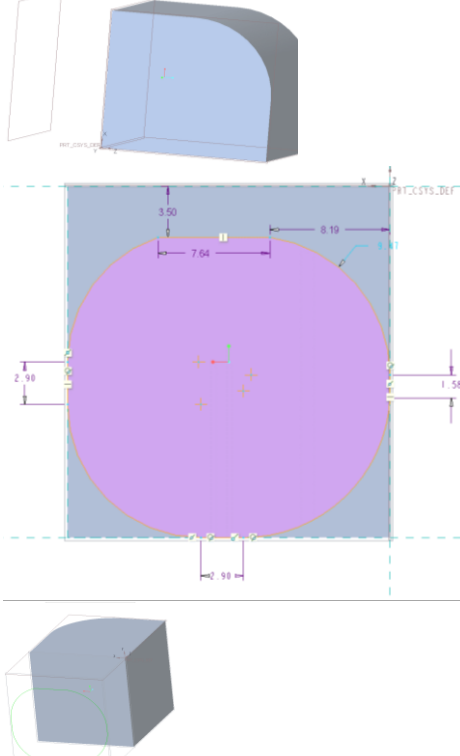
Для каналів опорної частини було обрано коло діаметру 3,5 мм.

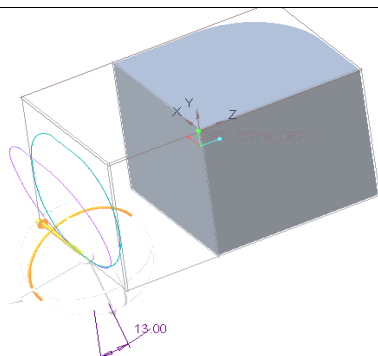
Побудуємо інші пальці за таким же принципом (повернутися на пункт А)

	Залишилося лише зробити отвори для кріплення з зап'ястям, зріз для кращого згинання пальців та деякі косметичні покращення у вигляді фасок і заокруглень. Оберемо грань до якої треба кріпити зап'ястя та виберемо дію «Витягнути». Витягуємо з видаленням матеріалу на 5 мм за січенням зображеним на рисунку. Також робимо фаску під кутом 45° та висотою у 9 мм як зображено на рисунку нижче.
	А також згладжуємо ребра цих граней, для більш плавного згинання пальців. Збережемо нашу долоню: <Ctrl> + S, або «Файл» > «Зберегти».

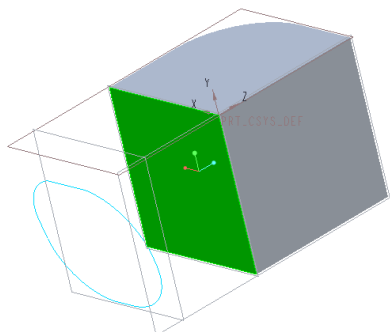
Лабораторна робота № 4

Проектування 3D-моделі п'ястя великого пальця

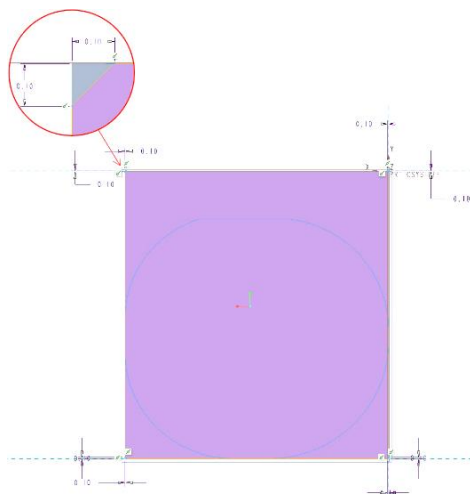
	Створимо нову деталь: FILE(Файл)→NEW(Створити). Вбрати тип: Part(ДЕТАЛЬ). Підтип: Solid(Тверде тіло). Ім'я: metacarpus За допомогою «Витягнути» зробимо частину моделі за ескізом зображеному на рисунку на 24 мм.
	Додамо площину для побудовання додаткової частини моделі. Оберемо «Площина» («Модель» > «Опорні елементи»). Ліву сторону моделі після витягування обираємо у якості прив'язки та обираємо «Зміщення» на відстань 14 мм та завершуємо побудовання. На цій площині будуємо січення, для цього оберемо «Ескіз» («Модель» > «Опорні елементи») та побудуємо ескіз так як зображено на рисунку з прив'язками до сторін частини моделі. Це січення єднальної площини з фалангами великого пальця, так що тут враховані і габарити фаланг.

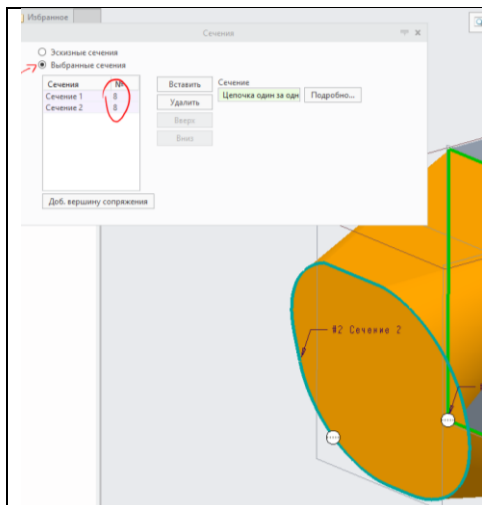


Далі потрібно трохи повернути січення для більшої анатомічності. Оберемо ескіз та зробимо «Пересунути» («Гнучке моделювання» > «Перетворити») до нього. Обираємо у якості початку криву-основу та обертаємо її на 13° та завершуємо дію.

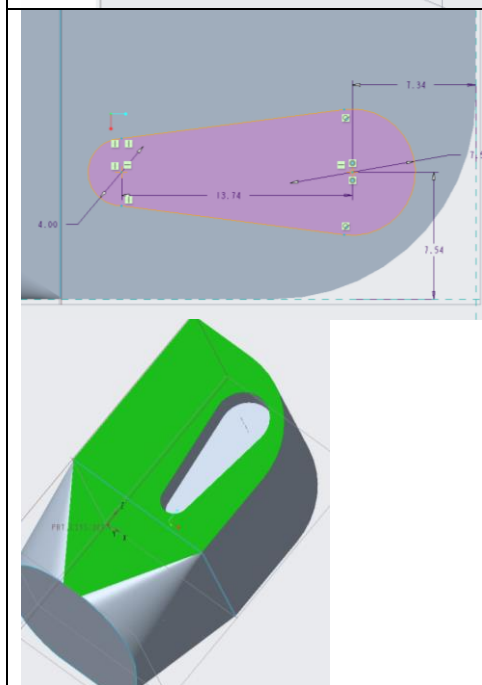


Далі, нам потрібно сполучити цей ескіз з часткою моделі. Перед цим будуємо другий ескіз майбутнього сполучення. Обираємо бічну сторону моделі та обравши «Ескіз» («Модель» > «Опорні елементи») будуємо ескіз.

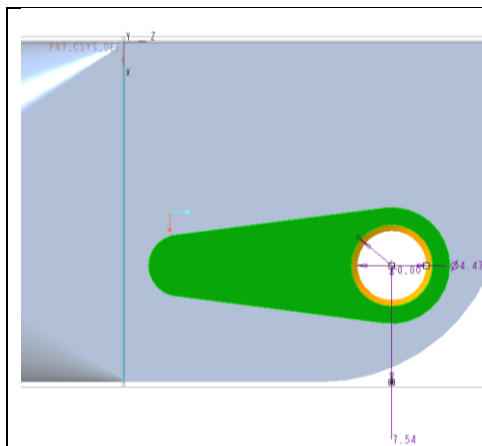




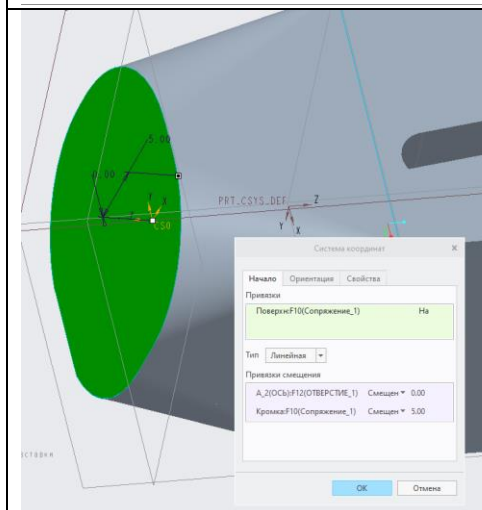
Оберемо «Сполучити» («Модель» > «Форми»). Перейдемо до вкладки «Січення» та у вікні, що з'явилося вибираємо «Вибрані січення» та обираємо спочатку перше січення, натискаємо кнопку «Вставити» та обираємо друге січення. Перевіряємо, щоб кількість вершин на січеннях було однаковим, та спряження було правильним (якщо воно скручене, то треба розташувати крапку початку під фіолетовою стрілкою у правильному положенні на контурі січення).



Зробимо отвір під частину сервомотору. Для цього оберемо нижню площину деталі, оберемо «Витягнути» («Модель» > «Форми») з прив'язками до прямих стін моделі та накреслимо ескіз. Далі, оберемо глибину витягування 3,95 мм, натиснемо «Видалити матеріал» та у результаті отримаємо виїмку.

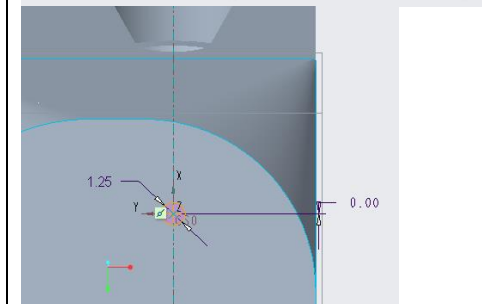


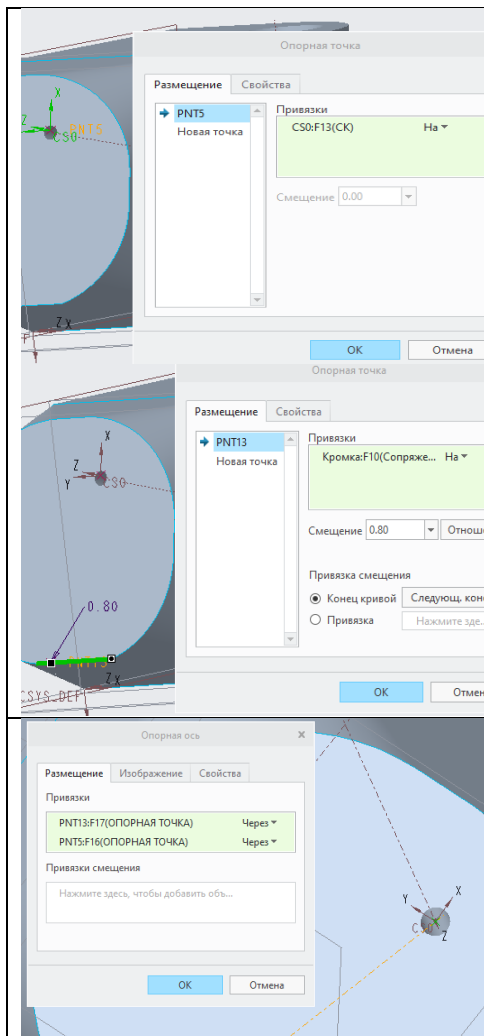
Також зробимо потрібний отвір для ще однієї частини сервомотору. Оберемо площину виїмки та натиснемо «Отвір» («Модель» > «Проектування»), та розмістимо його так, обравши «Додати зенківку» (діаметр зенківки 5,27 мм, кут – 90°) і наскрізний отвір діаметру 4,47 мм.



Наступним кроком буде зробити канал для волосіння та канали для опорної частини з місцем кріплення. Зробимо систему координат для початку побудови цих каналів. Оберемо поверхню моделі де з'єднується вона з фалангами пальців та оберемо «Система координат» («Модель» > «Опорні елементи») та розмістимо її як показано на рисунку. Усі потрібні дані для побудови теж зображено там.

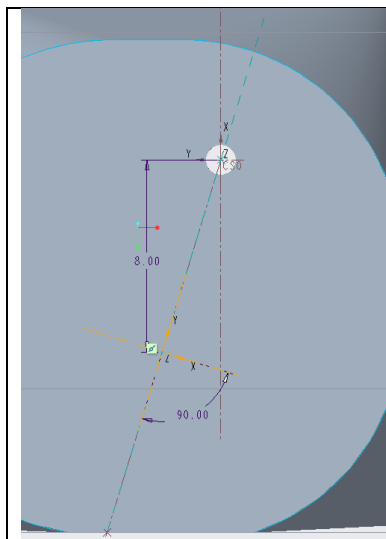
Зробимо канал для волосіння завдяки «Витягнути» («Модель» > «Форми») з прив'язками до осі отвору для сервоприводу і створеної системи координат по ескізу (коло діаметром 1,25 мм на відстані 0 мм від системи координат).



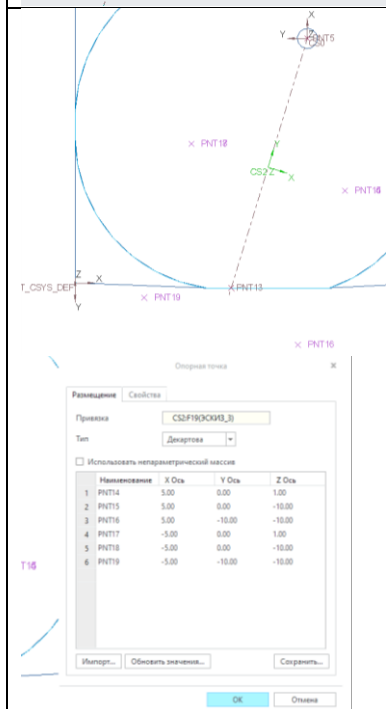


Далі, побудуємо канали для опорної частини. Зробимо дві точки через які буде йти допоміжна вісь. Для цього оберемо «Точка» («Модель» > «Опорні елементи») та розмістимо її на новій осі координат, а іншу точку розмістимо на нижній кромці зі зміщенням у відношенні 0,8.

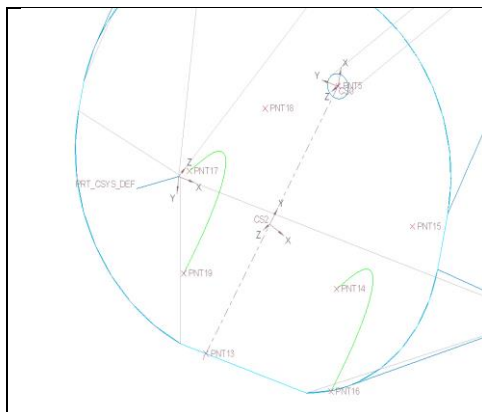
Побудуємо допоміжну вісь. Оберемо «Вісь» («Модель» > «Опорні елементи») та у якості прив'язок оберемо точки, які щойно додали.



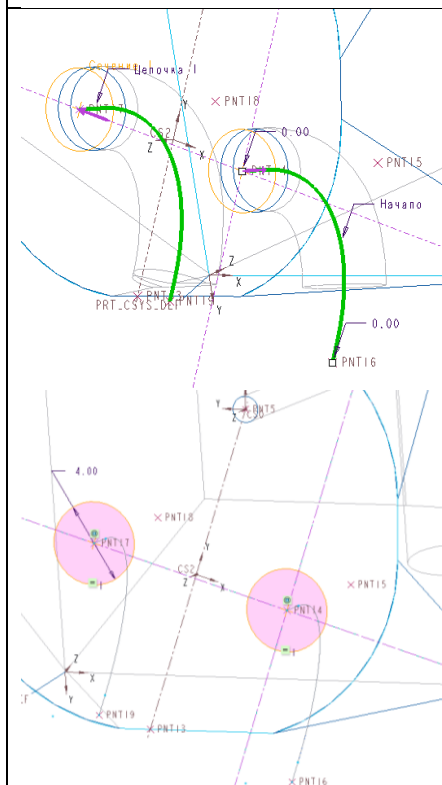
Далі за допомогою «Ескіз» («Модель» > «Опорні елементи») розмістимо ще одну систему координат.



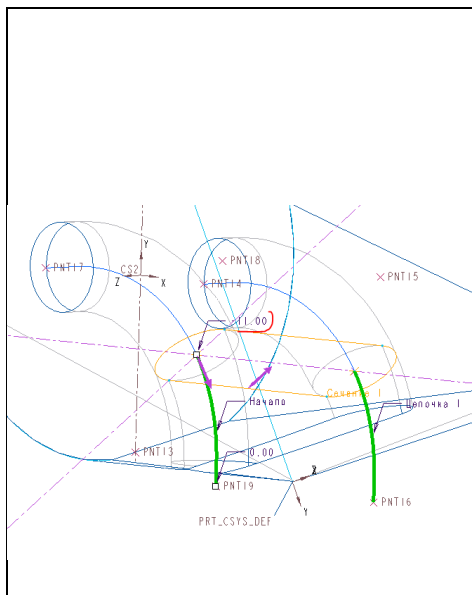
Наступним кроком розмістимо «Систему координат зміщення» («Модель» > «Опорні елементи») у якості прив'язки обрав останню систему координат, та додавши точки.



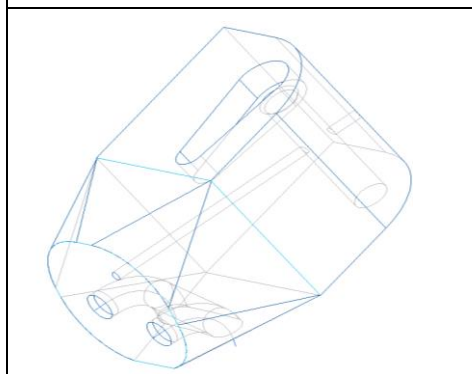
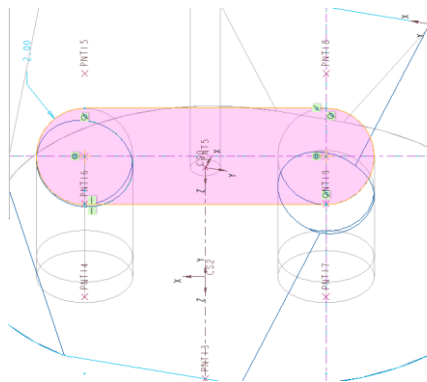
Обравши «Крива по точкам» («Модель» > «Опорні елементи»), з'єднуємо PNT14 - PNT15 (обравши тип з'єднання «Пряма лінія» з додаванням заокруглення радіусу 9мм) - PNT 16 (обравши тип з'єднання «Пряма лінія» без додавання заокруглення) у першу криву та PNT17 - PNT18 (обравши тип з'єднання «Пряма лінія» з додаванням заокруглення радіусу 9мм) - PNT19 (обравши тип з'єднання «Пряма лінія» без додавання заокруглення) у другу криву для каналів опорної частини пальців.



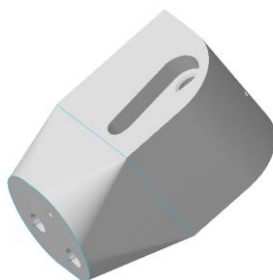
Оберемо «Протягнути» («Модель» > «Форми»), попередньо обравши криві, та намалюємо ескіз двох однакових кіл діаметра 4 мм.



Та побудуємо місце де будуть закріплені опорні частини. Також обираємо криві і «Протягнути» («Модель» > «Форми») але при побудові ескізу обираємо інший кінець кривих та відстань 11 мм та креслимо ескіз.

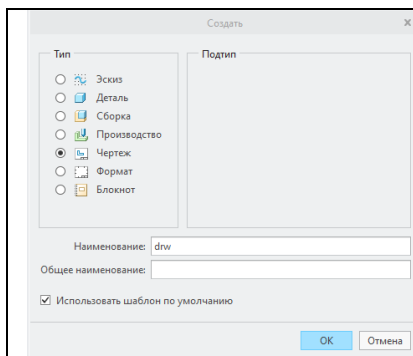


Модель п'ястя великого пальця – готова. Збережемо її

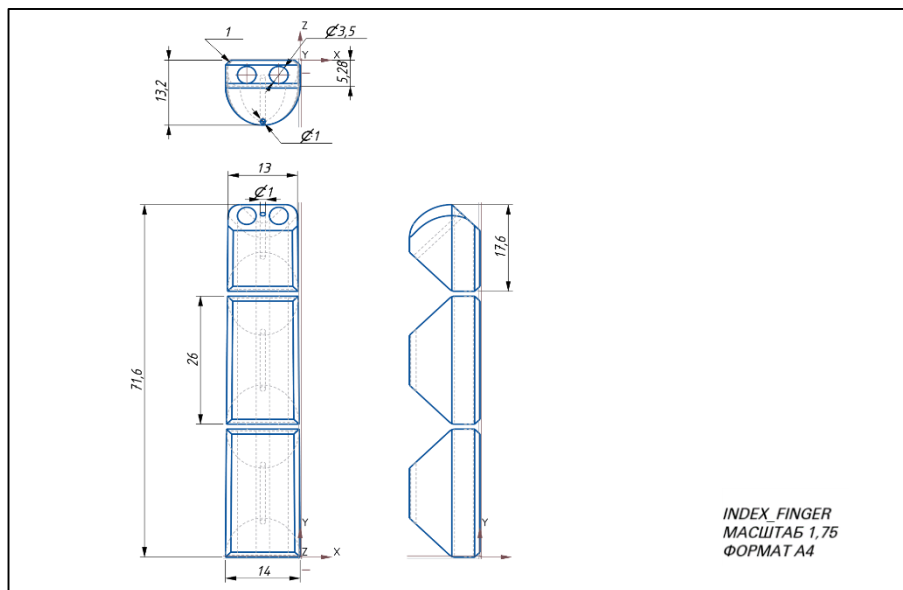


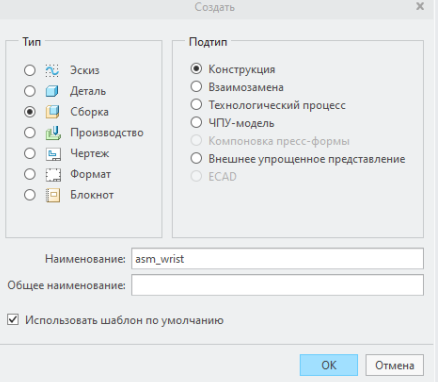
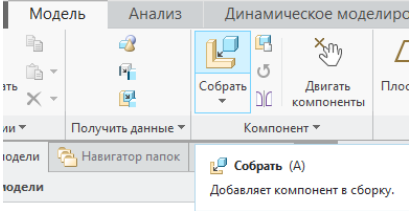
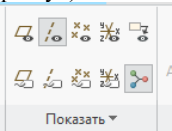
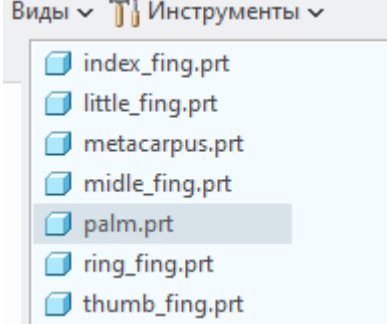
Лабораторна робота № 5

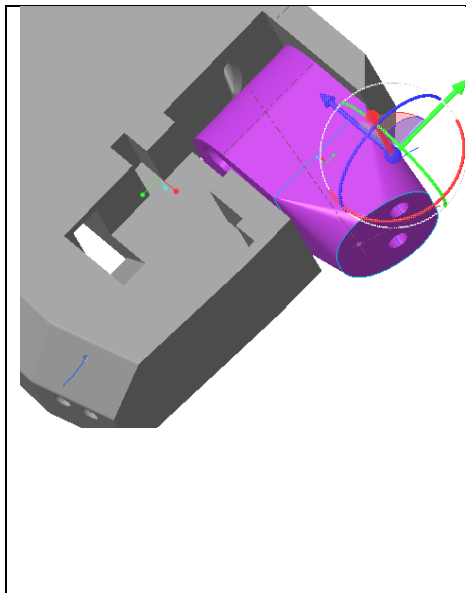
Створення кресленика пальця та складання повної 3D-моделі кисті



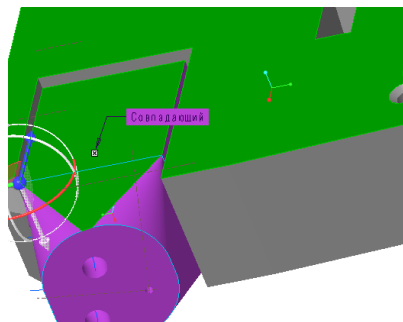
Після проєктування моделі пальця та інших моделей можна виконати побудову креслення для звітності. Зробимо для прикладу креслення фаланг вказівного пальця. Для цього можна, не виходячи з файлу моделі, натиснути «Файл» > «Створити» і вибрати тип «креслення». Вибравши далі шаблон «a4_drawing» автоматично побудуються три основних види на аркуші А4. Залишилося тільки проставити анотації розмірів і підібрати потрібний масштаб і кресленник готовий.



	Щоби отримати фінальний вигляд одразу усієї кисті руки ми використовуємо складання. Створимо складання: FILE (Файл) → NEW (Створити). Вибрати тип: Assembly (Складання). Підтип: Design (Конструкція). Ім'я: asm_wrist.
	На самому початку, перед складанням, налаштуємо відображення того чого нам потрібно, у вкладці «Вид». Бажано щоб залишилися тільки «Відображати осі» і «Відображати центр обертання» (або на свій розсуд). 
	Натискаємо «Зібрати» та обираємо файл долоні (palm.prt) і тиснемо застосувати. Далі додаємо п'ясть великого пальця (metacarpus.prt). Натискаємо «Зібрати» і вибираємо вже файл «metacarpus.prt».

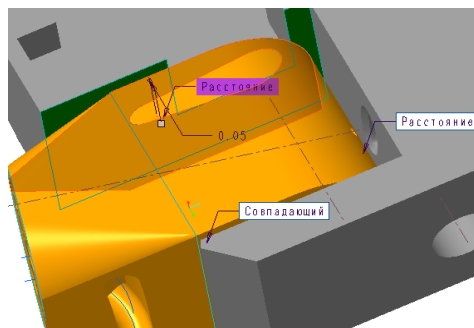


Додайте його наближено до того як зображено на рисунку. Далі потрібні прив'язки, щоб ця частина була правильно розташована і не перетиналася з моделлю долоні. Вибираємо у випадяючому списку розміщень (де стоїть «Автоматично») «Збігається» і обираємо дві площини, так як показано на малюнку нижче.

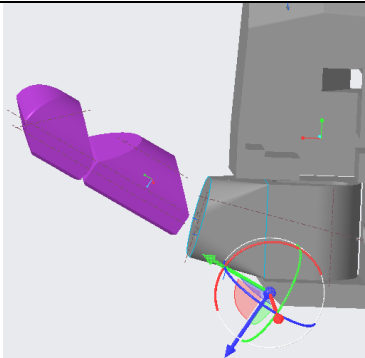
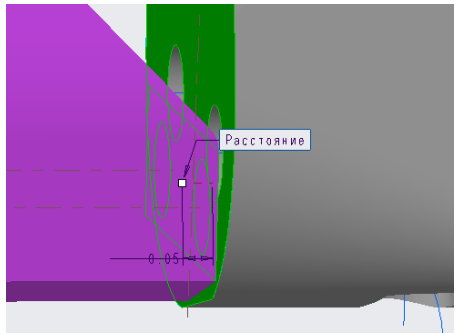


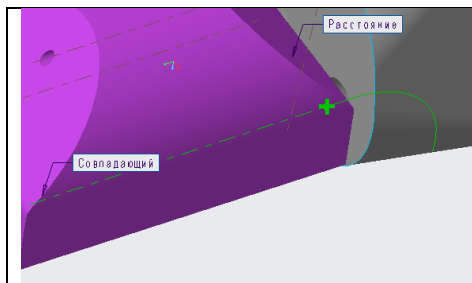
Далі обираємо дві площини, як показано на рисунку і розміщення типу «Відстань» в 0,5 мм.

Таке ж розміщення і між двома іншими площинами, на зображенні нижче видно.

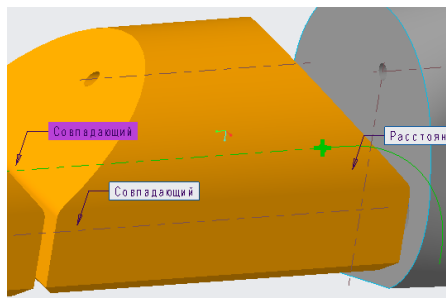


Як тільки деталь підсвітилася золотистим кольором, ми можемо натиснути застосувати і зберегти, тим самим завершуючи розміщення другої частини долоні – п'ястка великого пальця.

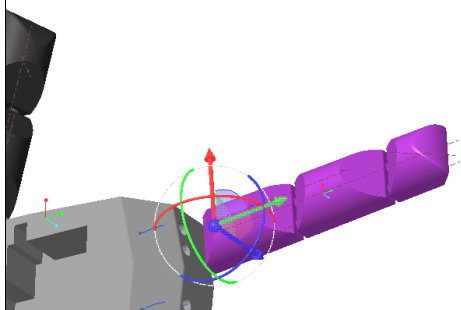
	Останнім кроком є – розміщення фаланг всіх п'яти пальців. Знову натискаємо «Зібрати» та обираємо файл фаланг великого пальця (thumb_fing.prt). Розміщуємо її так само як вказано на рисунку зліва. Обираємо тип розміщення «Відстань» в 0,5 мм та у якості прив'язок обираємо дві площини як вказано на рисунку нижче. 



Далі обираємо вісь каналу опорної частини фаланги пальця, та крайню точку кривої осі каналу для опорної частини п'ясть великого пальця (лівий рисунок). Тип розміщення «Збігається». Так само і з іншою віссю, як зображено на рисунку нижче.

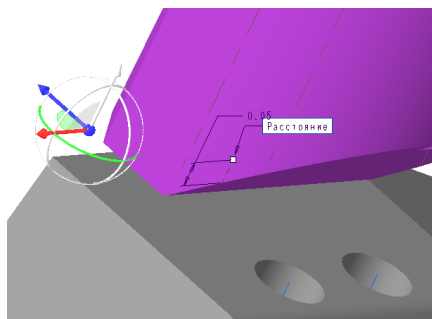


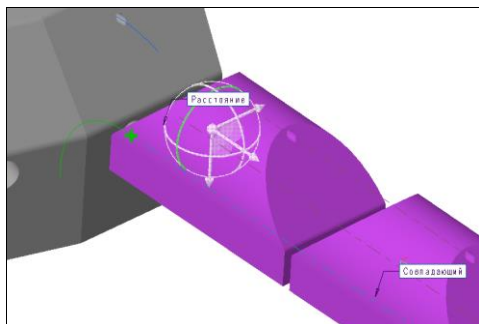
Бачимо золотистий колір та можемо натиснути застосувати і зберегти.



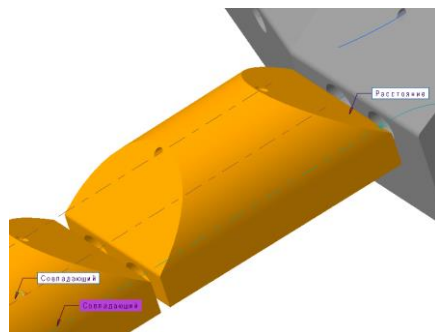
Натискаємо «Зібрати» та обираємо файл фаланг вказівного пальця (index_fing.prt). Розміщуємо її так само як вказано на рисунку зліва.

Обираємо тип розміщення «Відстань» в 0,5 мм та у якості прив'язок обираємо дві площини як вказано на рисунку нижче.

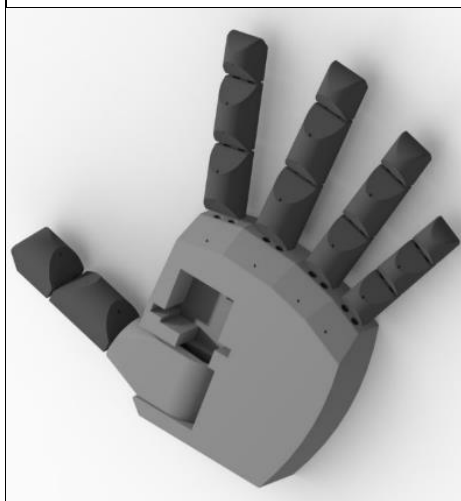




Далі обираємо вісь каналу опорної частини фаланги пальця, та крайню точку кривої осі каналу для опорної частини п'ясті великого пальця, як можна побачити на лівому рисунку. Тип розміщення «Збігається». Так само і з іншою віссю, як зображено на рисунку нижче.



Бачимо золотистий колір та завершуємо побудовання.



Так само додаємо і інші пальці. Складання готове. Збережемо її файл. Тепер можна побачити як буде виглядати кисть повністю. Після цього можна зробити рендер усієї моделі (вкладка «Додатки» > «Рендеринг» > кнопка «Render Studio») для того, щоб побачити як само буде виглядати модель у вже надрукованому вигляді.

Лабораторна робота № 6

Розробка цифрового прототипу кінцівки людини з використанням технології 3D-сканування

Мета роботи: дослідити технологію 3D сканування, ознайомитись з апаратним та програмним забезпеченням 3D сканування.

6.1. Принцип роботи сканеру

Безконтактний 3D-сканер Gotcha від 4DDYNAMICS [6] працює за принципом триангуляційного лазерного далекоміру. Використовується червоний лазер, який має достатню потужність, щоб отримувати чіткі відбиті сигнали від предметів на відстані до 2,5 метрів. Принцип роботи сканеру 4DDynamics представлений на рис. 6.1

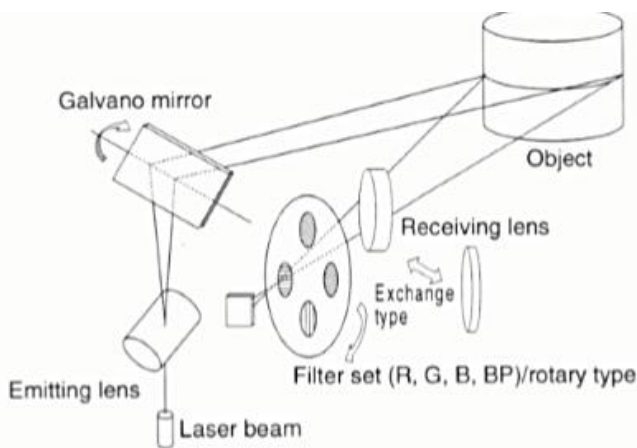


Рисунок 6.1 – Принцип триангуляційного сканування

Безконтактний 3D-сканер при скануванні не входить в контакт з об'єктом, а використовує стереозір.

Сенсор PrimeSense 3D Depth (www.4DDynamics.com) є комплексним рішенням, яке забезпечує сприйняття світла в тривимірному просторі. Він переводить сприйняту інформацію в

синхронізовані зображення, так само, як це роблять люди, з використанням природних процесів. Це робить дане рішення практичним, зручним, інтуїтивно зрозумілим і простим у використанні.

Канал когерентного лазерного випромінювання жорстко фіксований за просторовими координатами та охоплює простір в діапазоні, приблизно, 90 по вертикалі і 90 по горизонталі.

Розгортка променю здійснюється з використанням керованих дзеркал і зі швидкістю близько 3 секунд на вертикальне переміщення в межах заданого кута і безперервне сканування з високою частотою кожної горизонтальної лінії.

Для створення тривимірного образу предмету використовується метод оптичної цифрової реєстрації положення відбитих від предмету сигналів лазерного випромінювання, спільно з інформацією про відстань до кожної зафіксованої точки (рис 6.2).

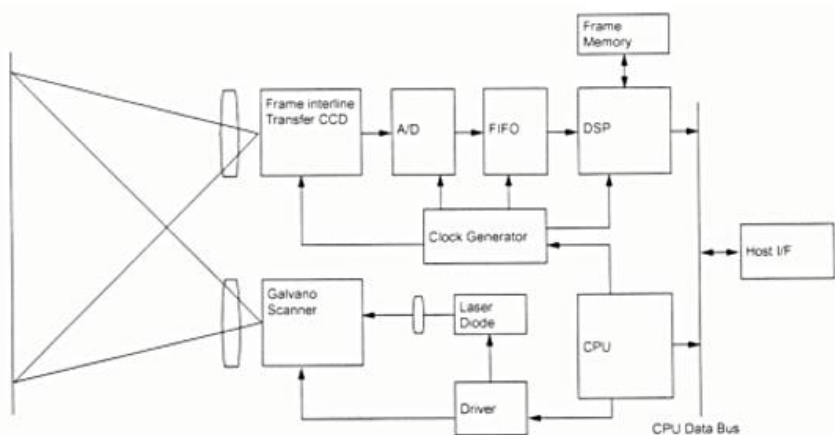


Рисунок 6.2 – Структура безконтактного сканеру

Для реєстрації відображених сигналів використовується оптичний канал, аналогічний цифровому фотоапарату з роздільною здатністю 1.3 МРх. Як і для будь-якого цифрового фотоапарату, для отримання чіткого зображення потрібно вірно налаштувати різкість в умовах конкретної зйомки.

Таким чином, результатом сканування є хмара точок, кожна з яких дає інформацію про стан у видимій області оптичного каналу та відстані до неї. Саме ця інформація передається сканером для подальшої обробки.

Для попереднього налаштування на сканований предмет сканер має власні системи управління, які не дозволяють використовувати його без підключення до комп'ютеру. Керування сканером здійснює програмне забезпечення, встановлене на ПК, до якого підключений сканер.

6.2 Підготовка до роботи з 3D-сканером

6.2.1 Підключення 3D-сканеру

Сканер під'єднується до комп'ютера як зовнішній SCSI-пристрій (рис. 6.3) і автоматично визначається при старті операційної системи. Це означає, що сканер повинен бути ввімкнений до включення комп'ютеру (до відкриття програмного забезпечення), на якому встановлено програмне забезпечення для роботи зі сканером. В іншому випадку, операційна система не зможе правильно зареєструвати пристрій і програмне забезпечення не буде мати доступу до управління сканером.

6.2.2 Вибір оптимальної відстані

Оскільки діапазон просторового охоплення сканованої області фіксований і максимальна відстань до предмета обмежена 2,5 м, тому при скануванні предметів різного розміру найвигідніше вибирати ту відстань, при якій предмет займає не менше $\frac{3}{4}$ площі кадру оптичного каналу сканера. Однак, для невеликих предметів такий вибір не завжди можливий, тому що паралакс оптичного і лазерного каналів дуже великий. Коли відстань до предмета наближається до подвоєного паралаксу, то окремі частини виявляються в мертвій зоні для лазера, хоча і відображаються по оптичному каналу.

У зв'язку з цим рекомендується вибирати відстань до предмета в межах 0,8 - 2 м.



Рисунок 6.3 –Зовнішній вигляд 3D-сканеру

6.2.3 Фокусування

Оскільки площинні координати точок визначаються по відбитому лазерному променю, то оптичний канал повинен бути дуже точно сфокусований на сканованому предметі.

Фокусування оптичного каналу здійснюється за принципом визначення максимальної контрастності окремих ділянок одержуваного зображення і автоматично налаштовується перед зйомкою кожного скану. Оскільки використовується принцип максимальної контрастності, то сканер не завжди може правильно встановити відстань до необхідної для нас точки, а визначає відстань до найбільш контрастних ділянок предмету.

Якщо предмет не має яскраво виражених контрастних ділянок – авто-фокусування буде неможливо і сканування проводитися не буде.

Такі випадки трапляються при зйомці однотонних предметів, для яких авто-фокус може визначити довільну відстань, що не відповідає істині.

В цьому випадку, хоча сканування і буде здійснено, точки відображення не будуть реально сфокусовані і не розпізнаються оптичною системою сканера. Відповідно, хмара точок не буде передана в програму і з'явиться повідомлення про помилку: «There are no points for import».

Іноді при скануванні темного предмета, коли основна енергія лазера поглинається матеріалом предмета, може з'явитися повідомлення про помилку: «Laser barrier is close».

Це означає, що сканер вимкнено, або обраної потужності лазера не вистачає для отримання нормального відбитого сигналу.

6.2.4 Вибір фону і освітленості

Таким чином, маючи на увазі все вищевикладене, необхідно вибирати умови зйомки в залежності від розміру предмету і властивостей його поверхні.

Сканований предмет необхідно розташовувати на відстані не менше 20 см від фону для того, щоб сканер не сфокусувався на ньому. Фон повинен бути темнішим за предмет, бажано чорним, щоб уникнути відбиття лазерного променя.

Паралельно з об'ємним скануванням проводиться цифрова фотозйомка предмету для фіксації текстури. Зйомка проводиться з роздільною здатністю 1.3 MPx.

6.3 Сканування та обробка зображення об'єкта

Програмне забезпечення 4DDynamics трансформує сенсор в повнофункціональний 3D сканер. Після завершення сканування, воно також дозволяє редагувати скановані зображення і об'єднати різні зображення, щоб створити 3D модель високої якості. В процесі роботи досить обнести сканований об'єкт, та програмне забезпечення сканера автоматично сформує готовий файл в STL-форматі.

Для роботи зі сканером використовується програма Skanect, яка доступна для завантаження за посиланням <https://skanect.occipital.com/download/>.

Ця програма орієнтована на роботу з 3D-сканерами саме цієї фірми, та є сумісною (універсальною) з різними моделями сканерів і володіє додатковими можливостями по обробці отриманих результатів.

Ярлик програми «Skanect» знаходиться на робочому столі.

Після запуску програми на екрані з'явиться її головне вікно (рис. 6.4), обираємо «New», встановлюємо необхідні параметри сканування, а саме, визначаємо об'єкт сканування (Scene: частини тіла, предмети, уся кімната, пів кімнати), габарити сканованого об'єкта, співвідношення сторін (Normal – співвідношення сторін однакове наприклад 1x1x1; Height x 2 – висота вдвічі більша, наприклад 1x2x1) і т.п. Далі натискаємо кнопку «Start».

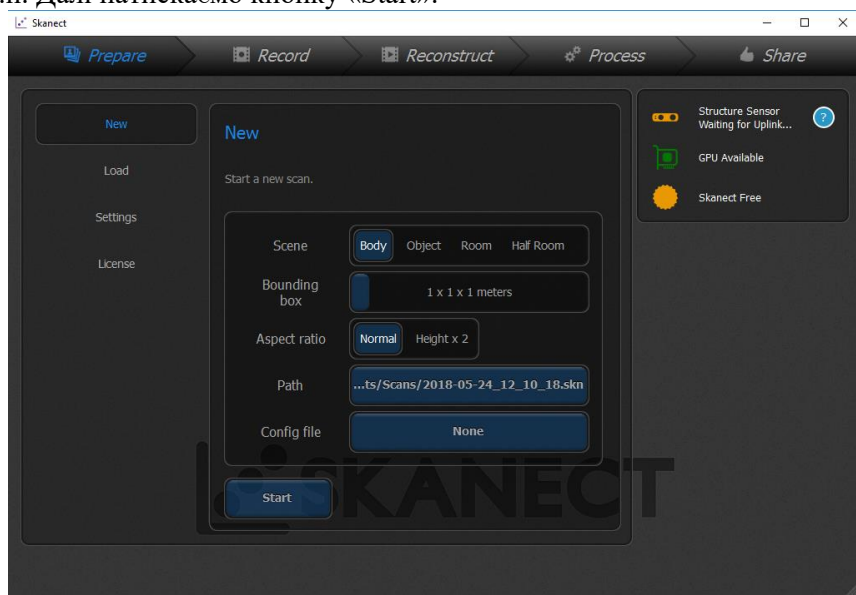


Рисунок 6.4 – Головне вікно програми «Skanect»

Для того, щоб розпочати сканування у Вікні сканування (рис.6.5) необхідно у лівому верхньому куті вікна натиснути кнопку . Поряд з цією кнопкою є повзунок для встановлення затримки початку сканування (Delay), за замовчанням встановлено затримку 3 секунди, та повзунок для обмеження часу сканування (Limit).

Для того, щоб зупинити сканування у лівому верхньому куті треба натиснути кнопку .

Якщо при скануванні об'єкта виникла помилка то після того, як сканування зупинити, необхідно натиснути кнопку видалення поточного сканованого об'єкта .

Визначити геометрію сканованого об'єкта (рис. 6.5). У цих вікнах представлено зображення відсканованого об'єкта об'єднане полігонами як вид зверху (Top), спереду (Front), праворуч (Right) і ізометричне вікно тривимірного відображення, в якому можна розглядати тривимірне відображення об'єкта в різних ракурсах.

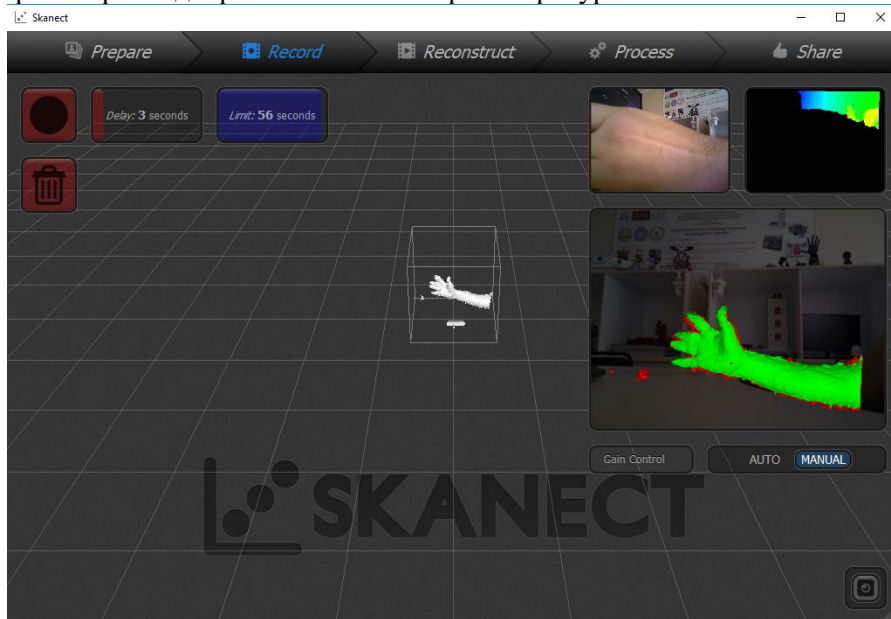


Рисунок 6.5 – Вікно сканування

Симуляція відсканованої 3D-моделі. На вкладці «Reconstruct» обрати в меню «Fusion» задати параметри Processor: GPU і Fidelity: High та натиснути «Run» (рис. 6.6).

На вкладці «Process» можна виконати деяку обробку відсканованої 3D-моделі (рис.6.7). Пункт «Remove Parts» в меню «Geometry» видаляє всі об'єкти (рис. 6.8), які є менші за відсканований. Таким чином за його допомогою можна видалити увесь відсканований разом з головним об'єктом «шум».

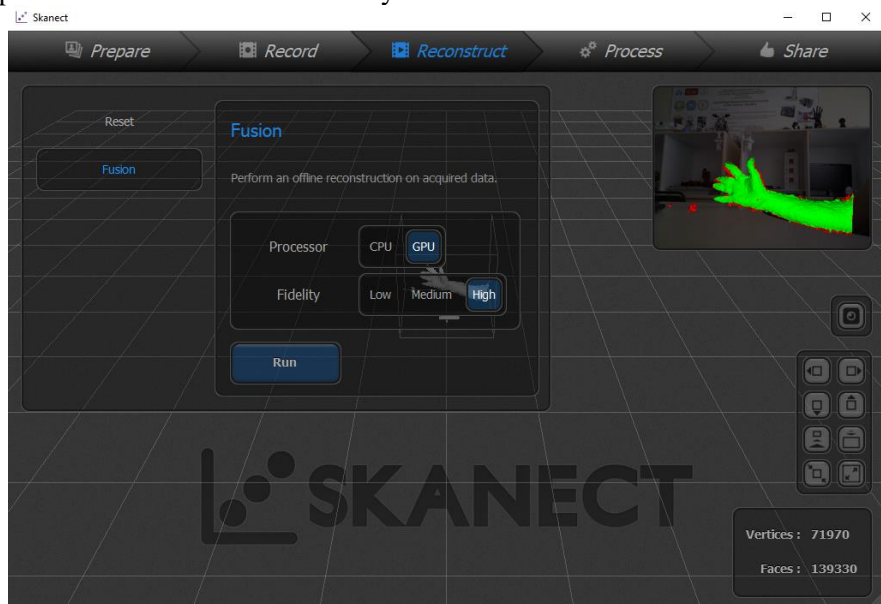


Рисунок 6.6 – Вікно налаштувань

Для того, щоб представити відсканований об'єкт в кольоровому вигляді, як представлено на рис. 6.7, можна скористуватися можливостями меню «Color» пунктом “Colorize”.

Для заповнення пустот в отриманій 3D-моделі використовується «Fill Holes» з пункту меню «Geometry» (рис. 6.9). Можна встановити стратегію заповнення пустот (Strategy), згладжування (Smoothing) та межі (Limit).

Редагувати положення відсканованого об'єкта (повертати відносно осей X, Y та Z, та переміщувати відносно осі Z) можна за допомогою пункту “Move&Crop” (рис.6.10).

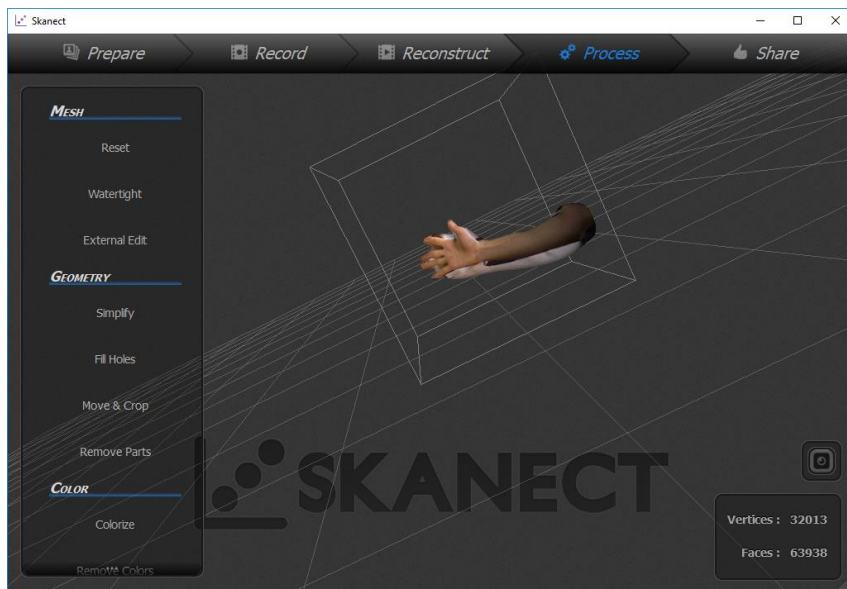


Рисунок 6.7 – Вікно обробки сканів

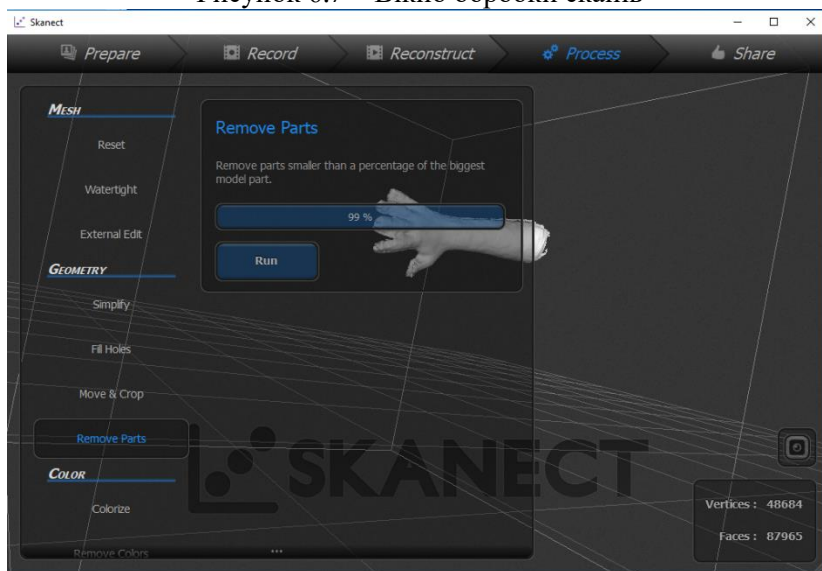


Рисунок 6.8 – Виконання очистки 3D-моделі від зайвих відсканованих елементів

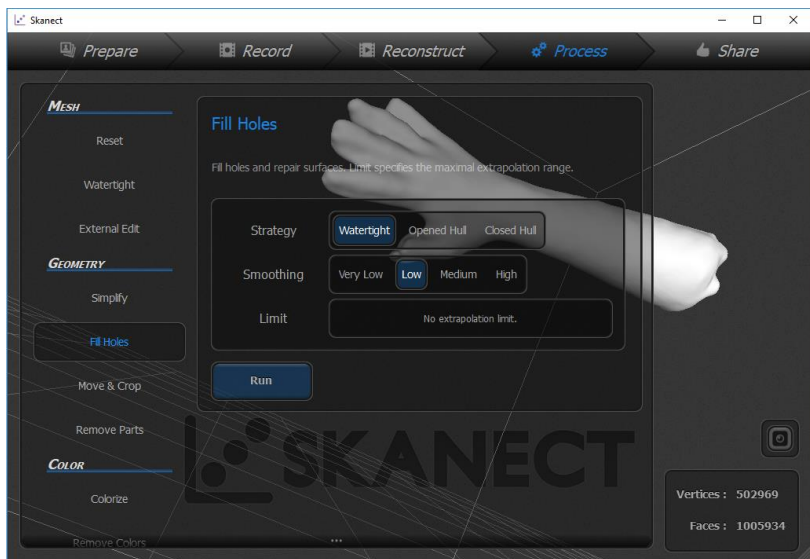


Рисунок 6.9 – Вікно заповнення порожніх ділянок поверхонь 3D-моделі

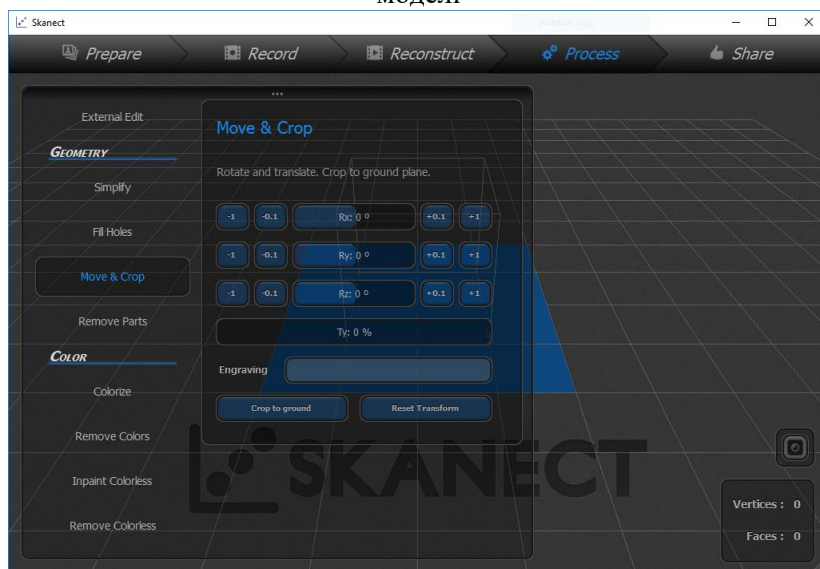


Рисунок 6.10 – Налаштування положення об'єкта відносно X-, Y-, Z-координат

Збереження 3D-моделі в форматі .STL. На вкладці «Share» обрати в меню «Local» пункт «Export Model». Формат моделі (Format) обрати .STL, повзунок #Faces перетягти до крайнього лівого положення, таким чином буде встановлено максимальна можлива кількість. Далі натиснути «Export Preview (no PRO license)» (рис. 1.11), задати шлях збереження та ім'я моделі (рис. 1.12).

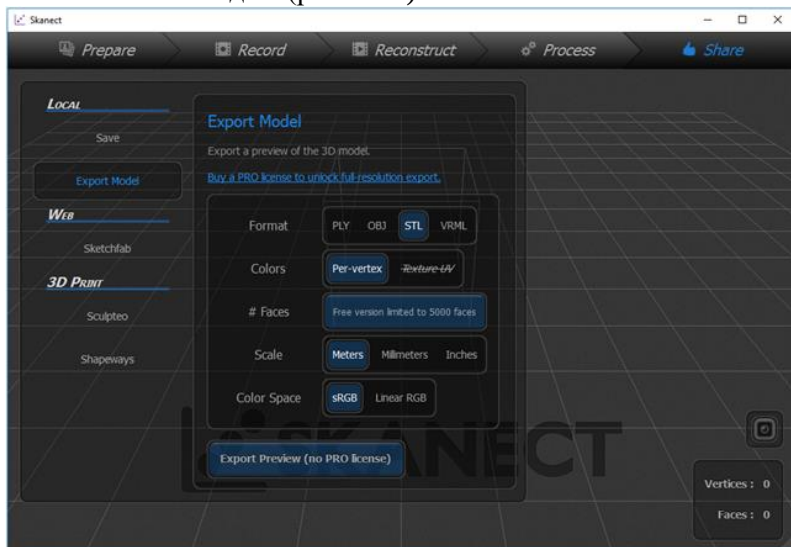


Рисунок 6.11 – Експорт 3D-моделі

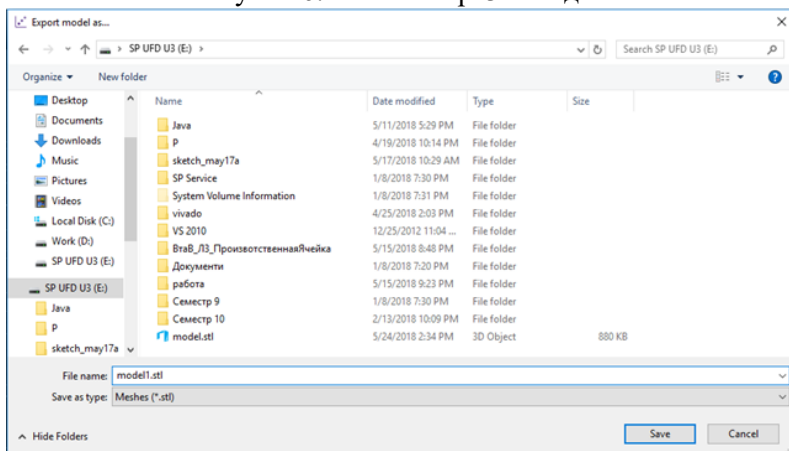


Рисунок 6.12 – Збереження 3D-моделі

6.4 Завдання до роботи

- 6.4.1 Запустити програму Skanect.
- 6.4.2 Ознайомитися зособливостями налаштування сканеру.
- 6.4.3 Провести сканування руки.
- 6.4.4 Обробити отриману 3D-модель сканованого об'єкту.
- 6.4.5 Оформити звіт з роботи.

6.5 Зміст звіту

- 6.5.1 Тема та мета роботи
- 6.5.2 Короткі теоретичні відомості.
- 6.5.3 3D-модель сканованого об'єкта
- 6.5.4 Висновки з роботи

Лабораторна робота № 7

Розробка фізичного прототипу роботизованого протезу кінцівки людини з використанням технології 3D-принтіngu

Мета роботи: дослідити технології 3D принтіngu, ознайомитись з апаратним та програмним забезпеченням 3D друку.

7.1 Підготовка моделі до 3D друкування

Першим кроком 3D друку є підготовка 3D моделі. Не кожен 3D модель можна роздрукувати на конкретному принтері. В деяких випадках треба збільшити товщину стінки, враховувати похибки друку та змінювати діаметри отворів [9].

У процесі друку модель «ріжеться» на шари. Кожен шар складається з периметру та наповнення. Нижче наведені основні особливості, які треба враховувати під час підготовки 3D моделі до друкування 3D принтері.

7. 1. 1. Об'єкти, що перетинаються

Границі і ребра, що перетинаються, можуть привести до виникнення артефактів (рис. 7.1). Тому, якщо модель складається з декількох об'єктів, то їх необхідно об'єднати в один.

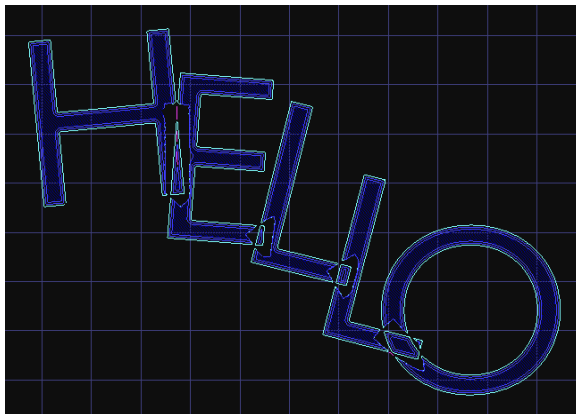


Рисунок 7.1 – Артефакти об'єктів, що перетинаються

7.1.2. Плоска основа

Бажане, але не обов'язкове правило. Плоска основа допоможе моделі краще триматися на столі принтера. Якщо модель відклеїться (цей процес називають деламінація), то порушиться геометрія основи моделі, а це може призвести до зміщення координат ХУ, що ще гірше. Якщо модель не має плоску підставу або площа підстави мала, то її друкують на рафті - надрукованій підкладці. Рафт псує поверхню моделі, з якою стикається. Тому при можливості краще обійтися без нього.

7.1.3. Товщина стінок

Товщина стінки повинна дорівнювати або бути товще ніж діаметр сопла. Інакше принтер просто не зможе їх надрукувати. Товщина стінки залежить від того, скільки периметрів буде друкуватися. При 3 периметрах і соплі 0,5mm товщина стінок повинна бути від 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3mm, а понад може бути будь-якою. Тобто товщина стінки повинна бути кратна діаметру сопла якщо вона менше $N \cdot d$, де N – кількість периметрів, d – діаметр сопла.

7.1.4. Мінімум нависаючих елементів

Для кожного нависаючого елемента необхідна підтримуюча конструкція – підтримка (рис.7.2). Чим менше нависають елементів, тим менше підтримок потрібно, тим менше потрібно витрачати матеріалу і часу друку на них і тим швидше буде друк. Крім того підтримка псує поверхню, дотичну з нею. Можна надрукувати без підтримок стінки, які мають кут нахилу не більше 70 градусів.

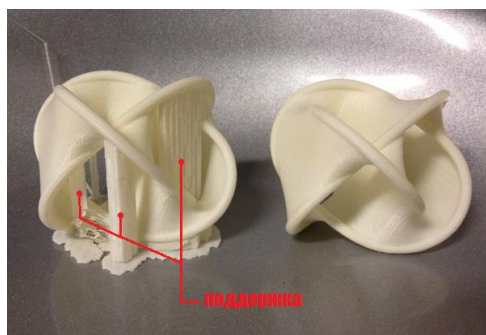


Рисунок 7.2 – Підтримки 3D моделі

7.1.5. Точність

Точність по осях X та Y залежить від люфтів, жорсткості конструкції, ременів, в загальному, від механіки принтера. І становить приблизно 0.3 мм у принтерів для хобі.

Точність по осі Z визначається висотою шару (0.1-0.4 мм). Звідси і висота моделі буде кратна висоті шару.

Також необхідно враховувати, що після охолодження матеріал вмощується, а разом з цим змінюється геометрія об'єкта.

Існує ще програмна сторона проблеми - не кожен слайсер правильно обробляє внутрішні розміри, тому діаметр отворів краще збільшити на 0.1-0.2 мм.

7.1.6. Дрібні деталі

Дрібні деталі досить складно відтворюються на FDM принтері. Їх взагалі неможливо відтворити, якщо вони менше, ніж діаметр сопла. Крім того при обробці поверхні дрібні деталі стануть менш помітні або зникнуть зовсім.

7.1.7. Вузькі місця

Вузькі місця дуже складно обробляти. По можливості необхідно уникати таких місць, що потребують обробки, до яких неможливо підібратися. Звичайно, можна обробляти поверхню в ванні з розчинником, але тоді розплавляться дрібні елементи.

7.1.8. Великі моделі

При моделюванні необхідно враховувати максимально можливі габарити друку. У випадку якщо модель більша за ці габарити, то її необхідно розрізати, щоб надрукувати по частинам. Таким чином необхідно також передбачити з'єднання (наприклад «хвіст ластівки»7.3).

7.2 Ознайомлення з принтером Leapfrog Creatr HS

Leapfrog Creatr HS - 3D-принтер від компанії Leapfrog (рис. 7.3), володіє високою швидкістю друку - до 300 мм.сек. Принтер може бути оснащений як одним, так і двома екструдерами. Область побудови становить 270x260x180 мм, незалежно від кількості екструдерів. Creatr HS оснащений платформою, що підігрівається, LCD-дисплеєм і використовує для друку різні види пластиків, такі як ABS / PLA / Нейлон / PVA / Laybrick та ін [16].

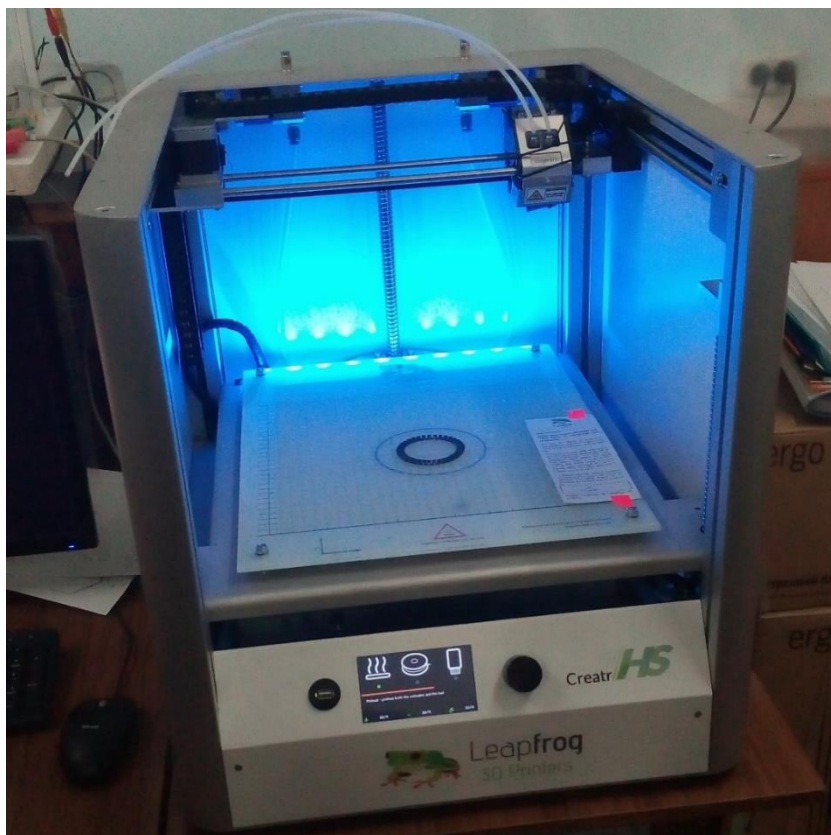


Рисунок 7.3 – Leapfrog Creatr HS

Технічні характеристики принтеру наступні:

- технологія друку: Моделювання методом наплавлення (FDM / FFF);
- кількість друкуючих головок: 2;
- діаметр сопла (мм): 0,35;
- область побудови, мм: 270x260x180;
- товщина шару (мм): 0,01;
- швидкість друку: 30-300 мм / сек;
- платформа: з підігрівом;

– інтерфейси: USB;

– дисплей: так.

Витратні матеріали:

– типи матеріалів: пластик;

– матеріали: ABS-пластик, PLA-пластик, PVA-пластик, LAYBRICK, нейлон.

– діаметр нитки (мм): 1,75.

Програмне забезпечення:

– Simplify3D Software;

– типи файлів: STL, G-Code.

Габарити:

– розміри (мм): 600x500x500;

– вага (кг): 30.

7.3 Основні елементи інтерфейсу та опції Simplify 3D

Simplify3D -це платна програма для 3D-друку, яка з'явилася на ринку два роки тому. Simplify3D замінює Repetier-Host і пакети Slic3r, дозволяючи імпортувати різні файли, змінювати масштаб моделі, відновлювати код моделі, створювати G-code і відправляти модель на друк [17].

Simplify3D використовує алгоритми швидкої нарізки, які формують G-code навіть найскладніших моделей. В анімаційній програмі попереднього перегляду можна побачити, як модель буде друкуватися шар за шаром. Ця функція дозволяє виправити або поліпшити модель, перш ніж переходити до друку. Програма підходить для принтерів з подвійним екструдером та послідовної друку відразу декількох моделей, причому для кожної з них можна вибрати свої параметри друку. Користувач повністю контролює кількість і нанесення підтримуючого матеріалу. У результаті час друку скорочується, як і витрата матеріалу. Параметри в межах однієї моделі можна змінювати, тобто збільшувати щільність заповнення окремих частин моделі, щоб вони вийшли міцніше. Більше того, висота шару в межах однієї моделі теж може відрізнитися. Також користувач може налаштувати температуру і швидкість.

Для завантаження готової моделі для друку, потрібно в панелі <Models> натиснути на клавішу <Import> (рис. 7.4 «13»). Можна завантажити декілька моделей.

Для видалення моделі потрібно виділити цю модель і натиснути в цьому ж меню на <Remove> (рис. 7.4 «14»), або натиснути на клавіатурі клавішу <Delete>, обрана модель видалиться. Так само ми можемо вимкнути модель (видаляючи її), для цього варто прибрати прапорець біля цієї деталі. Для розташування моделі по центру друку треба натиснути <Center and Arrange> (рис. 7.4 «15»).

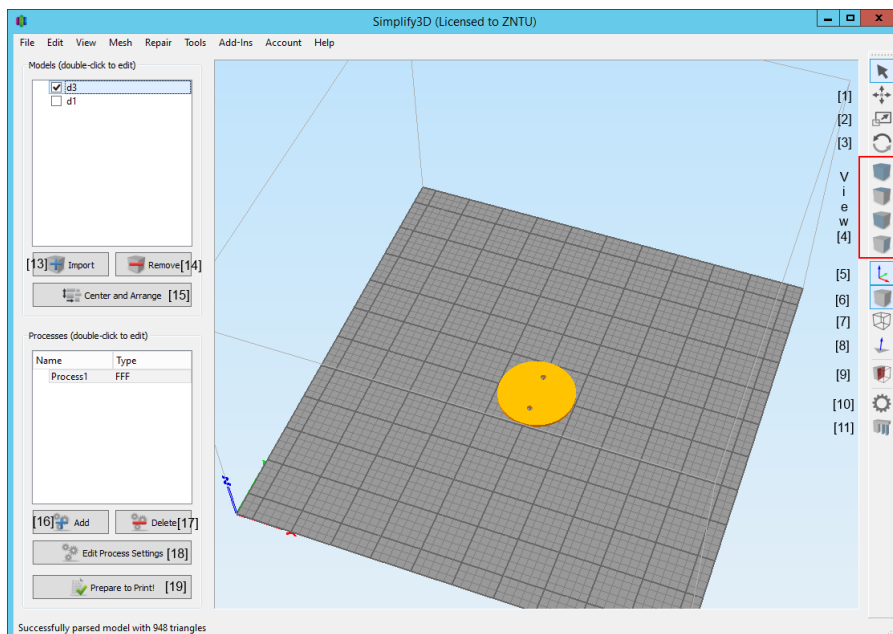


Рисунок 7.4 – Головне вікно Simplify3D

Для зміни ракурсу огляду потрібно натиснути ліву клавішу мишки і рухаючи мишкою міняти ракурс, або в підменю зверху вибрати вкладку <View> і вибрати із запропонованих, або в бічній панелі праворуч вибрати один з чотирьох варіантів (квадратики) (рис. 7.4 «4»).

Якщо потрібно приховати систему координат, треба в бічній панелі праворуч вибрати <Система координат> (рис. 7.4 «5»). Так само

можна перейти в режим відображення тільки граней деталі, для цього в бічній панелі праворуч вибрати <Грані> (рис. 7.4 «7»), щоб перейти назад в режим відображення об'ємної деталі потрібно в бічній панелі праворуч вибрати <Об'ємною> (рис. 7.4 «6»).

<Show normal>- показати нормалі (рис. 7.4 «8»), результат на рис. 7.5.

<Cross section> налаштувати перетини (рис. 7.4 «9»), результат на рис. 7.6.

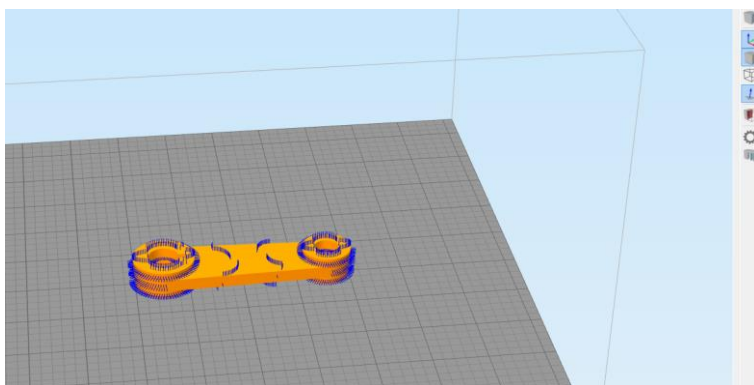


Рисунок 7.5 – Опція «Show normal»

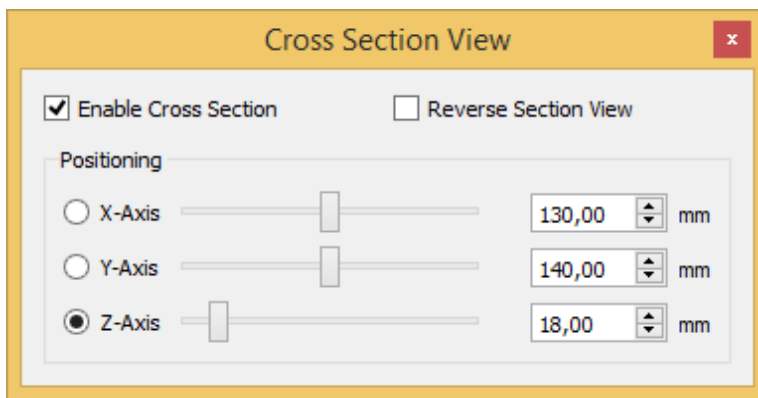


Рисунок 7.6 – Меню опції «Cross selection»

Для вибору області, в якій буде проводиться друк, треба затиснути клавішу <Ctrl>, затиснути ліву клавішу мишки на деталі і перемістити на потрібне місце, після чого відпустити клавіші, або в бічній панелі праворуч вибрати <Перемістити> (рис. 7.4 «1»).

Для зміни розміру деталі в бічній панелі праворуч вибрати <Масштабувати> (рис. 7.4 «2»). Щоб повернути деталь потрібно в бічній панелі праворуч вибрати <Повернути> (рис. 7.4 «3»). Для зміни положення деталі потрібно в підміну зверху у вкладці <Edit> вибрати <Змінити>, мулі натиснути клавіші <Ctrl> + <L>, після чого вибрати на яку грань потрібно покласти деталь.

Для побудови деталі з підтримкою потрібно в бічній панелі праворуч вибрати <Підтримка> (рис. 7.4 «11»), у вікні, що відкрилося (рис. 7.7), натиснути на <Generate Automatic Support>, також у полях <Support Type> - вибрати тип підтримки, <Support Pillar Resolution> - шірена підтримки на вигинах, <Max Overhang Angle> - максимальний кут підтримки.

Можна зберегти установки підтримки, натиснувши на <Export Support>, а коли нам знову буде потрібна підтримка, ми можемо її завантажити, натиснувши <Import Support>. Клавіші <Clear All Support> - очистити всі параметри для підтримки, <Done> - повернутися назад.

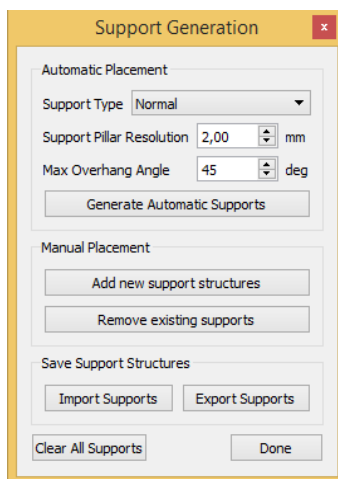


Рисунок 7.7 – Меню опції «Support Generation»

7.4 Завдання до роботи

7.4.1 Ознайомитися з особливостями налаштування принтеру.

7.4.2 Запустити програму Simplify 3D. Виконати налаштування 3D моделі та параметрів друку.

7.4.3 Вивести на друк деталь. Дослідити вплив параметрів налаштування на якість друку.

7.4.5 Оформити звіт з роботи.

7.5 Зміст звіту

7.5.1 Тема та мета роботи

7.5.2 Короткі теоретичні відомості.

7.5.3 3D-модель сканованого об'єкта

7.5.4 Висновки з роботи

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Конструктивні особливості роботизованих протезів верхніх кінцівок людини.
2. Структурні та функціональні особливості САПР Creo.
3. Які базові дії використовуються для побудування 3D моделі в середовищі Creo?
4. Види технологій тривимірного сканування.
5. Принцип триангуляційного сканування.
6. Огляд та порівняння різних моделей безконтактних сканерів.
7. Огляд та порівняння програмного забезпечення для 3D сканування.
8. Вплив налаштувань на якість отриманої цифрової моделі при 3D скануванні.
9. Огляд технологій 3D принтіngu.
10. Особливості підготовки 3D моделі до 3D принтіngu.
11. Вплив налаштувань на якість отриманого фізичного прототипу під час 3D принтіngu.
12. Огляд та порівняння різних моделей 3D принтерів.
13. Огляд та порівняння програмного забезпечення для 3D принтіngu.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1 Parkhomenko A. Investigation and Realization of Prototyping Technologies for Robotic-Prostheses Computer Aided Design /A. Parkhomenko, O. Gladkova, Y. Zalyubovskiy // Proceedings of XV International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2019), (February 26 – March 2, 2019, Lviv-Polyana, Ukraine) Lviv: Lviv Polytechnic, 2019, pp. 7/5-7/8.
- 2 Пархоменко А. В. Автоматизоване проектування електронних засобів в середовищах CREO та ALTIUM DESIGNER: Навчальний посібник / А. В. Пархоменко, А. В. Припула, В. М. Кришук. – Запоріжжя : Дике поле, 2016. – 250 с.
- 3 Програмное обеспечение для 3D-моделирования Creo [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ptc.com/ru/products/creo/parametric>
- 4 Shih, Randy H. Parametric Modeling with Creo Parametric 1.0 / Randy H.Shih. – SDC Publisher: Stepheer Schroff, 2011. – 432 pp.
- 5 3D сканування об'єктів. [Ел. ресурс]. – Режим доступу: <https://koloro.ua/3d-skaner-3d-skanirovanie-obektov-i-trehmernoemodelirovanie.html>
- 6 Gotcha [Ел. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.4ddynamics.com/>
- 7 Skanect. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://skanect.occipital.com>
- 8 3D-принтеры в медицине. Настоящее и будущее [Ел. ресурс]. – Режим доступу: <http://medicena.ru/blogpost/3d-printeryi-v-meditsine-ih-nastoyashhee-i-budushhee/>
- 9 10 правил подготовки к 3D печати. [Ел. ресурс]. – Режим доступу: <https://habr.com/post/196182/>
- 10 Строганов Р. 3D печать. Коротко и максимально ясно. LittleTinyH Books, 2016. – 73 с.
- 11 3D Printer [Ел. ресурс]. – Режим доступу: http://techterms.Com/definition/3d_printer.
- 12 Additive Manufacturing vs. 3D Printing [Ел. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/3d-printing>.

13 Классификация 3D принтеров (7 технологий 3D печати) [Ел. ресурс]/. – Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/208906/>

14 Воспользуйся инструментами мастера — придай идее объем, или 3D-прототипирование сегодня. Е. Савельев [Текст] / Журн. САПР и графика. – 2015. – №11. – С. 8-12

15 3D printer Leapfrog Creatr HS [Ел. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lpfrg.com/product-groups/printers/>

16 Unofficial Documentation for Simplify3D. [Ел. ресурс]- Режим доступа: <https://jinschoi.github.io/simplify3d-docs>

17 J. T. Belter, J. L. Segil, A. M. Dollar, R. F. Weir. Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review. [Ел. resource] – <https://www.rehab.research.va.gov/jour/2013/505/page599.html>

18 Bionic Athletes With Exoskeletons, Robotic Limbs, and Brain-Control Devices to Compete in Cybathlon [Ел. ресурс]. – Режим доступа: <https://singularityhub.com/2014/04/23/bionic-athletes-with-exoskeletons-robotic-limbs-and-brain-control-devices-to-compete-in-2016-cybathlon>

19 Прорив у біоінженерії [Ел. ресурс]. – Режим доступа: <http://hi-news.ru/technology/proryv-v-bioinzhenierii-sozdany-podsoznatelno-upravlyaemye-protezy-nizhnix-konechnostej.html>

20 Я. Я. Абу Ханиех., Г. Н. Буров Адаптивный протез руки: съём сигналов управления. Биомедицинская Радиоэлектроника. Вып. № 4, 2010. - С 20-24.

21 С.А. Воротников, В.С. Струнин, Н.А. Выборнов. Биометрическая система управления протезом руки. - Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. № 3 (23). С. 147–162.

22 T. Joseph Belter, L. Jacob Segil, M. Dollar Aaron, F. Richard Weir Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands. Journal of Rehabilitation Research & Development, 2013. – P. 599-618.

23 К.П. Вонсевиц, М.А. Безутлый Особенности бионического протезирования верхних конечностей 9-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2016». 23-25 ноября 2016 г., Минск, Республика Беларусь – С. 36-37.