

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки

Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Інформаційні технології електронних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Методи та засоби тривимірного сканування

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РІ-518-м

Кривченко С. Р.

Спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки
(прізвище та ініціали)

Керівник Гурманова Н. І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Земцова І. А.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ІІРЕ, РРЕТ
 Кафедра ІТЕЗ
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 172 Інженерія та радіотехніка
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Інтегровані технології мікроелектроніки та радіотехніки
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Т.М. Милош
 « 16 » чэрпня 20 19 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Красенко Станіслав Романович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи) Методи та засоби тривимірного сканування

Рівень проекту (роботи) Рурішова Н.І., к.т.н. доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом закладу вищої освіти від « 08 » листопада 20 19 року № 368

1. Строк подання студентом проекту (роботи) 16 червня 2019 року

2. Вихідні дані до проекту (роботи) Методи 3D моделювання, Елементна база (AutoCAD, Web-camera), умови експлуатації: ЧКА 4.2.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів та засобів тривимірного сканування

2. Математичний апарат створення 3D-моделей з результатів сканування

3. Розробка системи 3D-сканування

4. Економічне обґрунтування роботи

5. Оцінка праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація (18 слайдів)

Титульний креслення (A2)

7. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Гурманова Н.І. доц. каф. ІТЕЗ		
2	Гурманова Н.І. доц. каф. ІТЕЗ		
3	Гурманова Н.І. доц. каф. ІТЕЗ		
4	Ківащенко М.В., к.е.н., доц. каф. ТМ та БР		
5	Дімітров Ю.В., к.т.н., доц. каф. ОП і НС		
6	Поспелова І.Е., ст. вимп. каф. ІТЕЗ		

7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Аналіз літературних джерел за тематичного дослідження	17.09	
2	Аналіз існуючих рішень на світовому ринку	01.10	
3	Аналіз методів прикладного моделювання	15.10	
4	Розробка конструкції пристрою для 3D сканування	29.10	
5	Тестування та відеозапис роботи 3D сканера	12.11	
6	Проведення аналізу отриманих результатів	26.11	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	10.12	

Студент(ка)

(підпис)

Кравченко С.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Гурманова Н.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 99 с., 35 рис., 24 табл., 32 джерел.

Мета магістерської роботи – аналіз методів та засобів тривимірного сканування, розробка конструкції тривимірного сканеру та дослідження роботи 3D сканера при використанні лазерної технології сканування, розробка рекомендацій щодо параметрів сканування для отримання моделі високої точності.

Об'єктом дослідження є 3D сканер - прилад для швидкого створення 3D об'єктів. Сканування може виконуватись різними методами і за багатьма технологіями

Методи що використовуються при виконанні дипломного проекту – графічний, аналітичний.

КОНСТРУКЦІЯ, КОРПУС, МОДЕЛЮВАННЯ, СКАНУВАННЯ, ПЛАТА, ЛАЗЕР, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, КРОКОВИЙ ДВИГУН, ПРИЙМАЧ, ТРІАНГУЛЯЦІЯ, ЛАЗЕРНА - ТЕХНОЛОГІЯ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТРИВИМІРНОГО СКАНУВАННЯ	11
1.1 Види технологій тривимірного сканування	11
1.1.1 Технологія контактного сканування	12
1.1.2 Технологія лазерного сканування	15
1.1.3 Технологія сканування структурованим світлом	17
1.1.4 Технологія сканування за допомогою маркерів	19
1.1.5 Технологія стереоскопічного сканування	20
1.2 Апаратні засоби тривимірного сканування.....	22
1.3 Постановка задачі магістерської роботи	26
2 МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ У РЕЗУЛЬТАТІ СКАНУВАННЯ	27
2.1 Математичні методи створення 3D моделей за результатами сканування.....	27
2.2 Програмне забезпечення для тривимірного сканування	32
2.2.1 Polygon Edition Tool	33
2.2.2 Rapidform	34
2.2.3 Geomagic Studio.....	35
2.2.4 Horus	36
2.2.4 FabScan	37
2.3 Перелік вимог до конструкції, що розробляється	40

2.3.1 Експлуатаційні вимоги	40
2.3.2 Вимоги технологічності	41
2.3.3 Вимоги ергономіки та естетики.....	42
2.3.4 Вимоги техніки безпеки	43
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ 3D-СКАНУВАННЯ.....	45
3.1 Опис конструкції 3D сканера.....	45
3.1.1 Опис рами тривимірного сканера.....	46
3.1.2 Опис механізму поворотного столу	48
3.1.4 Опис лазерного випромінювача	51
3.1.5 Опис камери приймача	52
3.2 Налагодження та тестування програмного забезпечення FabScan ..	53
3.3 Математичне обґрунтування вибору матеріалів конструкції.....	57
4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	61
4.1 Планування науково-дослідницької роботи.....	61
4.2 Визначення трудомісткості та тривалості НДР	61
4.2.1 Складання мережевого графіка	65
4.3 Визначення витрат на розробку тривимірного принтера	69
4.3.1 Визначення витрат на матеріали	71
4.3.2 Розрахунок витрат на електроенергію	71
4.4 Розрахунок економічної ефективності НДР.....	73
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	76
5.1 Аналіз потенційних небезпек	76
5.2 Заходи із забезпечення електричної безпеки	78
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	81

5.4 Заходи з пожежної безпеки	85
5.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях	86
ВИСНОВОК.....	90
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3D	умовне позначення тривимірного простору
CAM	Автоматизована система, або модуль автоматизованої системи, призначений для підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПК
COM-port	двонаправлений послідовний інтерфейс, призначений для обміну байтовою інформацією.
C++	умовне позначення мови програмування загального призначення
РЕА	Радіоелектронні апарати
ПК	Персональний комп'ютер
МДФ	Дрібнодисперсійна фракція з дерев'яних волокон

ВСТУП

3D-сканер – пристрій, який аналізує об'єкт або середовище реального світу для збору даних щодо його форми і, якщо можливо, кольору. Зібрані дані потім використовуються для побудови цифрових тривимірних моделей.

Для створення пристроїв 3D-сканування може бути використано багато різноманітних способів.

Одним з таких способів є лазерний метод функціонування пристроїв якого ґрунтується на принципі роботи лазерних далекомірів. Лазерні 3D-сканери характеризуються точністю одержуваної тривимірної моделі. Проте їх застосування складне в умовах рухливості об'єкта. Це більше 3D-сканер для приміщення. Сканування людини 3D-сканером лазерного типу практично неможливо.

Оптична: в даному випадку застосовується спеціальний лазер другого класу безпеки. Оптичний 3D-сканер відрізняється великою швидкістю сканування. Його використання виключає будь-яке спотворення, навіть якщо об'єкт буде рухатися. Також немає необхідності в нанесенні відображуючих міток. Проте такі пристрої не підходять для дослідження дзеркальних, прозорих або блискучих виробів. Зате це відмінний варіант 3D-сканера людини.

Тривимірні сканери необхідні для вирішення завдань в багатьох областях, а саме: в промисловості, науці, кіноіндустрії, медицині, мистецтві та ін.

Вони незамінні в тих випадках, коли необхідно зафіксувати форму об'єкта з високою точністю і за короткий проміжок часу. 3D-сканери дозволяють спростити та вдосконалити ручну працю, виконати завдання підвищеної складності.

У медицині за допомогою 3D-сканерів можна спостерігати за процесом лікування пацієнтів, планувати передопераційні маніпуляції та створювати анатомічне взуття.

Дизайнери використовують тривимірні сканери для отримання форми об'єкта, і можливості її доопрацювання згодом.

В археології та музейній справі за допомогою подібного пристрою можна точно відновлювати і піддавати реконструкції фізично застарілі скульптури, пам'ятники та постаменти. Тривимірний сканер незамінний при створенні колон, бетонних декорацій і архітектурних споруд на замовлення. В індустрії розваг 3D-сканер знаходить застосування в розробці ігрових персонажів з моделі автора. Кіноіндустрія також активно використовує тривимірний пристрій для сканування людей, отримуючи кольорову модель людини.

Розробка конструкції 3D-сканера, що надасть можливість сканувати об'єкти різної форми, текстури поверхні при збереженні невисокої вартості розробленого пристрою є актуальною задачею. На нашу думку, найкраще задовольняє поставленим вимогам пристрій побудований на основі застосування безконтактного методу. Цей вибір є економічно доцільним, має високі показники точності при скануванні. Система управління для запропонованої нами конструкції 3D-сканера базується на застосуванні мікроконтролерів ATmega у складі друкованого вузла Arduino.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТРИВИМІРНОГО СКАНУВАННЯ

1.1 Види технологій тривимірного сканування

Технологія тривимірного сканування з'явилася всього кілька десятиліть тому, в кінці 20-го століття. Перший працюючий прототип з'явився в 60-х роках. Звичайно, тоді він не міг похвалитися широким спектром можливостей, проте це був справжній 3D сканер, непогано справляється з основною функцією.

В середині 80-х років скануючі пристрої вдосконалили. Їх почали доповнювати лазерами, джерелами білого світла і затемнення. Завдяки цьому вдалося поліпшити «захоплення» досліджуваних об'єктів. У цей період з'являються контактні датчики. З їх допомогою оцифровувалася поверхні твердих предметів, які не відрізнялися складною формою. Щоб удосконалити обладнання, розробникам довелося запозичити ряд оптичних технологій з військової промисловості.

Застосування 3D сканерів було цікавим не тільки конструкторам дизайн-студій, автомобільних концернів, а й працівникам кіноіндустрії. У 80-х - 2000-х роках різні компанії випускали свої моделі обладнання: Head Scanner, 3D-сканер REPLICA і інші. З тих часів агрегати змінилися, удосконалилися, стали більш мобільними і функціональними. Характеристики 3d сканера сьогодні істотно відрізняються.

Пристрій 3D сканера займається детальним дослідженням фізичних об'єктів, після чого відтворюються їх точні моделі в цифровому форматі. Сучасні агрегати можуть бути стаціонарними або мобільними. Як підсвічування застосовується лазер або особлива лампа (їх використання збільшує точність вимірювань).

Принцип роботи 3D сканера визначається технологією сканування. За допомогою підсвічування і вбудованих камер апарат вимірює відстань до об'єкта з різних ракурсів. Потім зіставляються картинки, що передаються камерами.

Після ретельного аналізу всіх отриманих даних, на екрані відображається готова цифрова тривимірна модель. Якщо пристрій 3D сканера заснований на роботі лазерного променя, то з його допомогою вимірюються відстані в заданих точках. На основі цих відомостей виводяться координати.[1]

Виділяють два основних методи тривимірного сканування:

1 Контактний. Пристрій зондує предмет за допомогою фізичного контакту, поки об'єкт знаходиться на прецизійній повірочній поверхні. Контактний 3D сканер відрізняється надточними результатами роботи. Правда, при скануванні можна пошкодити або змінити форму об'єкта.

2 Безконтактний. Застосовується випромінювання або особливе випромінювання (ультразвук, рентгенівські промені). В даному випадку предмет сканується через відображення світлового потоку.

1.1.1 Технологія контактного сканування

Контактний 3D сканер працює «на дотик». Приладом обводять предмет, при цьому спеціальним щупом досліджують кожну грань. Раніше на досліджуваній об'єкт наносили точки-маркери, які формують систему координат. На ділянках з великим вигином відстань між точками робилося мінімальним, на рівних площинах - максимальним. Сканер знімав координати точок - з них формував 3D модель. Сучасні прилади обходяться без нанесення фізичної сітки.[2] Приклад щупа для контактного тривимірного сканування наведено на рис.1.1.

Контактне сканування не залежить від умов освітлення. Використання принтера легко навчитися. Але є ряд недоліків: сканер не розрізняє текстури, а для обробки великого предмета доведеться прикласти багато зусиль та провести велику кількість часу з приладом у руках.



Рисунок 1.1 – Щуп для контактного тривимірного сканування

Також до першого типу сканерів відносяться СММ (coordinate measuring machine - координатно-вимірвальні машини). Приклад СММ машини наведено на рис 1.2.

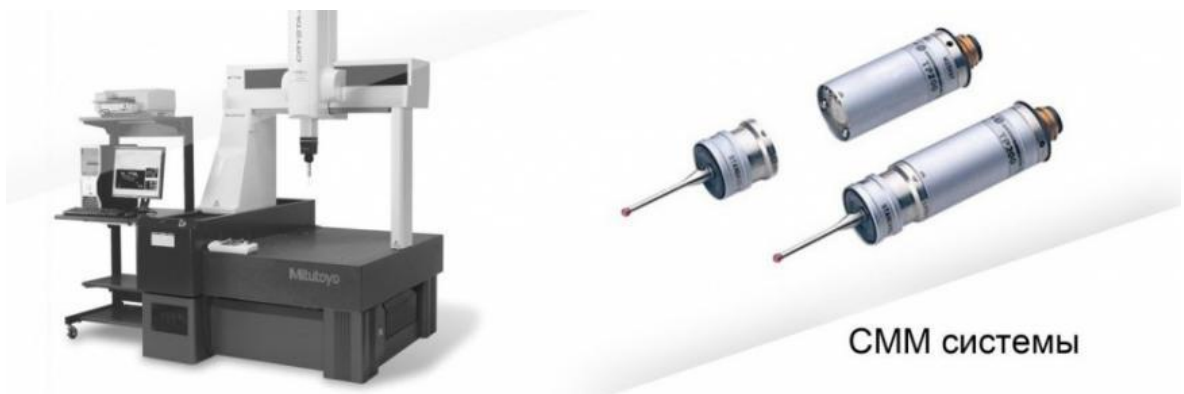


Рисунок 1.2 - Coordinate measuring machine - Координатно-вимірвальні машини

Ці пристрої нагадують промислові ЧПУ верстати, на масивній підставці, але замість шпинделя кріпиться вимірвальна головка з рубіновою кулькою на кінці. Сканування, або контроль геометричних розмірів проводиться контактним способом. Щуп повільно підходить до вимірюваного об'єкта, реєструючи найменший дотик.

Так само існують системи з рухомими "суглобами", в яких встановлені високоточні енкодери. При переміщенні скануючого органу оператором ці

датчики фіксують переміщення всієї системи і на основі цих даних будує тривимірну модель виробу.[2]

Приклад таких сканерів: Faro Arm Edge 9 - компактний і точний промисловий сканер ідеально підходить для контролю прес форм, або штампів.

І ROMER Absolute Arm SE 7 - 7-ми осьова вимірювальна рука, вкрай зручна в роботі, обладнана магнітним підставою, які дозволяють надійно закріпити сканер на будь-якій рівній металевій поверхні. Приклад сканеру наведено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 - ROMER Absolute Arm SE 7 - 7-ми осьова вимірювальна рука

Дані сканери широко застосовуються на високоточних виробництвах для контролю геометричних розмірів продукції, що випускається. Так само за допомогою даних пристроїв можна зробити "повне" сканування і отримати хмара точок.

Але дана технологія не ідеальна, і має ряд обмежень, таких як:

- 1) Низька швидкість сканування
- 2) Неможливо (найчастіше) сканувати впадини і малі отвори
- 3) Установки стаціонарні і масивні. Тому застосування їх в 3D зйомці ландшафту і архітектурних об'єктів неможливо

Хоча й існують портативні рішення, який дозволяє сканувати досить габаритні конструкції, але все ж для зйомки ландшафту вони мало застосовні. Зате ідеально підходять для реверс-інжиніринг і контролю якості.

1.1.2 Технологія лазерного сканування

Лазерна технологія заснована на проектуванні лазерного променя на об'єкт сканування. Все спотворення сприймаються вимірювальною камерою, яка відстежує фізичне положення лазера. Дані передаються в комп'ютер, де буквально викреслюються лазером.[2]

Лазерний 3D-сканер - це активний сканер, який використовує лазерний промінь, щоб досліджувати об'єкт. В основі цього типу сканера лежить лазерний далекомір. Лазерний далекомір визначає відстань до поверхні об'єкта, виходячи з часу прольоту лазера туди і назад. Сам лазер використовується для створення світлового імпульсу, в той час як детектор вимірює відбите світло. З огляду на, що швидкість світла (c) - величина постійна, то знаючи час прольоту променя туди-назад, можна визначити відстань, на яке перемістився світло, воно буде в два рази більше відстані між сканером і поверхнею об'єкта. Якщо (t) - це час польоту променя лазера туди-назад, тоді відстань дорівнюватиме ($c * t/2$). Точність сканера залежить від того, наскільки точно ми можемо виміряти саме час (t): 3,3 пкс (приблизно) необхідно для того, щоб лазер подолав 1 міліметр.[3]

Лазерний далекомір визначає відстань тільки однієї точки в заданому напрямку. Тому пристрій сканує всі своє поле зору по окремих точках за раз, змінюючи при цьому напрямок сканування. Змінювати напрямок лазерного далекоміра можна або шляхом обертання самого приладу, або за допомогою системи обертових дзеркал. Найчастіше використовують останній метод, адже він набагато швидше, точніше, а також легше в зверненні. Наприклад, часовідлікові 3D-сканери можуть вимірювати відстань від 10 000 до 100 000 точок за одну секунду.[3]

Основна частина лазерних сканерів працює на принципі тріангуляції. Суть тріангуляційних 3D сканерів полягає в тому, що висококонтрастна камера шукає лазерний промінь на поверхні об'єкту і вимірює відстань до нього. При цьому оптична вісь камери і лазера рознесені, а відстань між ними і кут відомі. Таким чином, шляхом геометричних вимірів ми можемо досить точно виміряти

відстань до об'єкта, швидко отримавши хмару точок. У порівнянні зі сканерами вимірюють час відгуку променю цей клас пристроїв має обмеження по дальності сканування, але при цьому сканує об'єкти з високою точністю.[4] Приклад роботи тріангуляційного лазерного методу наведено на рис. 1.4.

Ця технологія названа тріангуляцією тому, що лазерна точка, камера і сам лазерний випромінювач утворюють своєрідний трикутник. Відома довжина одного боку цього трикутника - відстань між камерою і лазерним випромінювачем. Також відомий кут лазерного випромінювача. А ось кут камери можна визначити по розташуванню лазерної точки в поле огляду камери. Ці 3 показники повністю визначають форму і розмір трикутника і вказують на розташування кута лазерної точки. У більшості випадків, щоб прискорити процес отримання даних, замість лазерної точки користуються лазерної смугою.

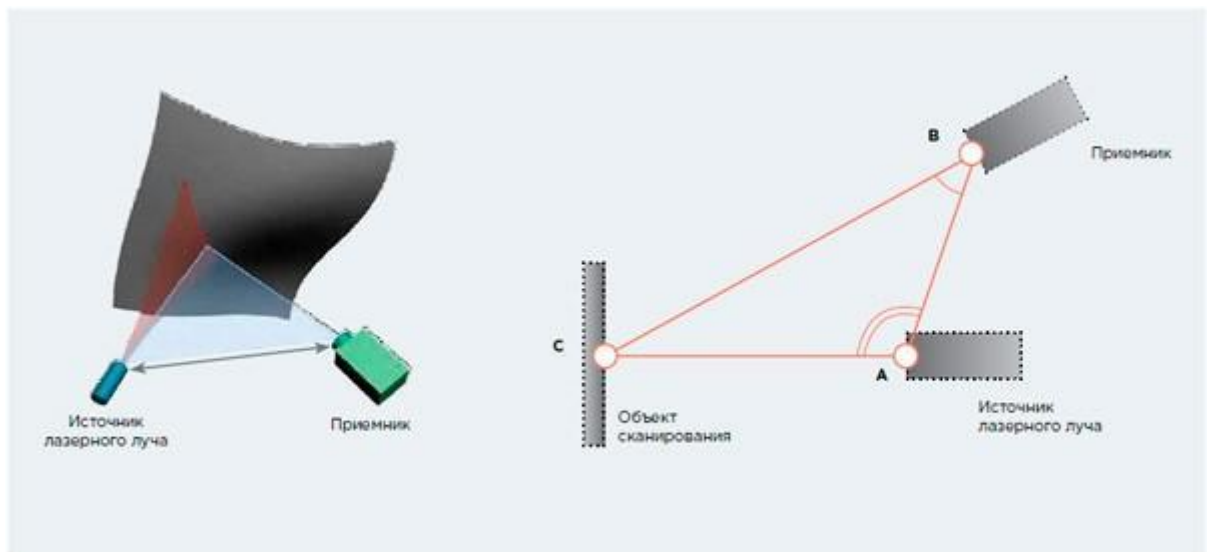


Рисунок 1.4 - Тріангуляційний лазерний метод

Розглянувши даний метод тривимірного сканування, можна виділити основні переваги та недоліки. До основних переваг можна віднести наступне:

- недорогі 3D-сканери для промислового застосування;
- можливість сканування поза приміщеннями і при різній освітленості;
- можливість роботи з об'єктами, недоступними для сканування з використанням технології білого структурованого світла;

- безконтактна технологія, що дозволяє не пошкодити фізичний об'єкт сканування.

Недоліки:

- неможливість сканування прозорих об'єктів або об'єктів з великим ступенем світловідбивання, що викликає необхідність напилення;
- неможливість сканування чорно-білих об'єктів;
- необхідність в базовій підставці, що має обмежену зону досяжності.

Незважаючи на зазначені недоліки, переваги цієї технології дуже значні, тому ця технологія була обрана для виконання магістерської роботи.[4]

1.1.3 Технологія сканування структурованим світлом

3D-сканери, що працюють за технологією структурованого світла, є проекцію світловий сітки безпосередньо на об'єкт, деформація цього малюнка і являє собою модель скануємого предмета. Сітка проектується на об'єкт за допомогою рідкокристалічного проектора або іншого постійного джерела світла. Камера, розташована трохи в стороні від проектора, фіксує форму мережі і обчислює відстань до кожної точки в поле зору.

Сканування структурованим світлом досі залишається активною областю досліджень, якій щорічно присвячується досить багато науково-дослідних робіт. Ідеальні карти також визнані корисними, як структуровані світлові візерунки, які можуть вирішити проблеми відповідності і дозволяють не тільки виявити помилки, але і виправити їх.

Перевага 3D-сканерів, що використовують структуроване світло, в їх швидкості і точності роботи. Замість сканування однієї точки в один момент часу, структуровані сканери сканують одночасно кілька точок або все поле зору відразу. Сканування всього поля зору займає частку секунди, а згенеровані профілі є більш точними, ніж лазерні тріангуляції. Це повністю вирішує проблему спотворення даних, викликаного рухом. Крім того, деякі існуючі системи здатні сканувати навіть рухомі об'єкти в режимі реального часу.

Наприклад, VisionMaster - скануюча система в форматі 3D - володіє 5-мегапіксельною камерою, завдяки чому кожен кадр містить 5 мільйонів точок.[5]

Сканери, що працюють в режимі реального часу, використовують цифрову проекцію краю і фазозсуваючу техніку (одна з методик застосування структурованого світла), що дозволяє захопити, відновити і створити комп'ютерну модель з високою щільністю деталей динамічно змінюються об'єктів (наприклад, міміка) при 40 кадрах в секунду. Різні моделі можуть бути використані в цій системі. Частота кадрів для захоплення і обробки даних досягає 120 кадрів в секунду. Цей сканер може обробляти і окремі поверхні. Наприклад, 2 рухомі руки. З використанням методу бінарної де фокусування, швидкість зйомки може досягати сотень, а то і тисяч кадрів в секунду.

Сканери, засновані на методі скануванні структурованим світлом. Ці пристрої являють собою одну або дві відео камери в зв'язці з кінопроектором. При засвічуванні об'єкту сканування "зеброю" або чорно-білими квадратами, які розташовані в шаховому порядку, камери аналізують викривлення отриманої картини і на основі цих даних будують 3D модель. Цей метод широко застосовується для реверс-інжиніринг, сканування ювелірних прикрас, часто застосовується в медицині (протезування). Особливо варто відзначити використання даних сканерів в протезування, так як тривимірне сканування і друк в даній сфері працює максимально ефективно. Дана технологія дозволяє максимально точно виготовити косметичний, функціональний або стоматологічний протези. Приклад технології сканування структурованим світлом наведено на рис.1.5.

До недоліків даної технології можна було б віднести обмеження по можливості сканування великих об'єктів, але дана задача ефективно вирішується шляхом нанесення на об'єкт спеціальних маркерів, які дозволяють сканувати великі об'єкти по частинах з наступною "склеюванням" моделі.[5]

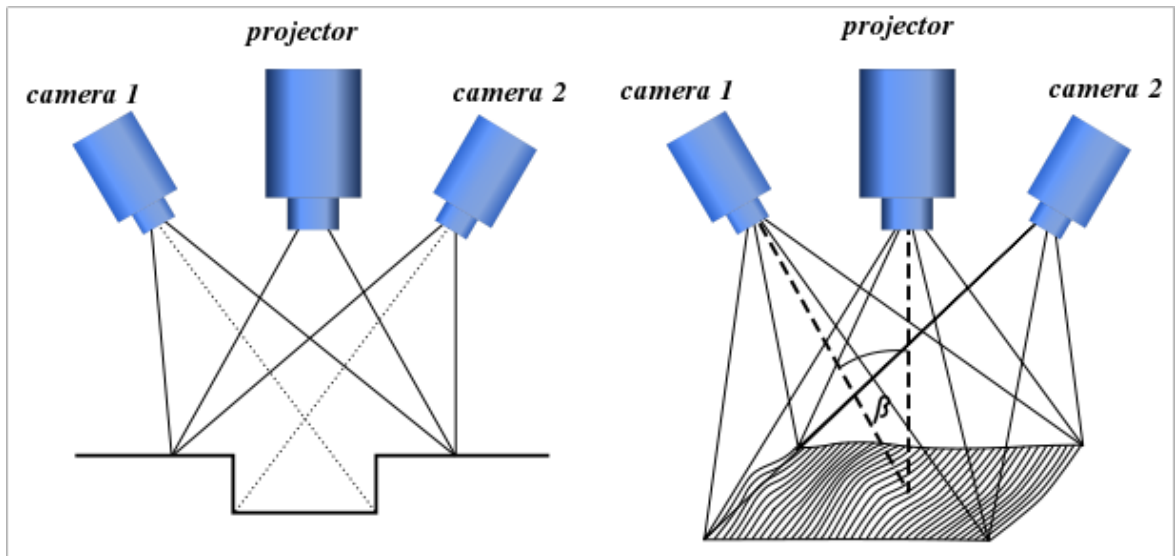


Рисунок 1.5 - Технологія сканування структурованим світлом

1.1.4 Технологія сканування за допомогою маркерів

Прив'язка до об'єкта здійснюється простим і найефективніше чином: на об'єкт сканування в довільному порядку з відстанню від 20 до 100 мм один від одного наклеюються самоклеючі світловідбиваючі круглі маркери приклад маркерів зображено на рис.1.6.



Рисунок 1.6 – Наклеювання маркерів для сканування

Це дозволяє сканувати об'єкт цілком, з усіх боків, як зсередини, так і зовні, не вдаючись до склейки сканів, що істотно заощаджує час. Більш того, процес сканування можна перервати, уточнити і, детально розглянувши вже відскановане, після чого продовжити, роботу з об'єктом.

По-друге, при скануванні здійснюється автоматична генерація поверхні безпосередньо в форматі STL, а не у вигляді хмари точок, які підлягають подальшій обробці. Весь процес відображається на моніторі в режимі реального часу. Приклад тривимірного сканування за допомогою маркерів наведено на рис.1.7.

Так само варто відзначити можливість використання спільно зі сканерами додаткові аксесуари, наприклад, спеціальні матуючі спреї, а також марковані поворотні столи. Все це спрощує сканування.[6]



Рисунок 1.7 – Сканування за допомогою маркерів

Області застосування: Реверс-інжиніринг, Освіта, Хобі, Комп'ютерні ігри, Протезування, Сканування людей, Архітектура, Музейна справа

1.1.5 Технологія стереоскопічного сканування

Стереоскопія (або 3D зображення) - це техніка для створення ілюзії глибини картинки за допомогою стереоскопічних засобів для бінокулярного зору.

Більшість стереоскопічних методів полягають у демонстрації глядачу двох зміщених картинок окремо для лівого і правого ока. Ці двовимірні картинки

потім накладаються одна на одну мозком і сприймаються ним як об'ємне зображення. Цей метод відрізняється від 3D дисплеїв, де зображення відображається у повних трьох вимірах, що дозволяє спостерігачу отримати більше інформації про тривимірні об'єкти, що демонструються головою та рухами очей.[6]

У сканерах, які засновані на стереоскопічному методі сканування, є дві камери, повернені під невеликим кутом відносно одна одної. Аналізуючи різницю між двома зображеннями, будується тривимірна модель. Точність таких сканерів не висока, але зате дозволяє отримати кольорову тривимірну модель.

Так само при проектуванні дизайну автомобілів досі виготовляють вручну масштабний макет зі спеціальної глини, а після чого успішно сканують подібними сканерами.[4]

Більшість сканерів цього типу призначені для виявлення видимого світла, адже це найбільш доступний вид навколишнього випромінювання. Інші типи випромінювання, наприклад, інфрачервоне, також може бути задіяно. Пасивні методи сканування відносно дешеві, адже в більшості випадків вони не мають потреби в спеціальному обладнанні, достатньо звичайної цифрової камери.

Стереоскопічні системи передбачають використання двох відеокамер, розташованих в різних місцях, але в одному напрямку. Аналізуючи відмінності в знімках кожної камери, можна визначити відстань до кожної точки на зображенні. Цей метод за своїм принципом схожий на стереоскопічний зір людини.[6]

Фотометричні системи зазвичай використовують одну камеру, яка робить зйомку декількох кадрів при будь-яких умовах освітлення. Ці методи намагаються перетворити модель об'єкта, щоб відновити поверхню по кожному пікселю. Приклад стереоскопічного сканування зображено на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Стереоскопічне сканування

Силуетні техніки використовують контури з послідовних фотографій тривимірного об'єкту на контрастному тлі. Ці силуети екструдують і перетворюють, щоб отримати видиму оболонку об'єкта. Однак цей метод не дозволяє просканувати поглиблення в об'єкті (наприклад, внутрішню порожнину чаші).

1.2 Апаратні засоби тривимірного сканування

Існує кілька технологій для цифрового сканування форми і створення 3D-моделі об'єкта. Однак була розроблена спеціальна класифікація, яка ділить 3D-сканери на 2 типу: контактні і безконтактні. У свою чергу, безконтактні 3D-сканери можна поділити ще на 2 групи - активні і пасивні. Під ці категорії скануючих пристроїв можуть підпадати відразу кілька технологій.[6]

Контактні 3D-сканери досліджують (зондують) об'єкт безпосередньо через фізичний контакт, поки сам предмет перебуває на прецизійній повірочній поверхні, відшліфованій і відполірованій до певної міри шорсткості поверхні. Якщо об'єкт сканування нерівний або не може стабільно лежати на горизонтальній поверхні, то його будуть утримувати спеціальні лещата.

Механізм сканера буває трьох різних форм:

1) Каретка з фіксованою вимірювальною рукою, розташованою перпендикулярно, а вимір по осях відбувається, поки рука ковзає уздовж каретки. Ця система є оптимальною для плоских або звичайних опуклих кривих поверхонь.

2) Маніпулятор з фіксованими складовими і з високоточними кутовими датчиками. Розташування кінця вимірювальної руки тягне за собою складні математичні обчислення, що стосуються кута обертання шарніра зап'ястя руки, а також кута розвороту кожного із з'єднань руки. Цей механізм ідеально підходить для зондування поглиблень або внутрішніх просторів з невеликим вхідним отвором.

3) Одночасне використання попередніх двох методів. Наприклад, маніпулятор можна поєднати з кареткою, що дозволить отримати 3D-дані від великих об'єктів, що володіють внутрішніми порожнинами або перекривають один одного поверхнями.

Приклад конструкцій тривимірних сканерів кожного виду наведено на рис 1.9.

За принципом роботи пристрої також відрізняються. Ринок пропонує стаціонарний або переносний, тобто ручної 3D сканер лазерного типу. У якості сенсора в другому випадку використовується координатно-чутливий детектор або апарат з зарядним зв'язком. Даний агрегат надзвичайно зручний тим, що його можна вільно переміщувати. Портативний 3D сканер ідеально підходить для сканування важкодоступних місць або великогабаритних об'єктів. Вимірювання можна проводити під будь-якими кутами, навколо або під досліджуваними предметами.[7]



а



б



в

Рисунок 1.9 – Види механізмів тривимірних сканерів контактного типу:

а – каретка з фіксованою вимірювальною рукою;

б – маніпулятор ;

в – одночасне використання маніпулятора та механічної каретки.

Механізми тривимірного сканера безконтактного типу бувають різних форм і типів:

Зафіксований лазерний промінь та камера яка сканує відстань до об'єкту, який розташовується на обертальному столі. Поступово обертуючи об'єкт, будується його «хмара точок», з якого наступним кроком можна отримати готову тривимірну модель фізичного об'єкта. [7]

Ручний пересувний тривимірний сканер з вбудованою камерою та лазером, для сканування будь якого об'єкту потрібно обводити його ручним сканером не торкаючись, що запобігає механічним пошкодженням та дає змогу відсканувати крихкі чи старі об'єкти, які не повинні взаємодіяти з іншими речами.

Пересувні тривимірні сканери які встановлюються на триногу з обертальним столом. Основні механізми сканування встановлюються на обертальний стіл. Сканування відбувається завдяки механізму обертання, лазер та камера поступову обертаються та створюють тривимірне зображення оточуючого простору.[7]

Приклади механізмів та конструкцій лазерних тривимірних сканерів наведено на рис.1.10.

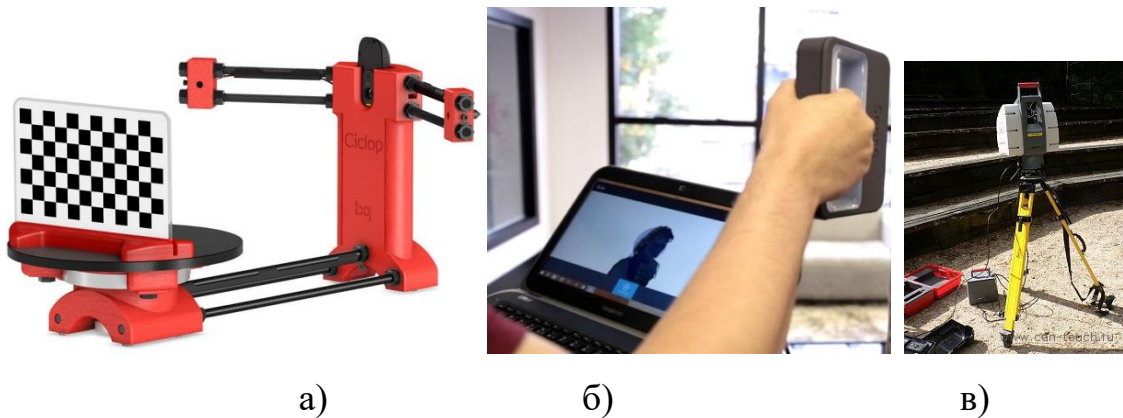


Рисунок 1.10 – Механізми тривимірних сканерів безконтактного лазерного типу:

а – сканер з обертальною платформою та зафіксованим лазерним променем;

б – ручний лазерний механізм сканування;

в – механізм з обертальним лазером та камерою.

1.3 Постановка задачі магістерської роботи

Після проведення аналізу технологій тривимірного сканування, постала задача вибору методу сканування деталей для того, щоб отримати найбільш точні тривимірні моделі.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

- провести аналіз технологій;
- проаналізувати конструкції існуючих прототипів сканерів;
- провести аналіз існуючих методів побудови тривимірних моделей.

На основі проведеного аналізу методів та засобів тривимірного сканування можна зробити висновок, що для створення пристрою 3D сканування доцільно використовувати метод безконтактного лазерного сканування у зв'язку з його не високою вартістю, відносно високою точністю отриманих моделей сканованих об'єктів.

Розроблений пристрій повинен відповідати наступним характеристикам: точність сканування, мала вага, відносно невеликі габарити, низька вартість, довговічність роботи.

2 МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ У РЕЗУЛЬТАТІ СКАНУВАННЯ

2.1 Математичні методи створення 3D моделей за результатами сканування

Існує чимало спеціалізованих програм 3D сканерів - від аматорських, для смартфонів і фотокамер, до цілком серйозних галузевих і універсальних рішень, що дозволяють створювати точні 3D моделі. Кожна програма виконує різні математичні операції при роботі з тривимірним сканером. Найпоширеніший математичний метод створення тривимірної моделі це створення тривимірної моделі з «хмари точок». [8]

«Хмара точок» - це скупчення даних, які розташовуються в Декартовій системі координат. Відповідно всі точки знаходяться в трьох вимірах, на осях X, Y і Z. Якщо розглядати цей термін в контексті 3D сканування, ці дані представляють результати сканування у вигляді неструктурованих координат. Типовими і найбільш поширеними форматами хмари точок є TXT, IGS і ASCII.

Залежно від типу даних і типу подальшої обробки даних, «хмара точок» експортується в відповідний файл. Приклад «хмари точок» наведено на рис.2.1.



Рисунок 2.1 – «Хмара точок»

«Хмари точок», які створюють 3D-сканери, можуть безпосередньо використовуватися для вимірювань або візуалізації в області архітектури і конструювання.

Однак більшість додатків використовують замість полігональних 3D-моделей, моделювання поверхні об'єкта через неоднорідний раціональний B-сплайн, NURBS або ж редаговані CAD-моделі (також відомі, як об'ємні (монолітні) моделі).[8]

Моделі з полігональної сітки: У полігональному поданні форми криві поверхні складаються з безлічі невеликих плоских поверхонь з гранями (яскравий приклад - куля на дискотеках). Полігональні моделі вельми затребувані для візуалізації в області АСТПП - автоматизована система технологічної підготовки виробництва (наприклад, механічна обробка). Разом з тим, такі моделі досить «важкі» (вміщують великий обсяг даних) і їх досить складно редагувати в такому форматі. Реконструкція в полігональну модель передбачає пошук і об'єднання сусідніх точок прямими лініями, поки не утвориться безперервна поверхня. Для цього можна використовувати ряд платних і безкоштовних програм (MeshLab, Kubit PointCloud для AutoCAD, 3D JRC Reconstructor, ImageModel, PolyWorks, Rapidform, Geomagic, Imageware, Rhino 3D і т.д.). На рис.2.2 зображено створення полігональної моделі з «хмара точок».



Рисунок 2.2 – Приклад створення полігональної моделі з «хмари точок»

Поверхневі моделі: цей метод являє собою наступний рівень складності в області моделювання. Тут застосовується набір кривих поверхонь, які надають вашому об'єкту форму. Це може бути NURBS, T-Spline або інші криві об'єкти з топології. Використання NURBS, перетворює, наприклад, сферу в її математичний еквівалент. Деякі додатки припускають ручну обробку моделі, але програми більш просунутого класу пропонують також автоматичний режим. Це варіант не тільки більш легкий у використанні, але і надає можливість видозмінювати модель при експорті в систему автоматизованого проектування (САПР). Поверхневі моделі піддаються редагуванню, але тільки в скульптурному відношенні. Добре піддаються моделюванню органічні і художні форми. Можливість моделювання поверхні представлена в програмах Rapidform, Geomagic, Rhino 3D, Maya, T Splines.[9]

Об'ємні САПР-моделі: з точки зору інженерної та виробничої перспективи, цей вид моделювання являє собою повноцінну оцифровану форму параметричної САПР-моделі. Зрештою, САПР - це загальна «мова» промисловості, що дозволяє описати, відредагувати і зберегти форму активів підприємства. Наприклад, в САПР сферу можна описати параметричними функціями, які легко редагувати, змінюючи їх значення (скажімо, радіус або центральну точку).

Ці САПР-моделі не просто описують оболонку або форму об'єкта, але вони дозволяють також втілити проектний задум (тобто, критичні функції і їхнє ставлення до інших функцій). Як приклад проектного задуму, що не вираженого в формі, можуть виступити ребристі болти гальмівного барабана, які повинні бути концентричні з отвором в центрі барабана. Цей нюанс визначає послідовність і спосіб створення САПР-моделі, тому інженер, з огляду на ці особливості, розроблятиме болти, прив'язані ні до зовнішньому діаметру, а навпаки, до центру. Таким чином, для створення подібної САПР-моделі потрібно співвіднести форму об'єкта з проектним задумом.[9]

Існує кілька підходів, що дозволяють отримати параметричну САПР-модель. Одні припускають тільки експорт NURBS-поверхні, залишаючи САПР-

інженеру завершити моделювання (Geomagic, Imageware, Rhino 3D). Інші використовують дані сканування для створення редагованої і піддається перевірці функцій моделі, яку можна повністю імпортувати в САПР з неущодженим повністю функціональним деревом, надаючи завершене злиття форми і проектного задуму САПР-моделі (Geomagic, Rapidform). Проте, інші САПР-додатки досить потужні, щоб маніпулювати обмеженою кількістю точок або полігональними моделями в САПР-середовищі (CATIA, AutoCAD, Revit).

Ще одним методом отримання математичної моделі тривимірного сканування є створення тривимірної моделі шляхом накладання один на одну двох «хмар точок». За принципом такого алгоритму працює пристрій Kinect.

Основний цикл роботи алгоритму Kinect включає в себе наступні кроки:

- перетворення показань камери глибини в тривимірні «хмари точок» і нормалей до них;
- обчислення матриці перетворення між двома «хмарами точок», отриманих з камери глибини на поточній та попередній ітерації, на основі цього перетворення визначається зміщення камери в глобальному просторі, використовуючи алгоритм ICP;
- оновлення сцени - на основі отриманих даних алгоритм формує нові значення функції TSDF, яка і містить поточне подання про сцену і використовує значення функції TSDF для рендеринга (візуалізації) сцени а також отримуємо згладжені значення хмари точок і нормалей до них.

Приклад алгоритму сканування за допомогою Kinect наведено на рис.2.3.

Одним з найскладніших методів математичного аналізу створення тривимірної моделі є метод фотограметрії.

Фотограметрія використовує способи і прийоми різних дисциплін, в основному, запозичені з оптики і проективної геометрії.



Рисунок 2.3 – Приклад роботи алгоритму сканування Kinect

У найпростішому випадку просторові координати точок об'єкта визначаються шляхом вимірювань, які виконуються за двома або більше фотографій, знятих з різних положень. При цьому на кожному зображенні відшукуються загальні точки. Потім промінь зору проводиться від місця розташування фотоапарата до точки на об'єкті. Перетин цих променів і визначає розташування точки в просторі. Більш складні алгоритми можуть використовувати іншу, відому заздалегідь, інформацію про об'єкт: наприклад, симетрію складових його елементів, в певних випадках дозволяє реконструювати просторові координати точок лише по одному фотографічному зображенню.[10]

Алгоритми, що застосовуються в фотограмметрії, мають на меті мінімізувати суму квадратів безлічі помилок, вирішуване зазвичай за допомогою алгоритму Левенберга - Марквардта (або методу зв'язок), заснованого на рішенні нелінійних рівнянь методом найменших квадратів.

До елементів зовнішнього орієнтування відносяться тривимірні координати центру проекції, поздовжній і поперечний кути нахилу знімка і кут повороту. До елементів внутрішнього орієнтування відносяться, в першу чергу, фокусна відстань об'єктива (хоча може враховуватися і характер спотворень, що

вносяться при зйомці: наприклад, дисторсія об'єктива, деформація фотоматеріалу та ін.) І двовірні координати головної точки.[10]

Переваги фотограмметрії:

- а) висока точність вимірювань;
- б) високий ступінь автоматизації процесу вимірювань і пов'язана з цим об'єктивність їх результатів;
- в) велика продуктивність (оскільки вимірюються не самі об'єкти як такі, а лише їх зображення);

2.2 Програмне забезпечення для тривимірного сканування

Для повноцінного проведення тривимірного сканування з подальшою передачею інформації у програму на персональний комп'ютер необхідне узгоджене функціонування таких складових системи, як:

- персональний комп'ютер;
- спеціалізоване програмне забезпечення;
- безпосередньо 3 D сканер з відповідними налаштуваннями.

Рекомендовані вимоги для ПК для виконання розрахунків:

- процесор - Intel Core 2 - 2.0 ГГц;
- системна пам'ять – 2 ГБ;
- дискова пам'ять – 500 МБ.

Програмне забезпечення для тривимірного сканування:

Операційна система – Windows 7,8 або 10

Одна із програм – , таких як:

- Polygon Edition Tool [11];
- Rapidform [12];
- Geomagic Studio [13];
- Horus [14];
- FabScan[15].

Для того щоб повноцінно користуватися тривимірними сканерами необхідне якісне програмне забезпечення. Проведемо короткий опис та порівняльний аналіз перерахованих програм.

2.2.1 Polygon Edition Tool

Для роботи зі сканерами використовують програму Polygon Edition Tool. За допомогою цієї програми можна сканувати, обробляти і експортувати дані. Готовий файл займає близько 2 мегабайт пам'яті. За допомогою Polygon Edition Tool користувач має можливість експортувати файли з розширеннями .stl, .dxf і всіма улюбленим .obj.[11] Приклад вікна програми Polygon Edition Tool наведено на рис.2.4.

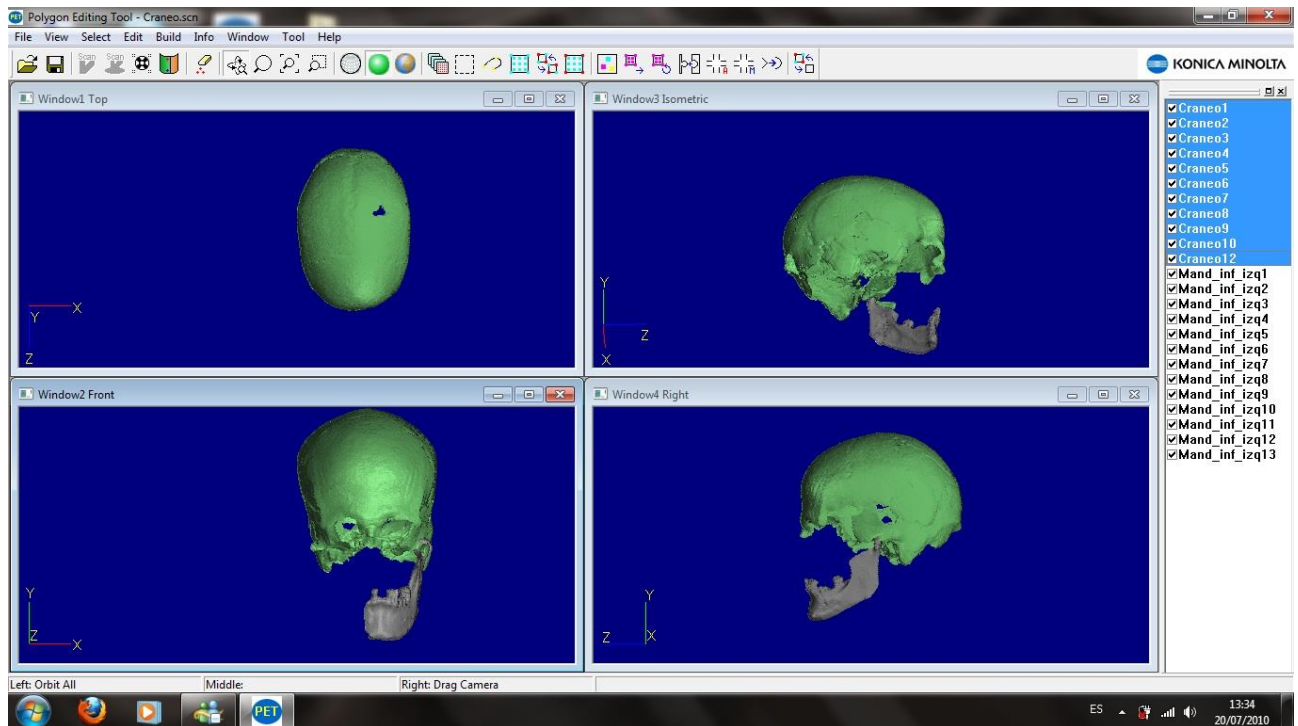


Рисунок 2.4 – Вікно програми Polygon Edition Tool

Програма доступна для безкоштовного скачування. Основні функції програми:

- можливість «зшивати» скани. Після сканування програма формує хмару точок, розташованих в системі координат.
- функція об'єднання цих точок в одну модель

- подальше редагування віртуального об'єкта
- створення полігональних моделей і їх редагування
- можливість проведення операцій зі структурами.[11]

2.2.2 Rapidform

Одними з найбільш зручних і поширених програм є RapidForm. Rapid Form 2006, відрізняється універсальністю і простотою використання. За допомогою цієї програми користувач зможе створити якісну модель на основі полігональної сітки. У свою чергу сітка створюється на основі даних тривимірного сканування.[12] Приклад вікна програми Rapidform наведено на рис.2.5.



Рисунок 2.5 – Вікно програми Rapidform

Простий і доступний інтерфейс програми дозволяє з легкістю редагувати зображення. Власник 3d сканера отримає можливість максимально швидко перетворити хмара точок в повноцінну тривимірну модель. Розділяють такі програми RapidForm:

- Rapidform XOS, яка є потужним інструментом для контролю сканування об'єкта. За допомогою XOS можна також обробляти зображення.
- Rapidform XOR - одна з найбільш просунутих і сучасних програм для 3d сканерів. За допомогою XOR користувач має можливість створювати моделі на базі хмари точок, яке утворюється після сканування. Потужність інструментів для моделювання дозволяє отримувати якісні тривимірні моделі. Програма допомагає створювати якісні прототипи, сувеніри, деталі.

Ще одним представником Rapidform є XOV, який відмінно підходить для контролю якості. Основне завдання програми - порівнювати хмара точок і отриману модель. Це дозволяє збільшити рівень деталізації у багато разів.[12]

2.2.3 Geomagic Studio

Ще одна програма для професійного моделювання та 3d сканування - це Geomagic Studio. Вона виконує функції редактора, який здатний проводити величезну кількість операцій для обробки відсканованої моделі. Також програма дозволяє працювати з поверхнями NURBS. Як і всі подібні програми, Geomagic здатна експортувати моделі в різні формати і перевіряти якість сканування. Після того, як робота пристрою закінчена, програма видає всі дані у вигляді звіту. Завдяки контролю якості користувач може отримати практично ідеальний результат.[13] Приклад вікна програми Geomagic Studio наведено на рис.2.6.

У Geomagic Studio вбудовані транслятори даних з основними популярними САПР: CATIA, Autodesk Inventor, Creo Elements / Pro (Pro / ENGINEER), SolidWorks, SpaceClaim. Геометрію, яку слід перемістити в САПР, потрібно вибрати в Geomagic і вказати тип - «тіло» або «поверхню». У такій же послідовності, в якій буде обрано геометрію, побудується і модель в САПР. Будь-який елемент в САПР є параметричних і побудований на основі ескізу, який можна поміняти стандартними засобами самої системи. Крім того, Geomagic Studio дозволяє передавати в САПР ескізи і криві безьє, витягнуті з моделі за

допомогою плоских або циліндричних перетинів. Ескізи, що складаються з кривих і дуг, і криві безьє можна редагувати безпосередньо в середовищі Geomagic.[13]

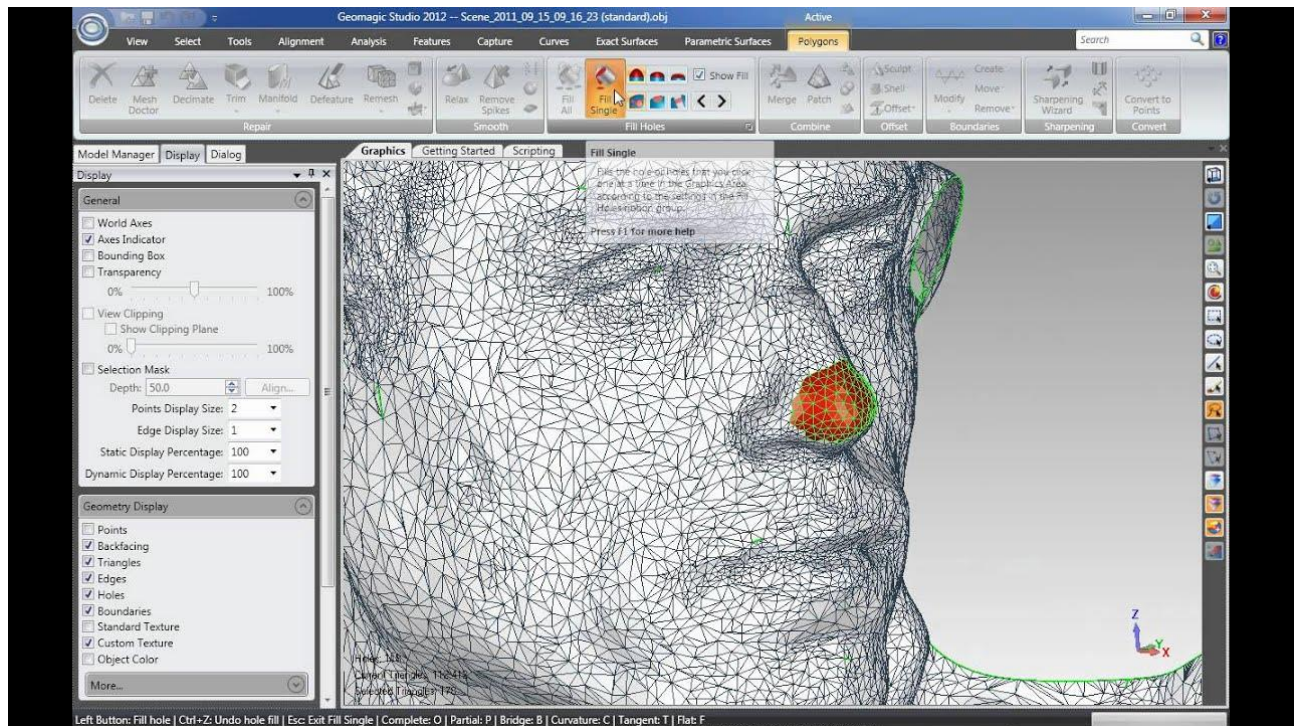


Рисунок 2.6 – Вікно програми Geomagic Studio

2.2.4 Horus

Horus - це багатоплатформенне програмне забезпечення, призначене для управління 3D-сканерами з відкритим вихідним кодом. Він має графічний інтерфейс для управління зв'язком, збору і синхронізації даних, обробки зображень, процесів калібрування, а також генерації та візуалізації хмар точок.

Він був розроблений і оптимізований для GNU / Linux 1 Ubuntu 2. Він також був протестований на Windows і Mac також буде підтримуватися. Програмне забезпечення було написано на Python 3.[14] Вікно програми Horus наведено на рис.2.7

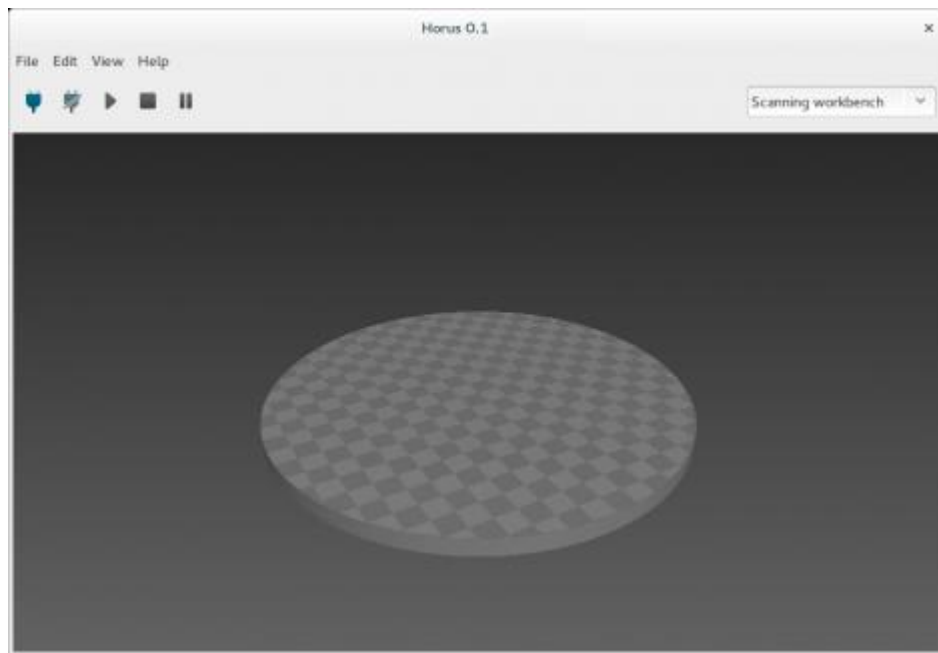


Рисунок 2.7 – Вікно програми Horus

Horus - це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом. Вихідний код був опублікований на GitHub і випущений під ліцензією GPL v2. Ця ліцензія гарантує основні свободи, пов'язані з використанням програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом. Будь-код, випущений за цією ліцензією, автоматично стає частиною технологічного спадщини людства.

Програмне забезпечення включає в себе можливість завантаження і збереження профілів, а також для скидання параметрів за замовчуванням. Він також надає доступ до налаштувань, де користувач може налаштувати параметри підключення, завантажити прошивку на плату або вибрати мову програми.

Розділ сканування включає опції для завантаження, збереження і видалення моделі. Модель - це тривимірний об'єкт, який може бути хмарою точок PLY або сіткою STL.[14]

2.2.4 FabScan

FabScan – це програма для тривимірного сканування яка працює під операційною системою Linux та дозволяє працювати зі стаціонарними активними лазерними сканерами.

Програма допомагає користувачу на кожному етапі сканування, від встановлення початкових параметрів сканеру для кращого результату сканування, до етапу збереження отриманої хмари точок, отриманої від фізичного об’єкта сканування.

Програма дозволяє працювати з відсканованими об’єктами та зберігати їх у різних форматах для подальшого використання отриманої тривимірної моделі.[15] Вікно програми FabScan наведено на рис.2.8.

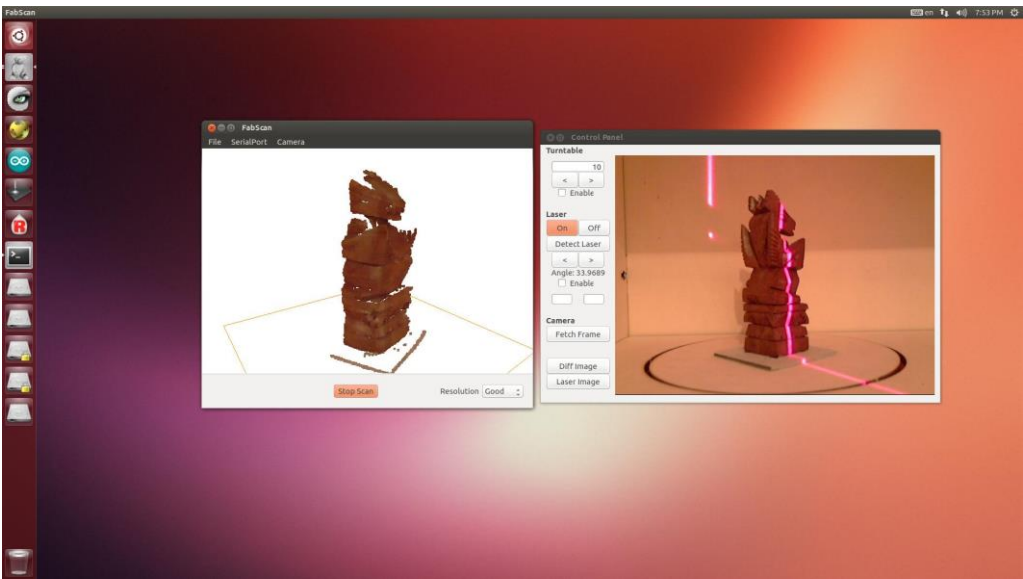


Рисунок 2.8 – Вікно програми FabScan

Проводячи аналіз програм хотілося б відмітити те, що кожна з відібраних програм має свій особистий функціонал що дозволяє отримувати відскановані тривимірні об’єкти різної якості, у різних форматах та проводити над ними різні роботи. Порівняльна характеристика програм, що можуть використовуватись для тривимірного сканування, наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика програм

Критерії оцінки	Polygon Edition Tool	Rapidform	Geomagic Studio	Horus	FabScan

1	2	3	4	5	6
Мова інтерфейсу	Англ	Англ	Англ	Англ	Англ
Закрите чи відкрите ПЗ	Відкрите	Відкрите	Відкрите	Відкрите	Відкрите
Вартість програми	Платна	Безкошт.	Безкошт.	Безкошт.	Безкошт.
Налаштування швидкості	+	+	+	+	+
Побудова хмари точок	+	+	-	+	+
Обробка отриманої моделі	+	+	+	+	-
Збереження файлу у форматі .STL	-	-	+	+	+
Видалення помилок в моделі	-	+	+	-	+
Візуалізація у реальному часі	+	-	+	+	+

Враховуючи результати проведеного аналізу та порівняння програм для тривимірного сканування, представлених на ринку, а також трудомісткість та тривалість потенційного розроблення власного програмного забезпечення, нами було зроблено висновок щодо доцільності вибору програми FabScan, оскільки ця

програма найбільш гнучка та підходить за параметрами до конструкції тривимірного сканеру.

2.3 Перелік вимог до конструкції, що розробляється

Виходячи з призначення пристрою, що розробляється в даній магістерській роботі, та особливостей його застосування, до нього висувається ряд вимог, зокрема тих, що стосуються технологічності, естетики та ергономіки, безпеки.

2.3.1 Експлуатаційні вимоги

Виріб повинен зберігати свої параметри в межах норм, встановлених технічними завданнями, стандартами або технічними умовами протягом строків служби та термінів збереження, зазначених у технічному завданні, стандартах або технічних умовах, після і (або) в процесі впливу кліматичних факторів.

Кліматичне виконання УХЛ застосовується для виробів, призначених для експлуатації у макрокліматичних районах з помірним та холодним кліматом. Згідно ГОСТ 15150-69 категорії виконання 3.1 означає експлуатацію закритих приміщень з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов.[16] Категорії виконання В 3.1 відповідають такі норми кліматичних впливів:

Значення температури повітря при експлуатації

- робочі: верхнє $+35^{\circ}\text{C}$;
- нижнє $+1^{\circ}\text{C}$.

Граничні робочі:

- верхнє $+45^{\circ}\text{C}$;
- нижнє -10°C .

Значення вологості:

- відносна вологість:
- середньорічне значення 75% при 15°C ;

- верхнє значення 98% при 25 ° C;
- абсолютна вологість, середньорічне значення: $11 \text{ г} \times \text{м}^{-3}$.

2.3.2 Вимоги технологічності

Технологічність конструкції виробу є пристосованість до обмеженого витрачання трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів при підготовці виробництва та промислового випуску виробів у заданому кількості по вищій категорії якості (виробнича технологічність), а також при технічному обслуговуванні та ремонті (експлуатаційна технологічність).

Для оптимізації витрат при виробництві, експлуатації, ремонті принтера з урахуванням заданих показників якості необхідно, щоб пристрій був високотехнологічним.[17]

Можна виділити ряд рекомендацій щодо збільшення технологічності:

- бажано не використовувати або обмежити використання оригінальних деталей;
- обмежити, а краще виключити застосування великогабаритних ЕРЕ, які неминуче призведуть до наявності об'ємного монтажу ручну пайку і ручне встановлення на плату;
- вибір розмірів і форми компонентів, деталей і вузлів конструкції з урахуванням економічно доцільних для заданих умов виробництва способів формоутворення;
- використовувати типові або добре відпрацьовані на даному підприємстві технологічні процеси;
- використовувати двосторонній монтаж плати для підвищення автоматизації;
- використовувати автоматизоване встановлення та пайку ЕРЕ;
- зменшення використання дефіцитних або токсичних матеріалів, дорогих металів;
- зменшити номенклатуру використовуваних матеріалів і напівфабрикатів;

- використання обґрунтованих сортamentів і марок матеріалів, які дозволяють знизити матеріалоемність принтера та виробів, отриманих з його використанням.

2.3.3 Вимоги ергономіки та естетики

Питаннями реалізації вимог ергономіки художніми засобами займається технічна естетика - наука, що вивчає соціально-культурні, технічні та естетичні проблеми, формування гармонійної предметної середовища, створюваної засобами виробництва.

В результаті відпрацювання виробів на ергономічність повинна бути забезпечена ефективність взаємодії людини з виробом, знижена стомлюваність оператора, вжито заходів до попередження його помилкових дій, в тому числі і в аварійних ситуаціях.[17]

При виготовленні побутових РЕА спеціально закладають наявність споживчих зручностей, стосовно кожного конкретного виробу. На пристрої повинні бути нанесені чіткі та стійкі позначення і написи, що пояснюють призначення органів управління і пристроїв перемикання.

Естетичні вимоги включають наступну номенклатуру показників:

- інформаційна виразність характеризує здатність виробу відображати у формі сформовані в суспільстві естетичні уявлення;

- раціональність форми характеризує відповідність форми об'єктом умовам виготовлення і експлуатації виробу; проявляється у відповідності форми виробу його призначенню, особливостям технології;

- цілісність композиції характеризує гармонійну єдність частин і цілого, взаємозв'язок елементів форми виробу і його узгодженість з ансамблем інших виробів;

- досконалість виробничого виконання характеризується чистотою виконання контурів і сполучення елементів, ретельністю покриттів і обробки, чіткістю виконання фірмових знаків та експлуатаційної документації, стійкістю до пошкоджень.

У процесі експлуатації основні параметри пристрою повинні зберігатися в межах допустимих значень.[18]

2.3.4 Вимоги техніки безпеки

Безпека РЕА - властивість апаратури не завдавати людині шкоди при виконанні заданих функцій у певних умовах протягом встановленого часу.

Вимоги техніки безпеки:

Тривимірний сканер повинний бути сконструйований і виготовлений таким чином, щоб при нормальній експлуатації, а також в умовах несправності для споживача не створювалася небезпека навіть у разі недбалого поводження з приладом. При цьому має бути забезпечений захист від ураження електричним струмом, наслідків механічної нестійкості приладу через наявність у ньому рухомих частин.

На приладі повинна бути нанесена наступна інформація: вид живлення та номінальна напруга живлення, позначення контактних пристроїв, які застерігають написи.[19]

Попередження небезпеки ураження електричним струмом включає ряд заходів, в тому числі доступні частини приладу не повинні знаходитися під небезпечною напругою. При цьому доступність частини приладу визначають, як її доступність через зовнішню поверхню приладу при використанні «випробувального пальця». Напругу класифікують як небезпечну, якщо між досліджуваною частиною приладу і будь-якою іншою його частиною, або між досліджуваної частиною і будь-яким контактом джерела живлення через резистор з опором 50 кОм (еквівалент опору тіла людини) протікає змінний струм більше 0,7 мА (пікове значення) або постійний струм більше 2 мА.

Ізоляція деталей, що знаходяться під небезпечною напругою, не повинна бути виготовлена з гігроскопічних матеріалів.

Конструкція приладу повинна виключати небезпеку ураження електричним струмом з боку доступних деталей або тих деталей, які стають доступними при знятті кришки.

Конструкція приладу повинна виключати ураження електричним струмом в процесі регулювання.

Захист від ураження електричним струмом повинний забезпечуватися і в умовах несправності, при цьому допустиме значення сили струму збільшують в чотири рази.[20]

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ 3D-СКАНУВАННЯ

3.1 Опис конструкції 3D сканера

При розробці пристрою за основу прийнято конструкцію «FabScan», через те, що вона відповідала основним параметрам:

- простота виготовлення;
- мінімальна кількість рухомих частин;
- великий робочий простір;

Було розроблено модель 3D сканера відповідно до наступних електричних, експлуатаційних кліматичних та інших вимог, наведених вище.

Пристрій складається з таких елементів, як:

- рама;
- механізм поворотного столу;
- лазерний випромінювач;
- камера-приймач;
- блок електроніки;

Для дослідження найкращого результату сканування було обрано три матеріала, з якого можна побудувати раму тривимірного сканера:

- акриловий пластик
- МДФ
- Алюміній

Головним критерієм оцінки матеріалу є його здатність до поглинання світла, зокрема червоного спектра кольору. У табл. 3.1 наведено коефіцієнт поглинання світла різними матеріалами. Порівняльна характеристика матеріалів для рами тривимірного сканера наведено у табл.3.2.

Таблиця 3.1 – Поглинання світла різними матеріалами

Матеріал	Коефіцієнт поглинання
МДФ	0.50
Пластик	0.83
Алюміній	0.64

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики матеріалів для рами сканеру

Критерії оцінки	МДФ	Пластик	Алюміній
Поглинання світла більше ніж 50%	-	+	+
Вага матеріалу	Важкий	Легкий	Легкий
Міцність матеріалу	Міцний	Міцний	Міцний
Вартість матеріалу	Дорогий	Дешевий	Дорогий
Довговічність	Не довговічний	Довговічний	Довговічний

Провівши порівняльну характеристику матеріалів для рами тривимірного сканеру, було зроблено висновок щодо вибору матеріалу. Нами було обрано акриловий пластик, ГОСТ 10667-90, оскільки цей матеріал найбільш підходить за параметрами до конструкції тривимірного сканеру: цей матеріал є легким, дешевим та довговічним, а також має задовільні характеристики поглинання випромінювання.[21]

3.1.1 Опис рами тривимірного сканера

Рама тривимірного сканера виготовляється з глянцевого акрилового пластику чорного кольору товщиною 3 мм. Даний матеріал було вирішено

використовувати у зв'язку з його низькою ціною, та здатністю поглинати зайві лазерні промені. Також від дає змогу полегшити конструкцію тривимірного сканеру. Він володіє наступними властивостями:

- світлопропускна здатність прозорого акрилового скла досягає 92% і нічим не поступається кварцовому склу. Пофарбовані варіанти мають меншу світлопроникність;
- маса листового матеріалу в 2,5 рази менше, ніж кварцового скла, що дозволяє значно полегшити несучу конструкцію;
- пластик відрізняється стійкістю до ударів - в 5 разів вище, ніж у скла;
- матеріал пропускає до 70% УФ-променів і абсолютно нечутливий до їх впливу. Він не втрачає ні прозорості, ні кольору;
- до важливих технічними характеристиками відноситься проста обробки. Різка, гравіювання, фрезерування, згинання, формування;
- акриловий пластик не чутливий до хімічно агресивних речовин за винятком концентрованих сильних кислот і власного розчинника - хлорвуглеводнів;
- матеріал гігієнічний, тому може використовуватися для кухні, для ванної та навіть при спорудженні акваріумів.[21]

Зовнішній вигляд акрилового пластику наведено на рис.3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд акрилового пластику товщиною 3мм

3.1.2 Опис механізму поворотного столу

Обертання фізичного об'єкта сканування здійснюється за допомогою крокового двигуна моделі 17HS8401 (рис. 3.2), що може обертати вал з роздільною здатністю 1.8° , це відповідно дорівнює 200 крокам на оберт, що забезпечує високу точність позиціонування каретки.[22]

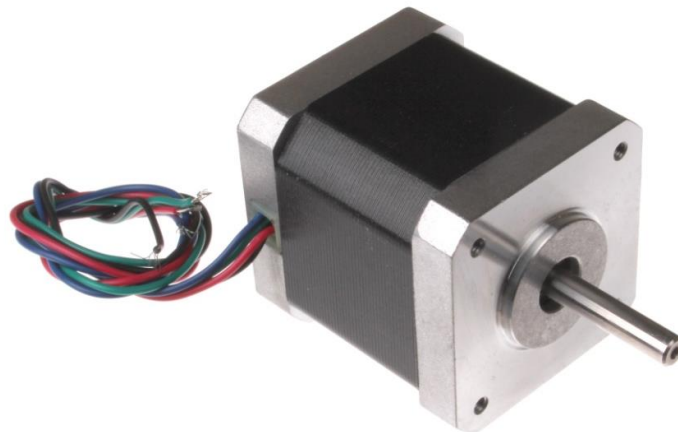


Рисунок 3.2 - Кроковий двигун типорозміру Nema 17

Двигун з'єднується з основою поворотного столу, зробленою з акрилового пластику. Це дає змогу обертати скануючий об'єкт на 360° та отримувати повне облако точок фізичної моделі сканування.

3.1.3 Опис блоку електроніки

Електронна частина сканера представляє собою сукупність елементів для керування процесом сканування. Цей вузол може бути виконаний як однією платою, так і сукупністю плат. Приведемо функції, які має виконувати даний елемент:

- прийом та обробка даних з ПК;
- керування двигуном;
- керування лазером;
- живлення від мережі 220 В 50 Гц.

Проаналізувавши існуючі прототипи сканерів для тривимірного сканування, було прийнято рішення використовувати багатоплатну систему керування, оскільки це полегшує ремонтпридатність та передбачає можливість модифікації.

Умовно їх можна поділити на такі частини:

- плата обробки даних;
- комутаційна плата;
- плата драйверу крокового двигуна.

Для обробки даних використано плату для радіоконструювання Arduino UNO (рис.3.3) [23].

Характеристики друкованого вузла наведені в табл. 3.3.

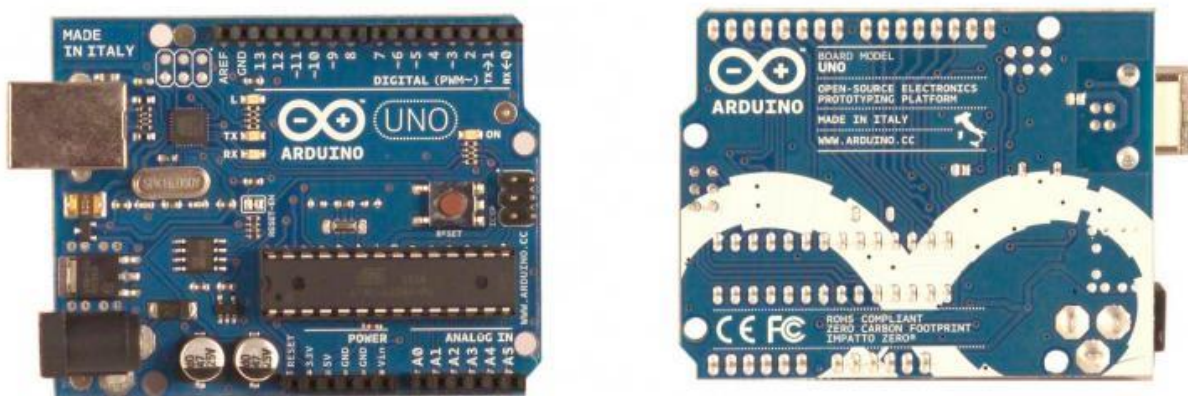


Рисунок 3.3 - Зовнішній вигляд Arduino UNO

Таблиця 3.3 - Характеристики друкованого вузла

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5 В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (максимальна)	6-20В
Цифрові входи/виходи	14 (6 можуть використовуватись в якості ШІМ-виводів)
Максимальний вихідний струм одного виводу	40 мА
Максимальний вихідний струм	50 мА
Flash- пам'ять	32 КБ із яких 0,5КБ використовується завантажувачем
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц

Для роботи плати Arduino UNO з кроковим двигуном, було обрано плату драйвера крокового двигуна L298N. Зовнішній вигляд плати наведено на рис. 3.4.

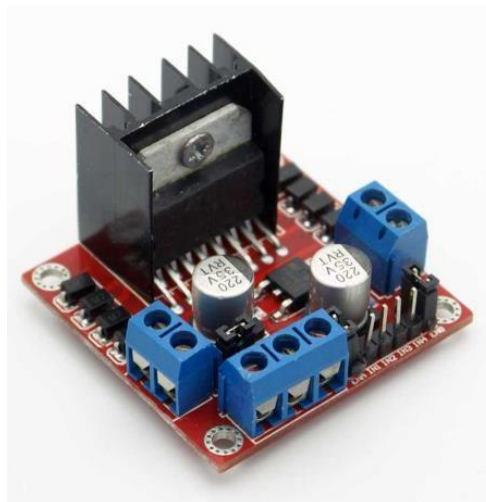


Рисунок 3.4 – Драйвер крокового двигуна L298N

Драйвер двигуна L298N використовується для управління двома двигунами постійного струму або 4-х дротяним двофазним кроковим двигуном, а також обмотками реле в діапазоні напруг 5-35 В. Модуль можна закріпити на плоскій поверхні за допомогою гвинтів. Для цього на платі передбачено чотири отвори.[22] Технічні характеристики модуля наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики модуля L298N

Напруга роботи логіки, В	5
Струм логіки, мА	0...36
Напруга живлення драйвера, В	5...36
Робочий струм драйвера, А	2
Максимальне споживання енергії, Вт	25
Робоча температура, °С	-20...+135

3.1.4 Опис лазерного випромінювача

Одним з головних компонентів для роботи тривимірного сканеру є лазерний випромінювач. Лазерний модуль Laser Module 5 мВт 650 нм Red генерує випромінювання в 650 нм діапазоні (червоний колір) з максимальною постійною потужністю 5 мВт.[24] Зовнішній вигляд лазерного випромінювача наведено на рис.3.5. Технічні характеристики лазерного випромінювача наведено в табл.3.5.



Рисунок 3.5 – Лазерний випромінювач

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики лазерного випромінювача

Напруга живлення	5В
Випромінювання потужність	5мВт
Споживаюча потужність	58мВт
Діапазон випромінювання	650nm
Робоча температура	-30...+65 ° С

3.1.5 Опис камери приймача

Камера приймач – це елемент тривимірного сканеру, який приймає відбиті лазерні промені від об'єкта сканування.

Основним параметром при виборі камери приймача для тривимірного сканування є якість з якою камера може робити знімки. Тому була обрана камера фірми Logitech моделі C270. 1.3-мегапіксельна матриця Logitech C270 видає "картинку" з роздільною здатністю 1280x720 пікселів.[25] Зовнішній вигляд камери наведено на рис.3.6. Технічні характеристики камери наведено в табл.3.6.



Рисунок 3.6 – Камера Logitech C270

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики камери Logitech C270

Число мегапікселів матриці	1.3Мп
Роздільна здатність	1280x720
Частота кадрів	30 кадрів/секунду

Таким чином, запропонована конструкція 3D сканера відповідає поставленим вимогам естетики, ергономіки, надійності та технологічності, тому може бути використана при серійному виробництві таких пристроїв.

3.2 Налагодження та тестування програмного забезпечення FabScan

Для початку роботи з тривимірним сканером необхідно встановити обране з порівнянь програмне забезпечення. Провівши порівняльні характеристики різного програмного забезпечення, була обрана програма для тривимірного сканування Fabscan.

Для установки програми потрібно завантажити образ «FabScan Ubuntu Live DVD», після установки з'явиться програмне забезпечення FabScan. Для початку роботи у програмі потрібно зробити деякі налаштування:

- спершу потрібно вибрати SerialPort;
- далі вибираємо Camera;
- після цього File - Control Panel;
- потім тиснемо detect laser і вибираємо «enable» (при цьому ставити ніяких об'єктів перед лазером не потрібно).[26]

На рис 3.7 та 3.8 наведено вікна програмного забезпечення FabScan з вибором потрібних налаштувань.

Після цього тиснемо «Fetch Frame», при цьому синя горизонтальна лінія повинна стосуватися нижній частині обертового столу. Жовта лінія повинна бути по центру стола. Якщо камера буде встановлена неправильно, то зображення буде поганої якості. Розмежування лініями наведено на рис 3.9 та 3.10.

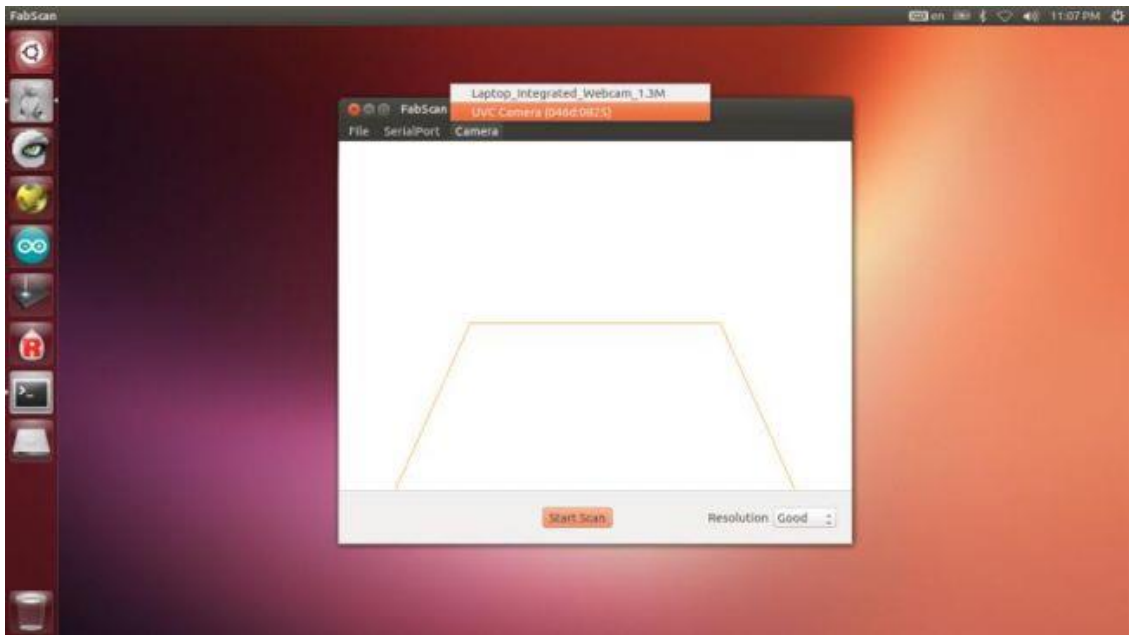


Рисунок 3.7 – Вікно вибору камери для сканування

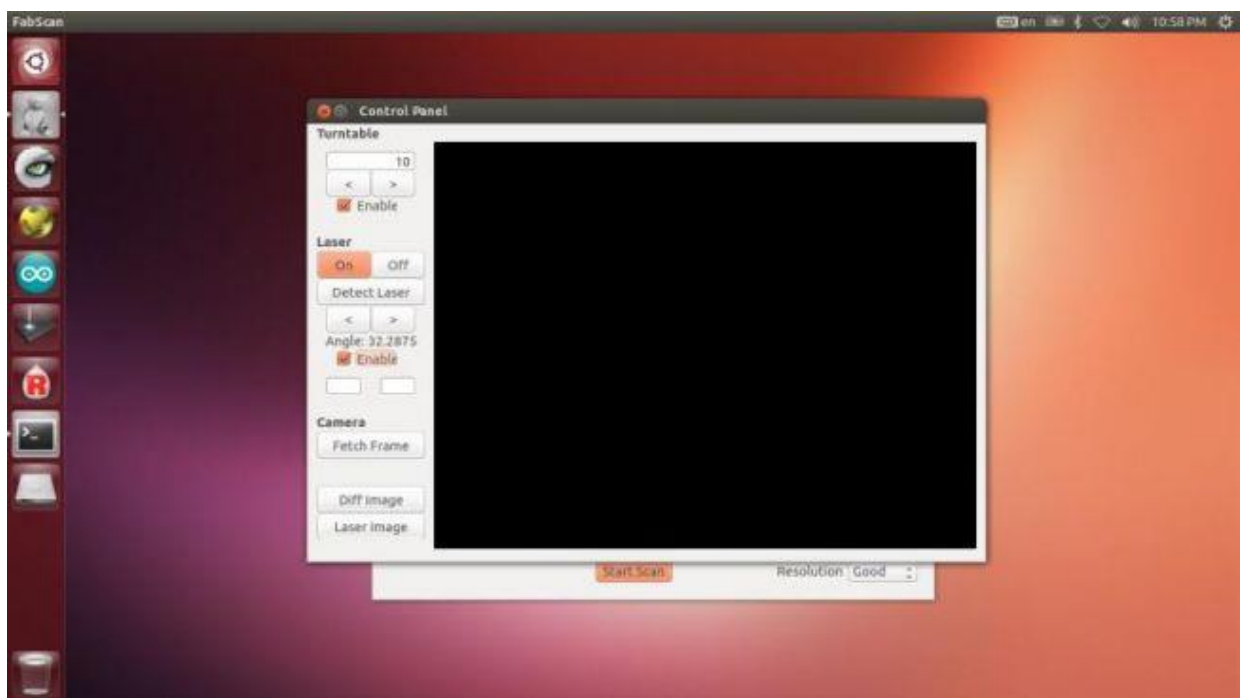


Рисунок 3.8 – Вікно ввімкнення лазера

Після встановлення усіх налаштувань потрібно натиснути кнопку «Сканування» та зберегти відсканований об'єкт.



Рисунок 3.9 – Встановлення червоної лінії лазера

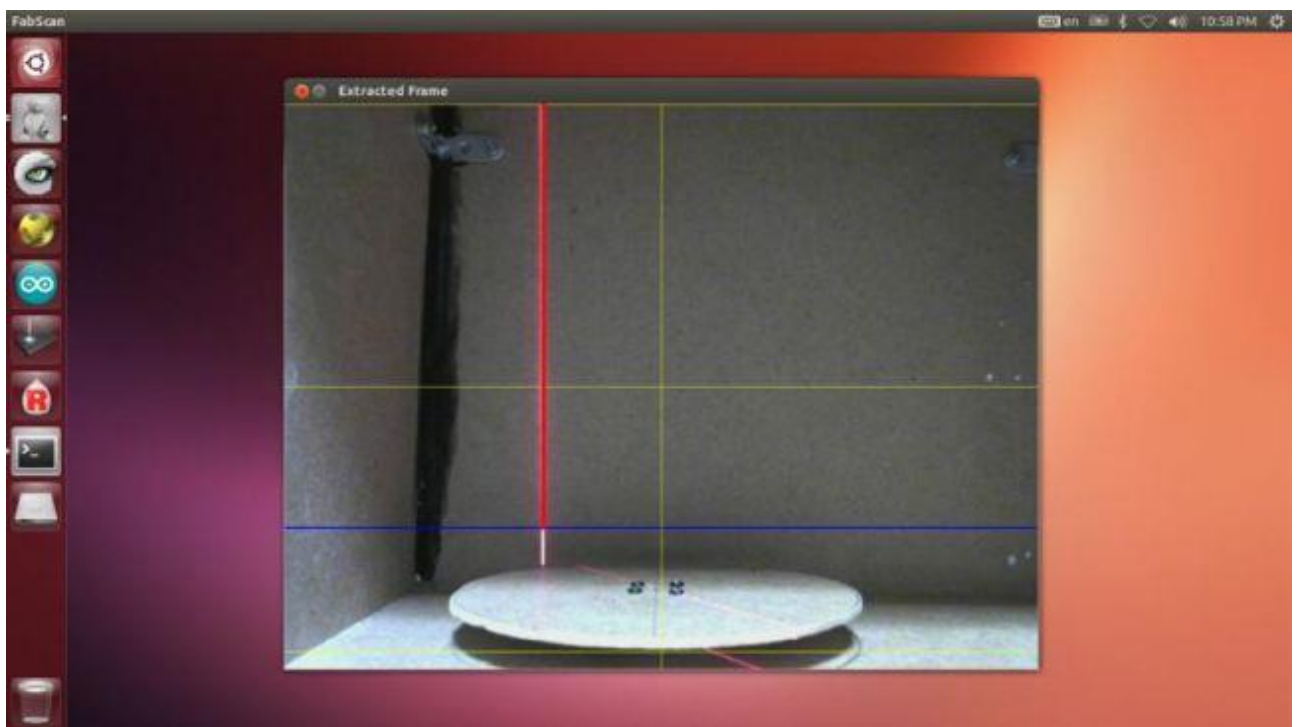


Рисунок 3.10 – Встановлення жовтої та синьої ліній

Для збереження 3D файлу потрібно натиснути: Меню: Файл-> SavePointCloud, потім введіть ім'я файла. PCD або filename.PLY і виберіть правильний формат файлу зі списку.

Для того щоб зберегти файл у форматі STL: Меню: Файл-> Експорт .STL, а потім введіть ім'я файла.STL

Постобробка відсканованого об'єкту відбувається за допомогою MeshLab. Експортуємо pointcloud як .ply в меню File / Save PointCloud ... і виберіть формат файлу .ply. Відкриваємо експортовану хмара точок в MeshLab. У MeshLab обчислюємо нормалі (Фільтри / Набір точок / Обчисліть нормалі для наборів точок), після чого відновлюємо поверхню за допомогою відновлення Пуассона (Фільтри / Набір точок / Відновлення поверхні: Пуассон) та отримуємо готовий тривимірний об'єкт.[26] Приклад тривимірного об'єкту наведено на рис 3.11 та 3.12.

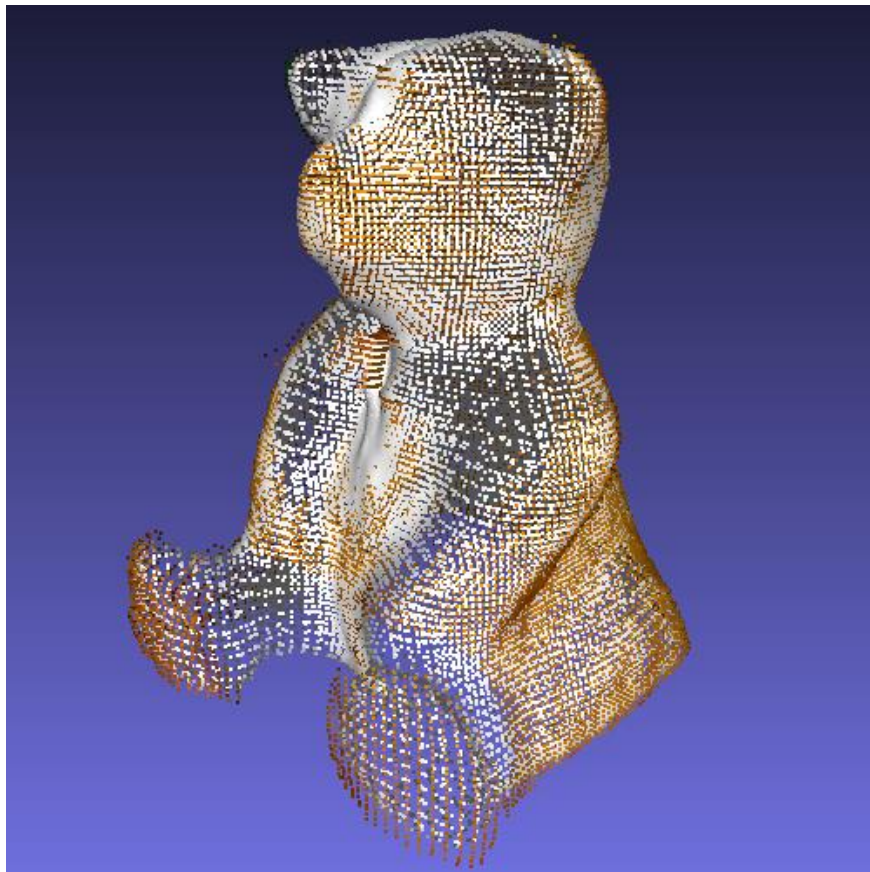


Рисунок 3.11 – Облако точок до обробки

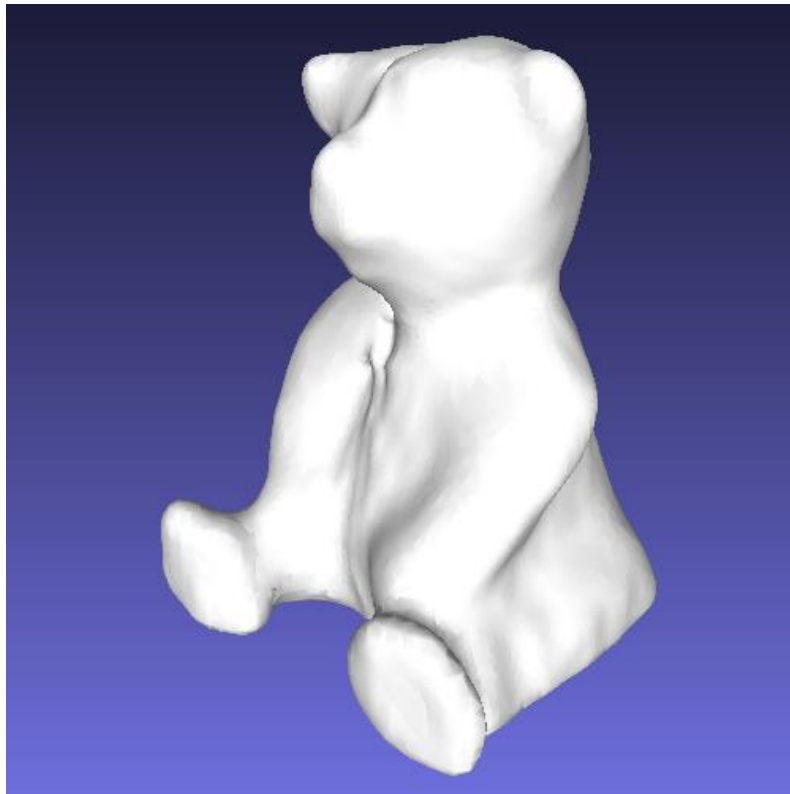


Рисунок 3.12 – Тривимірна модель об’єкта після обробки «Відновлення Пуассона»

3.3 Математичне обґрунтування вибору матеріалів конструкції

Основною задачею вибору матеріалів конструкції сканеру, є покращення результатів тривимірного сканування. Головним компонентом сканування є лазерний промінь який відбивається від об’єкта та приймається камерою-приймачем. Одним з головних параметрів які впливають на точність та якість побудови хмари точок є оточуючий простір у яком сканується об’єкт. Лазерний промінь, є світлом у спектровому діапазоні 600-700 нм, що дорівнює червоному кольору.[27]

Світло — електромагнітні хвилі видимого спектру. До видимого діапазону належать електромагнітні хвилі в інтервалі частот, що сприймаються людським оком, тобто з довжиною хвилі від 390 до 750 нанометрів.

Камера-приймач фіксує відбиті червоні промені від об’єкту сканування а також від оточуючої середи у якій знаходиться об’єкт сканування. Для

отримання більш точної хмари точок після проведення сканування, було порівняно три матеріалу для виготовлення рами сканера що оточує скануючи модель. Кожний матеріал в залежності від його кольору по різному відбиває лазерний промінь а також поглинає його.

Колір є наслідком взаємодії матеріалів зі світлом, в результаті якого, відбувається поглинання частини світлових променів певної довжини хвилі. Світловий промінь являє собою потік фотонів - окремих порцій (квантів) електромагнітної енергії величина яких, виражається рівнянням Планка На рис. 3.13 наведено діапазон довжини хвилі кожного з видимого спектру кольорів. [27]

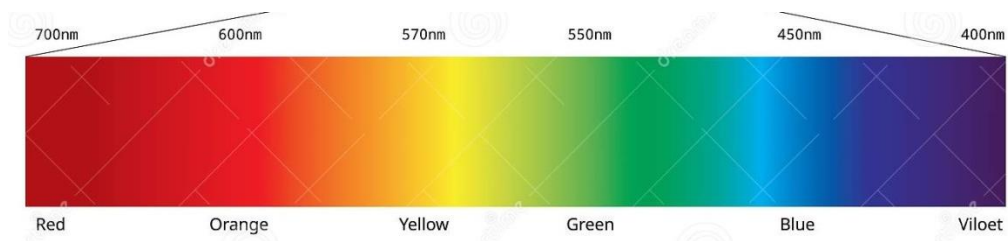


Рисунок 3.13 – Видимий спектр кольорів

Рама тривимірного сканера будується з акрилового пластика чорного кольору. Головною особливістю чорного кольору матеріалу є його здатність поглинати світло, зокрема червоне світло яке випромінюється лазером. У таблиці 3.4 наведено параметри поглинання світла, поверхнею різного кольору.

Таблиця 3.7 - Поглинання світла поверхнею різного кольору

Колір поверхні	Коефіцієнт поглинання
Біла глянцева поверхня	0.25 – 0.40
Зелена, Червона, Коричнева	0.50 – 0.70
Сіра	0.40 – 0.50
Темно-коричнева, Синя	0.70 – 0.80
Темно-синя, Чорна	0.80 – 0.90

Конструкція тривимірного сканеру основана на рамі з акрилового пластику чорного кольору з коефіцієнтом поглинання 0.90 та товщиною 3 мм, лазерний промінь, що падає на поглинаючий шар дорівнює 4,2 лм.

Для уточнення характеристик поглинання світла рамою корпусу проведемо розрахунок світлового потоку, що поглинається поверхнями різного кольору за формулою (3.1):

$$I = I_0 e^{-al} \quad (3.1)$$

Де I_0 – світловий потік, що падає на поглинаючий шар;

l – товщина шару речовини;

a – коефіцієнт поглинання речовини.

Для проведення розрахунків обрано три кольору акрилового пластику: чорний, білий, червоний. Результати розрахунків наведено у табл.3.8.

Як видно із табл.3.8, світловий потік, що проходить через корпус із акрилу товщиною 3 мм в значній мірі залежить від кольору використаного пластику. У зв'язку з цим проектування тривимірного сканеру, а саме вибір кольорового рішення корпусу, має враховувати не лише естетичні вподобання, але і технічні параметри через особливості розповсюдження лазерних променів крізь корпус.

Таблиця 3.8 – Результати розрахунків коефіцієнта поглинання поверхнею

Колір	Зменшення світлового потоку, %
Чорний	60
Білий	8
Червоний	25

Виходячи з вище наведеного, рекомендуємо обирати для корпусних деталей тривимірного сканеру з акрилового пластику, що виготовляється за ГОСТ 10667-90. Має ідеально рівну, гладеньку і глянцеву поверхню, може бути як прозорий, так кольоровий або матовою. Нами обрано чорний колір акрилового

пластику, через те, що такий вибір дозволяє розроблюваному пристрою формувати хмару точок з більшою точністю, що сприяє побудові тривимірних моделей аналізуємих об'єктів з високою точністю.

4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

4.1 Планування науково-дослідницької роботи

Основна умова раціонального планування НДР - скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних і грошових ресурсів.

Для цього необхідно вирішити такі завдання з планування НДР: визначення трудомісткості та тривалості; складання мережного графіка виконання; визначення витрат на проведення.

4.2 Визначення трудомісткості та тривалості НДР

Весь комплекс науково-дослідної роботи можна розділити на типові етапи. По кожному етапу вказуються виконавці і трудомісткість або тривалість виконання робіт.

Трудомісткість НДР розраховується в нормо-годинах або людино-днях витрат робочого часу основних виконавців і залежить від складності розробки та ступеня її новизни, кваліфікації виконавців, наявності у них навичок дослідницької роботи, від використовуваних матеріалів, вимог надійності, технічних умов комплектуючих схем і т. д.

Розрахунок тривалості виконання НДР і кожного її етапу знаходимо відповідно до кількості виконавців по кожному етапу за формулою:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R \cdot K_{\text{в.н.}}}, \quad (4.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, днів;

Q – трудомісткість робіт, люд.-годин;

R – кількість виконавців, людей;

$K_{\text{в.н.}}$ – плановий коефіцієнт виконання норм на відрядження роботах,

$$K_{в.н.} = 1,05 \dots 1,1.$$

Тривалість виконання НДР та кожного з її етапів приведена в табл. 4.1.

$$K_{в.н.} = 1,05 \dots 1,1.$$

Тривалість виконання НДР та кожного з її етапів приведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1- Тривалість етапів НДР

Етап НДР	Трудомісткість		Виконавці		Тривалість днів
	Люди но-днів	% по підсум- ку	Спеціальність	Кіль- кість людей	
1	2	3	4	5	6
1. Отримання технічного завдання	2	2,4	Ведучий інженер	1	2
2. Огляд літературних джерел	3	3,52	Інженер	1	3
3. Обґрунтування актуальності	3	6,52	Ведучий інженер	1	3
4. Огляд Застосування 3D сканера	4	7,7	Інженер	1	4
5. Аналіз матеріалів та технологій	4	4,7	Інженер - технолог	1	4
6. Розробка конструкції	6	10,06	Інженер – конструктор	1	9
7. Опис розробленої конструкції	6	8,06	Інженер – конструктор	1	9
8. Інструкція з експлуатації	4	6,7	Інженер - технолог	1	6
9. Дослідження сканера при використанні лазерної технології	7	8,7	Інженер - технолог	1	10
10. Опис програмного забезпечення	5	4,7	Інженер – проектувальник	1	4

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
11. Аналіз характеристик отриманих 3D об'єктів	6	11,76	Ведучий - інженер	1	10
12. Розробка рекомендацій щодо використання сканеру	10	12,26	Інженер – конструктор	1	10
13. Визначення кошторисної вартості проведення робіт	4	4,7	Консультант з економіки.	1	4
14. Розробка питань з охорони праці	4	4,7	Консультант по ОТ	1	4
15. Висновки	3	3,52	Інженер	1	3
Разом	85	100	-	7	85

У ряді випадків важко встановити загальну тривалість робіт. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. Їх трудомісткість і тривалість залежить від безлічі факторів, передбачити які неможливо. У таких випадках використовують імовірнісні оцінки часу. Ці оцінки зазвичай виражаються в днях і є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання етапу робіт за формулою:

$$t_{i\alpha} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (4.2)$$

де $t_{i\alpha}$ - очікувана оптимальна оцінка часу виконання роботи, днів;

$t_{\min}$ - мінімально необхідний час на виконання роботи по найбільш сприятливих умов, днів;

$t_{\max}$ - максимальні витрати часу на виконання роботи при несприятливих умовах, днів.

Ступінь правильності визначення $t_{о.ж}$ перевіряють розрахунком дисперсії (розкиду між мінімальною і максимальною оцінками часу виконання робіт), яка визначається за формулою:

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{5} \right)^2 \quad (4.3)$$

Розрахунок $\sigma^2(t)$ и $t_{о.ж}$ приведений в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Оцінка тривалості і трудомісткості робіт

Етапи НДР	Оцінка часу, днів			Дисперсія	Виконавці	
	min	max	оч		Спеціальність	Кількість людей
1	2	3	4	5	6	7
1. Отримання технічного завдання	1	3	2	0,16	Ведучий інженер	1
2. Огляд літературних джерел	2	4	3	0,16	Інженер	1
3. Обґрунтування актуальності	2	4	3	0,16	Ведучий інженер	1
4. Огляд Застосування 3D сканера	3	5	4	0,16	Інженер	1
5. Аналіз технологій	3	5	4	0,16	Інженер - технолог	1
6. Розробка конструкції	5	7	6	0,16	Інженер - конструктор	1
7. Опис розробленої конструкції 3D сканера	5	7	6	0,16	Інженер - конструктор	1
8. Інструкція з експлуатації під час запуску	3	5	4	0,16	Інженер - технолог	1

Продовження табл. 4.2

9. Дослідження роботи 3D сканеру при використанні лазерної технології	9	11	10	0,16	Інженер - технолог	1
10. Опис програмного забезпечення	3	5	4	0,16	Інженер - проектувальник	1
11. Аналіз характеристик отриманих 3D об'єктів	3	5	4	0,16	Інженер - конструктор	1
12. Розробка рекомендацій щодо використання сканеру	3	5	4	0,16	Консультант з економіки.	1
13. Визначення кошторисної вартості проведення робіт	9	11	10	0,16	Консультант по ОТ	1
14. Розробка питань з охорони праці	3	5	4	0,16	Інженер	1
15. Висновки	3	5	4	0,16	Інженер - конструктор	1

4.2.1 Складання мережевого графіка

Мережевий графік є інформаційно-динамічною моделлю, в якій зображаються взаємозв'язки і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети розробки.

При побудові мережевого графіка використовуються два графічні елементи: роботи і події.

Робота - це процес, що вимагає витрат часу, наявності виконавців і матеріальних ресурсів. На графіці роботи зображаються стрілками.

Подіями називають результати проведення робіт, формулювання події завжди записується в довершній формі, що не допускає різного тлумачення.

На графіці подію зображають колом в якому указують порядковий номер події.

До основних параметрів мережевого графіка відносять: критичний шлях, резерви часу подій і резерви часу робіт. Ці параметри є результатними для аналізу і оптимізації мережі.

Перелік робіт мережного графіка наведені в табл. 4.3. У табл. 4.4 наведені параметри подій з розробки проекту

Розрахунки параметрів робіт і параметри шляхів мережного графіка наведені в табл. 4.5 і 4.6.

Таблиця 4.3 - Перелік робіт мережевого графіка

№	Найменування роботи	Код роботи	Тривалість
1	2	3	4
1	Отримання технічного завдання	1-2	2
2	Огляд літературних джерел	2-3	3
3	Обґрунтування актуальності	3-4	3
4	Огляд Застосування 3D сканера	4-5	4
5	Аналіз технологій	5-6	4
6	Розробка конструкції	5-7	6
7	Опис розробленої конструкції 3D сканера	6-8	6
8	Інструкція з експлуатації під час запуску обладнання	7-9	4
9	Дослідження роботи 3D сканеру при використанні лазерної технології	8-10	10
10	Опис програмного забезпечення	9-11	4
11	Аналіз характеристик отриманих 3D об'єктів	10-12	10
12	Розробка рекомендацій щодо використання сканеру	11-12	4
13	Визначення кошторисної вартості проведення робіт	14-15	4
14	Розробка питань з охорони праці	15-16	4
15	Висновки	16-17	3

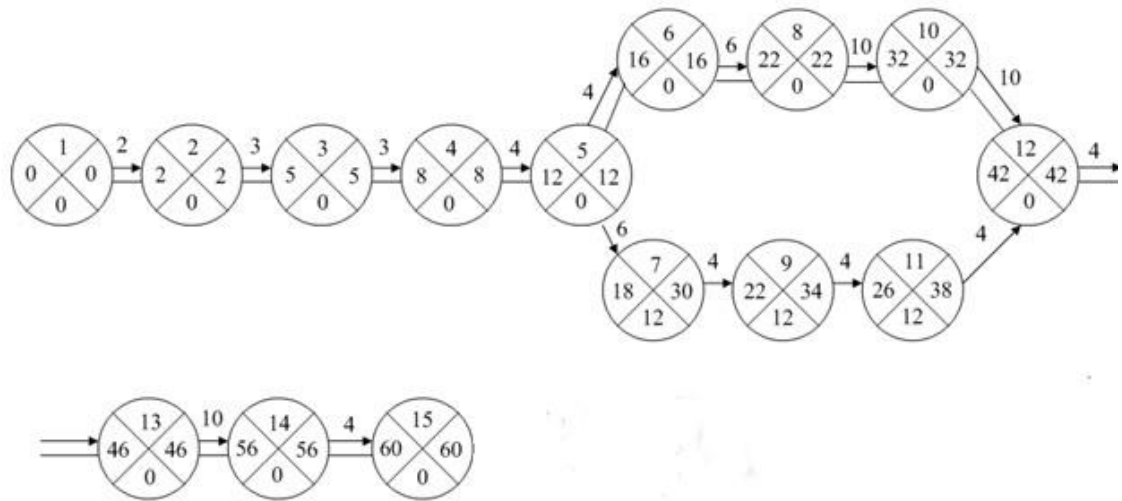


Рисунок 4.1- Мережевий графік плану виконання робіт

Для заповнення табл. 4.4 необхідно розрахувати наступні дані:

t_i^p - ранній термін настання події;

t_i^n - пізній термін настання події;

R_i – резерв часу події.

Таблиця 4.4 – Параметри подій

Кількість попередніх робіт	Номер події	t_i^p	t_i^n	R_i
0	1	0	0	0
1	2	2	2	0
2	3	5	5	0
3	4	8	8	0
4	5	12	12	0
5	6	16	16	0
6	7	18	30	12
7	8	22	22	0
8	9	22	34	12
9	10	32	32	0
10	11	26	38	12
11	12	42	42	0
12	13	46	46	0
13	14	56	56	0
14	15	60	60	0

Для заповнення табл. 4.5 необхідно розрахувати наступні дані:

- t_{ij} – тривалість виконання роботи $i-j$, днів;
- tr_n – ранній термін початку роботи, днів;
- tr_o – ранній термін закінчення роботи, днів;
- tp_n – пізній термін початку роботи, днів;
- tp_o – пізній термін закінчення роботи, днів;
- R_p – повний резерв часу, днів;
- R_v – вільний резерв часу, днів.

Таблиця 4.5 - Параметри робіт

Код роботи	t_{ij}	tr_n	tp_n	tr_o	tp_o	R_p	R_v
1-2	2	0	0	2	2	0	0
2-3	3	2	2	5	5	0	0
3-4	3	5	5	8	8	0	0
4-5	4	8	8	12	12	0	0
5-6	4	12	12	16	16	0	0
5-7	6	12	24	18	30	12	12
6-8	6	16	16	22	22	0	0
7-9	4	18	30	22	34	12	12
8-10	10	22	22	32	32	0	0
9-11	4	22	34	26	38	12	12
10-12	10	32	32	42	42	0	0
11-12	4	26	38	30	42	12	12
12-13	4	42	42	46	46	0	0
13-14	10	46	46	56	56	0	0
14-15	4	56	56	60	60	0	0

Таблиця 4.6—Параметри шляхів

Номер шляху	Номер події	Довжина шляху	Резерв шляху	K_n
1	1-2-3-4-5-6-8-10-12-13-14-15	60	0	1
2	1-2-3-4-5-7-9-11-12-13-14-15	55	36	0.53

Розрахунок коефіцієнта навантаження:

$$K_{\text{нн}} = \frac{Li - Lik_i}{Liq - Lik_i}$$

$$K_{\text{н1}} = \frac{55 - 41}{67 - 41} = 0.53$$

В даному випадку згідно з розрахунками таблиці критичним є шлях № 1. Мінімізували виконання робіт на 25 днів.

4.3 Визначення витрат на розробку тривимірного принтера

Для визначення витрат на розробку програми складають калькуляцію кошторисної вартості робіт, що включає статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на соціальне страхування і до інших фондів;
- матеріали і комплектуючі вироби (за вирахуванням вартості зворотніх відходів);
- витрати на відрядження;
- витрати на спеціальне устаткування;
- вартість послуг сторонніх організацій;
- інші прямі витрати;
- накладні витрати;
- плановий прибуток.
-

4.3.1 Розрахунок заробітної плати

Розрахуємо заробітну плату всіх категорій працівників, які безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів НДР. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу. Результати розрахунку занесені в табл. 4.7. Кошторис НДР наведено в табл. 4.8.

Сума з основної заробітної плати становить 25553грн. Додаткова плата приймається 12% від основної заробітної плати, що становить 3066,36грн. Підсумкова сума заробітної плати 28619,25.

Відрахування на соціальне страхування -22%

$$ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,22 = 28619,25 \cdot 0,22 = 6296 \text{ грн}$$

$$P_{\text{накл}} = З_{\text{осн}} \cdot Н_{\text{накл.}} = 25553 \cdot 0,3 = 7665 \text{ грн}$$

Таблиця 4.7 – Основна заробітна плата

Посада виконавців	Кількість людей	Місячний оклад, грн.	Зайня тість, дн.	Середньоден на зарплата, грн.	Сумарна зарплата, грн.
Ведучий інженер	1	6000	36	200	7200
Інженер	1	4700	20	156	3100
Інженер - технолог	1	5200	20	175,5	3510
Інженер – конструктор	1	5500	27	200	5400
Інженер – проектувальник	1	4900	18	195	3510
Консультант з економіки.	1	4300	10	143,3	1433
Консультант по ОТ	1	4200	10	140	1400
Разом	7	34800	85	-	25553

Таблиця 4.8 – Кошторис затрат на виконання НДР

Стаття затрат	Сума, грн.	Структура, %
Матеріали	2156,7	9,45
Основна заробітна плата	25553	33,15
Додаткова заробітна плата	3066,36	3,97
Витрати на енергоресурси	293	0,39

Продовження таблиці 4.8

Відрахування на соціальні заходи	6296	13,74
Витрати на амортизацію	3017,15	6,11
Накладні витрати	7665	33,15
Разом	65839,04	100

4.3.1 Визначення витрат на матеріали

У цю статтю включають вартість основних і допоміжних матеріалів, напівфабрикатів, що купуються, і комплектуючих виробів. Транспортно-заготовчі витрати приймають рівними 3-10% від вартості матеріалів.

Вихідні дані і розрахунок вартості матеріалів занесемо в табл. 4.7.

Таблиця 4.9 - Витрати на матеріали

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.
Arduino Uno	шт.	1	120	120
Ramps 1.4	шт.	1	362	362
Двигун	шт.	1	252	252
Драйвер двигуна	шт.	1	143	143
Лінійні кулькопідшипники	шт.	2	30	60
Кулькопідшипники	шт.	1	25	25
Лазер	шт.	1	85	85
Листовий МДФ	Лист 2800x2070	1	350	350
Блок живлення	шт.	1	57	57
Веб камера	шт.	1	600	600
Разом				2054
Транспортно-підготовчі роботи 5%				102,7
Разом матеріальних затрат				2156,7

4.3.2 Розрахунок витрат на електроенергію

Для розрахунку витрат на електроенергію використовуємо формулу:

$$E = \frac{P_y \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{\epsilon} \cdot C_e}{KKД}, \quad (4.4)$$

де:

P_y - встановлена потужність енергетичних струмоприймачів обладнання, кВт;

Φ_{ef} - ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, год;

K_{ϵ} - Коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу (0,8);

C_e - Ціна 1кВт год електроенергії (2,68 грн. (3 ПДВ));

$KKД = 0,8$.

$$E = \frac{0,45 \cdot 289,44 \cdot 0,8 \cdot 1,8}{0,8} + \frac{0,03 \cdot 45 \cdot 3,62 \cdot 1,8}{0,8} = 293 \text{ грн}$$

Розрахунок витрати електроенергії приведені в табл. 4.10

Таблиця 4.10 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Найменування обладнання	Вид енерго-ресурсів	Установлена потужність, P_y , кВт	Тривалість використання Φ_{ef} , ч.	Тариф, за кВт час, грн.	Вартість енерго-ресурсів, грн.
Комп'ютер	Е/енергія	0,45	240	2,68	289
Сканер	Е/енергія	0,03	45		4
Разом					293

4.3.3 Розрахунок вартості спецобладнання

До спеціального обладнання належить таке обладнання, яке використовується тільки для проведення окремої дослідницької роботи. Вартість спеціального обладнання для проведення НДР визначають на підставі їх кількості, цін по прейскурантах. Результати розрахунку занесені в табл. 4.11. Результати розрахунку амортизаційних відрахувань наведень в табл. 4.12.

Таблиця 4.11 - Розрахунок вартості спецобладнання

Обладнання	Кількість на тему	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	1	9000	9000
Принтер	1	2500	2500
Разом			11500
Транспортно-підготовчі роботи 5%			575
Разом			12075

Таблиця 4.12 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %.	Зайнятість обладнання ч.	Ефективний річний фонд часу, ч.	Сума, грн.
Комп'ютер	9000	50	680	1860	1645
Принтер	2500	50	680		456
Разом					2101

4.4 Розрахунок економічної ефективності НДР

Для теоретичних досліджень в більшості випадків важко або навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їх техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників: значимість дослідження для промисловості; складність розробки.

Значимість теоретичного дослідження оцінюють за його призначенням: вирішення проблемних питань; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень тощо.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів цього дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з урахуванням фінансових і трудових витрат на їх проведення.

Результативність проекту можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове вирішення) або негативний.

Аналіз залежності між цими показниками і витратами на їх досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичного дослідження за формулою:

$$K = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B \cdot t}, \quad (4.5)$$

де К - рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності проекту);

J - значущість роботи;

R - результативність проекту;

T - технічна складність виконання проекту;

B - витрати на проведення дослідження, грн.;

t - час, витрачений на проведення дослідження, років;

n - показник використання результатів дослідження:

n = 0 - результат дослідження не використовується;

n = 1 - результати дослідження використовуються частково;

n = 2 - результат використовуються в дослідницько-конструкторських роботах;

n = 3 - результати можуть бути використані без проведення дослідно-конструкторських робіт.

Правильно працюючий криптографічний алгоритм дозволяє запобігти велику кількість атак і розкрадання інформації, тому значущість роботи вибираємо = 2; результативність = 3; технічна складність = 2; час, витрачений на проведення дослідження, років $t = 0,23$, а вартість НДР склала 51 тис. грн., $n = 2$ - результат використовуються в дослідницько-конструкторських роботах.

$$K = \frac{2^2 \cdot 3 \cdot 2}{42,3 \cdot 0,23} = 2,4;$$

при значенні $K \geq 1$ дослідна робота є ефективною.

4.5 Розрахунок планового прибутку

Мінімальна величина прибутку повинна забезпечувати внесення до державного і місцевих бюджетів необхідних платежів і утворення фондів економічного стимулювання організації. Величина планового прибутку визначається при продажі розробці програмного продукту стороннім організаціям.

Результати визначення витрат на розробку програми зводять в таблицю 4.13.

Таблиця 4.13 - Калькуляція кошторисної вартості робіт по розробці програми

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
1. Основна заробітна плата	25553	45,38
2. Додаткова заробітна плата	3066,36	5,43
3. Відрахування на соціальне страхування	6296	18,77
4. Матеріали і комплектуючі вироби	2156,7	3,82
5. Витрати на спеціальне устаткування	12075	21,4
6. Вартість послуг сторонніх організацій	293	0,34
7. Інші прямі витрати	200	0,35
8. Накладні витрати	12273,32	4,5
Разом	53184,38	100

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Тема дипломного проекту «Методи та засоби тривимірного сканування», тому розглянемо робоче місце інженера проектувальника.

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 «Система стандартів безпеки праці» [28] виділяються такі небезпечні фізичні та шкідливі виробничі фактори:

- знижена або підвищена температура повітря;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- відсутність або нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;
- знижена контрастність.

Небезпечні психологічні та шкідливі виробничі фактори за характером дії поділяються на:

- фізичні перевантаження;
- нервово-психологічні перевантаження.

Для високопродуктивної роботи інженерно-технічного персоналу в процесі виробництва спроектованого пристрою передбачений наступний комплекс заходів, що виключає фізично небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

При розробці конструкторської документації на інженерів, що працюють на ПК, постійно або періодично діють такі небезпечні й шкідливі фактори:

- забруднення повітря шкідливими речовинами, пилом;
- невідповідність нормам параметрів мікроклімату;
- виникнення на екрані монітора статичних зарядів, що змушують частки пилу рухатися до найближчого заземленого предмету, часто їм виявляється особаоператора;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;

- широкий спектр випромінювання від дисплея;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищений рівень іонізуючих випромінювань (м'яке рентгенівське, гамма випромінювання);
- відсутність або нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена яскравість світла;
- знижена контрастність;
- підвищена пульсація світлового потоку (мерехтіння);
- тривале перебування в тому ж положенні, і повторення тих самих рухів призводить до синдрому тривалих статичних навантажень (СТСН);
- невідповідність ергономічних характеристик обладнання нормованим величинам;
- розумове перенапруження, обумовлена характером вирішуваних завдань призводить до синдрому тривалих психологічних навантажень (СТПН);
- великий обсяг інформації, що переробляється, призводить до значних навантажень на органи зору;
- монотонність роботи;
- нервово-психічні навантаження;
- нервово-емоційні стресові навантаження;
- небезпека виникнення пожежі.

Зупинимося докладніше на недостатній освітленості робочої зони приміщення, де встановлені ПК, а також на вплив підвищеної яскравості світла, зниженою контрастності і підвищеної пульсації світлового потоку.

При роботі на ПК органи зору користувача витримують велике навантаження, причому характер праці є постійно напруженим. Це призводить до порушення функціонального стану зорового аналізатора і центральної нервової системи.

Причинами порушення функціонального стану зорового аналізатора є:

- постійна переадаптація органів зору в умовах наявності в полі зору фону різної яскравості;
- недостатня чіткість і контрастність зображення на екрані;
- постійні миготіння яскравості;
- наявність яскравих плям на клавіатурі і екрані за рахунок відбиття світлового потоку;
- велика різниця між яскравістю робочої поверхні і яскравістю навколишніх предметів;
- наявність рівновіддалених предметів;
- невисока якість вихідної інформації на папері;
- нерівномірна і недостатня освітленість на робочому місці.

Відомо також, що шум несприятливо діє на слуховий аналізатор та інші органи і системи організму людини. Визначальне значення щодо такої дії має інтенсивність шуму, його частотний склад, тривалість щоденного впливу, індивідуальні особливості людини, а також специфіка виробничої діяльності. Ті види діяльності, в яких об'єднується напружена розумова робота і інтенсивне використання обладнання характеризується відчутним впливом навіть незначних рівнів шуму. Цей вплив виражається в зниженні розумової працездатності, швидку стомлюваність, ослаблення уваги, появі головного болю і ін.

5.2 Заходи із забезпечення електричної безпеки

Електробезпека – система збереження життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, пов'язаної з впливом електричного струму і електромагнітних полів [29]. Електробезпека включає в себе правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи. Правила електробезпеки регламентуються правовими і технічними документами, нормативно-технічною

базою. Знання основ електробезпеки обов'язкове для персоналу, що обслуговує електроустановки та електрообладнання.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, для випадкового дотику;
- електричне розділення мережі;
- усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електрообладнання, що досягається захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням;
- застосування малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин застосуванням кожухів, огорожень, подвійної ізоляції;
- захист від небезпеки при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль та профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках належить виконувати наступні організаційні заходи:

- призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;
- оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт;
- організація нагляду за проведенням робіт;
- оформлення закінчення робіт, перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

До технічних заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт належать:

- при проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках чи поблизу них;
- вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії;
- механічне блокування приводів апаратів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка здійснює електропостачання та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт;
- встановлення знаків безпеки та захисних огорож біля струмопровідних частин, що залишаються під напругою і до яких в процесі роботи можливе доторкання або наближення на недопустиму відстань;
- встановлення заземлення (ввімкнення заземлювальних ножів чи встановлення переносних заземлень);
- огороження робочого місця та вивішування плакатів безпеки;

При проведенні робіт на струмопровідних частинах, які знаходяться під напругою та поблизу них:

- виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками зі застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників, використовуваних механізмів та пристосувань.

Для виключення небезпеки враження електричним струмом прилад в умовах експлуатації надійно заземлений до автономного контуру заземлення відповідно до ГОСТ 12.1.030-81 [29] і правилами умов експлуатації. Опір не перевищує 4 Ом.

Проведемо розрахунки току що проходить через тіло людини, яка доторкнулась до заземленого корпусу у момент замикання. З наступними вихідними даними: $U_{\phi} = 220\text{В}$, $Z_{\text{н*п}} = 2Z_{\phi}$, $R_{\text{п}} = R_{\text{е}}$, $Z_{\text{г}} = 0$, $R_{\text{h}} = 1000\text{ Ом}$.

Спочатку визначаємо ток, який проходить через тіло людини при повторному заземленні провода за формулою 5.1

$$I_h = \frac{U_\phi}{3R_h} \quad (5.1)$$

$$I_h = \frac{220}{3 \cdot 1000} = 0,073 \text{ A} \approx 73 \text{ mA}$$

Розрахуємо допустимий час спрацювання захисту. За умов безпеки повинно бути не більше величини яку визначає вираз:

$$t_{\text{відкл.дод}} = 50 / I_h \quad (5.2)$$

$$t_{\text{відкл.дод}} = 50 / 73 = 0,68 \text{ c}$$

Визначаємо для порівняння величину току, який проходить через тіло людини при відсутності повторного заземлення ($R_{\text{п}} = 0$)

$$I_h = \frac{2U_\phi}{3R_h} \quad (5.3)$$

$$I_h = \frac{2 \cdot 220}{3 \cdot 1000} = 0,146 \text{ A} \approx 146 \text{ mA}$$

Для того щоб гарантувати безпеку у цьому випадку максимально допустимий час роботи захисту повинен бути у два рази менше, тобто:

$$t_{\text{відкл.дод}} = 50 / 146 = 0,34 \text{ c}$$

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для нормальної експлуатації машин електронної та обчислювальної техніки і високопродуктивної праці робітників та інженерно-технічного персоналу в процесі проектування пристрою передбачений наступний комплекс заходів:

- оздоровлення повітряного середовища;
- застосування оптимального освітлення;
- створення оптимальних умов праці на робочому місці;
- зниження психоемоційного та фізичного навантаження.

Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря приміщення, в якому розташовано КБ відповідає вимогам ГОСТ 12.1.005 – 88 [30]. В приміщенні

застосовано систему кондиціонування, а також регулярно проводиться провітрювання. В приміщенні регулярно здійснюється вологе прибирання.

Відповідно до СНиП II – 4 – 79 в приміщенні застосовано змішаний тип освітлення, що відповідає II-III – му розряду зорової роботи. В якості штучного джерела освітлення застосовано лампи денного світла, які разом із світильниками вмонтовано в стелю. В світлий період доби в основному застосовується природне освітлення, що забезпечується наявністю вікон. При необхідності (захист від прямих сонячних променів), вікна закривають жалюзі. Надвечір, або в похмуру погоду персонал вмикає штучне освітлення.

Правильна організація робочого місця - створення на робочому місці необхідних умов для продуктивної роботи та виконання роботи (операції) високої якості при найбільш повному використанні устаткування, розтрата фізичної та емоційної енергії працівника, підвищення змисловності та привабливості роботи, збереження здоров'я працюючих.

При розміщенні обладнання витримувати необхідні розміри проміжків між обладнанням, відстаней від стін, які повинні забезпечувати свободу пересування людей, зручність виконання робіт і безпеку працюючих; робочі місця операторів ПК, а так само ділянки підготовки технічних носіїв інформації повинні мати у своєму розташуванні ряди; розташування місць може бути дворядним, трирядним, чотирирядний; розташування рядів може бути прямим і поперечним.

Організація кожного робочого місця має свої специфічні особливості, які залежать від характеру виконаної роботи, кваліфікація працівника тощо. З погляду на специфіку верстата, робоче місце організовують так, щоб використовувати раціональні прийоми роботи й експлуатації машини при найменшому числі рухів оператора та зручним спостереженням за обробленим матеріалом.

На організацію роботи на підприємстві впливають конструкція і параметри основного і допоміжного обладнання, які зобов'язані відповідати вимогам ергономіки: оптимальному розподілу функцій у системі людина - машина; відповідальності конструкції обладнання антропометричні психофізіологічним

даними організму працюючого; дотримуючись допустимих показників продуктивного середовища і санітарно-гігієнічних умов праці, а так само безпеки експлуатаційного обладнання.

Конструкція робочого столу зобов'язана забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні (обладнання) з розрахунком його кількості та конструктивних особливостей характеру виконаної роботи.

Висота робочої поверхні столу повинна регулюватися у межах 680-800 мм, при відсутності такої можливості висота робочої поверхні столу повинна складати 725 мм. Модульними розмірами робочої поверхні столу для принтера, розраховуються конструктивні розміри, слід вважати: ширину 800, 1000, 1200, 1400 мм, глибину 800 і 1000 мм при нерегульованій його висоті, що дорівнює 725 мм.

Робочий стіл повинен мати простір для підставки ніг, яка має висоту не менше 450 мм і на рівні простягнутої ноги - не менше 650 мм.

Конструкція робочого столу (крісла) зобов'язана підтримувати раціональну робочу позу при роботі з принтером, дозволяють змінювати позу з метою зниження статистичної напруги м'язів шийно - плечової частини і спини для попередження втоми.

Робочий стілець (крісло) повинен бути підйомно - поворотним і регульованим по висоті і кутам. Нахили сидіння і спинки, а так само відстані від переднього краю сидіння.

Конструкція стільця зобов'язана забезпечувати максимум результатів праці. Досягти цього можна, лише опанувавши раціональні методи і прийоми праці на робочому місці. Тільки вони дозволяють виконати задану роботу якісно, у мінімальний термін і без зайвої напруги.

Специфіка роботи таких працівників вважає в великих зорових навантаженнях разом з маленькою активністю, монотонністю виконаних операцій, вимушеною робочою позою. Ці фактори негативно відображаються на самопочутті працюючого.

Встановлено, що раціоналізацією прийомів і рухів на робочому місці, трудомісткість може бути знижена на 10-15%, а ефективність праці в цілому підвищується.

При організації робочого місця дуже важливим фактором є робоча поза працівника, тобто положення його корпусу, голови, рук і ніг щодо знарядь праці. Якщо працівник працює сидячи, йому необхідно забезпечити правильну і зручну посадку, яка досягається пристроєм опори для спини, рук, ніг, правильною конструкцією сидіння, яке сприяє рівномірному розподілу маси тіла.

Всі матеріальні елементи робочого столу поділяють на предмети постійного, тимчасового користування та з урахуванням цього розташовують у видатному порядку на місцях постійного зберігання це економить трудові рухи і сили працюючого.

Робоче місце має бути обладнане підставкою для ніг, що має ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм, регулювання по висоті в межах до 150 мм і по куту нахилу опорної поверхні підставки до 200. Підставка повинна мати рифлену поверхню і мати на передньому краї бортик висотою 10мм.

Клавіатуру комп'ютера краще розташовувати на відстані 10-15 мм від краю столу, тоді зап'ястя рук будуть спиратися на стіл. Бажано придбати спеціальну підставку під зап'ястя, що допоможе уникнути хвороби кистей.

Для ефективного використання маніпулятора типу «миша» необхідний спеціальний «килимok» - планшет. Килимок - планшет повинен задовольняти основними критеріями: добре тримаються на поверхні столу та не обтяжувати рух миші.

Введення текстової інформації з клавіатури полегшують підставки для документів. Вони можуть або кріпитися, наприклад, до монітора, або встановлюватися безпосередньо на столі. Багато підставки оснащені лінійками для виділення рядка, що набирається.

Інструмент, обладнання та предмети праці повинні знаходитися на відстані 560-750 мм на рівні рук працівника, тоді їх використання не призведе до зайвих рухомим нахилам. Важливим елементом раціонального планування робочого

місця є врахування індивідуальних антропометричних психофізіологічних даних працюючого.

Робочі місця обладнують відповідними меблями та інвентарем, що відповідають найбільш комфортабельним умовам роботи і вимагають фізіології, психології та естетики.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежі на підприємстві становлять особливу небезпеку, тому що пов'язані з матеріальними втратами. Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і навколишнього середовища [31].

Найбільш частими причинами пожеж є наступне:

- порушення режимних вимог;
- необережне поводження з вогнем;
- порушення технологічних інструкцій;
- самозаймання і самозапалювання;
- розряди статичної та атмосферної електрики;
- несправність і неправильна експлуатація устаткування.

Усі працівники при прийомі на роботу щорічно за місцем роботи проходять інструктажі з питань пожежної безпеки.

Одним із важливих заходів щодо пожежної безпеки є установка в приміщенні пожежної сигналізації. Вона дає можливість швидко погасити вогнище загоряння. У приміщенні встановлено променеві електричні системи сигналізації ЕПС типу ТОЛ 10/100 на 10-100 променів. В якості оповіщувачів застосовані теплові і димові оповіщувачів типу КД-1.

При виявленні диму або запаху горілої ізоляції негайно зняти напругу живлення і застосувати заходи щодо виявлення та усунення причин і наслідків несправностей.

Будівля, в якій розташовано ділянку КБ, відноситься до категорії "Д" і відповідає СНиП II-2-80 "Протипожежних норми проектування будинків та споруд". Клас пожежі А, Е; Ступінь вогнестійкості не нижче III.

При проектуванні нових і реконструкції будинків необхідно дотримуватися заходи пожежної профілактики (СНиП 2.02.02 - 85 "Протипожежні норми проектування будинків та споруд").

Для гасіння осередків вогню в приміщенні знаходяться два вуглекислотні вогнегасника типу ВВК-3.5. Даний тип вогнегасників рекомендується застосовувати для гасіння пожеж у замкнутому просторі, при невеликих розмірах вогнища горіння, для гасіння електроустановок.

5.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Евакуація проводиться на державному, регіональному, місцевому або об'єктовій рівні. Залежно від особливостей надзвичайної ситуації встановлюються різні види евакуації:

- обов'язкова;
- загальна або часткова;
- тимчасова або безповоротна.

Рішення про проведення евакуації приймають:

- на державному рівні - Кабінет Міністрів України;
- на регіональному рівні - обласні державні адміністрації;
- на місцевому рівні - районні державні адміністрації та органи місцевого самоврядування;
- на об'єктовому рівні - керівники об'єктів.

У разі виникнення радіаційних аварій рішення про евакуації населення приймається місцевими державними адміністраціями на підставі висновку санітарно-епідеміологічної служби про прогнозовану дозу опромінення населення або на підставі інформації, отриманої від керівників радіаційно небезпечних об'єктів.[32]

У невідкладних випадках, рішення про проведення екстреної евакуації населення може прийняти керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, а в разі його відсутності - керівник будь-якої аварійно-рятувальної служби, який першим прибув в зону надзвичайної ситуації.

Обов'язкову евакуацію населення проводиться в випадках виникнення наступних загроз:

- аварій з викидом радіоактивних або небезпечних хімічних речовин;
- катастрофічного затоплення місцевості;
- масових лісових і торф'яних пожеж, землетрусів, оползнів, а також інших геологічних і гідрогеологічних явищ і процесів;
- збройних конфліктів (з районів можливих бойових дій в безпечні райони, визначені Міністерством оборони України на особливий період).

Загальна евакуація проводиться для всіх категорій населення з зон:

- можливого радіоактивного та хімічного забруднення;
- катастрофічного затоплення місцевості, для якої час приходу хвилі прориву становить 4 години до руйнування гідротехнічної споруди.

Часткова евакуація проводиться для вивезення тих категорій населення, які за віком або за станом здоров'я, не можуть самостійно евакуюватися, а також осіб, офіційно доглядаючих за ними.

Проведення евакуації забезпечується шляхом:

- створення регіональних, місцевих та об'єктових евакуаційних органів;
- планування евакуації;
- визначення безпечних районів, придатних для розміщення евакуйованого населення і майна;
- організацію оповіщення керівників об'єктів і населення про початок евакуації;
- організації управління евакуацією;
- життєзабезпечення евакуйованого населення в місцях їх безпечного розміщення;
- навчання населення діям при евакуації.

Для вивезення основної частини населення із зони надзвичайної ситуації або районів можливих бойових дій залучаються транспортні засоби об'єктів, а в разі безпосередньої загрози життю або здоров'ю населення - усі наявні транспортні засоби об'єктів і громадян.

Об'єктам і громадянам, транспортні засоби яких підходять для евакуації, компенсуються вартість надання послуг і фактичні витрати на рахунок коштів, що виділяються на ліквідації наслідків надзвичайної ситуації або усунення загрози її виникнення.

Працівники об'єктів, власники, користувачі, водії транспортних засобів, які відмовилися від надання послуг по перевезенню населення в зв'язку з надзвичайною ситуацією, несуть відповідність згідно закону.

Евакуація громадян України, які перебувають на території іноземних держав, в разі виникнення загрози їх життю або здоров'ю, проводиться силами Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Евакуація матеріальних і культурних цінностей проводиться тільки при наявності часу на її проведення.

У містах та інших населених пунктах, де є об'єкти підвищеної безпеки, при неповному забезпеченні захисними спорудами основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його в зонах, безпечних для проживання людей і тварин.

Евакуації підлягає населення, яке проживає в населених пунктах, що знаходяться у районах можливого катастрофічного затоплення, небезпечного радіоактивного забруднення, хімічного ураження, стихійного лиха, аварій і катастроф.

Враховуючи обстановку, що склалась на час надзвичайної ситуації, може бути проведено загальну або часткову евакуацію населення тимчасового або безповоротного характеру.

Загальна евакуація проводиться за рішенням Кабінету Міністрів України для всіх категорій населення і планується на випадок: можливого небезпечного

радіоактивного забруднення територій (при загрозі життю і здоров'ю людей); виникнення загрози катастрофічного затоплення.

Часткова евакуація проводиться за рішенням Кабінету Міністрів України у разі загрози або виникнення надзвичайної ситуації.

Евакуаційні заходи здійснюються Радою Міністрів Автономної Республіки Крим, місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування.

При проведенні часткової евакуації завчасно вивозиться незайняте у виробництві та обслуговуванні населення; діти, учні навчальних закладів, вихованці дитячих будинків, разом з викладачами та вихователями, студенти, пенсіонери та інваліди" які перебувають у будинках для осіб похилого віку, разом з обслуговуючим персоналом і членами їх сімей.

Евакуація населення планується на випадок: аварії на атомній електростанції з можливим радіоактивним забрудненням території; усіх видів аварії з викидом сильнодіючих ядовитих речовин, загрози катастрофічного затоплення місцевості, лісових торфових пожеж, землетрусів, зсувів та інших геофізичних гідрометеорологічних явищ з тяжкими наслідками. У воєнний час — від уражаючих факторів зброї масового ураження, звичайної зброї.

Щоб організовано провести евакуацію, не допустити паніки і загибелі людей необхідно: завчасно планувати евакуацію населення; визначити райони, придатні для розміщення евакуйованих з небезпечних зон; організувати оповіщення керівників підприємств і населення про початок евакуації; організувати управління евакуацією, турбуватись про життєзабезпечення в місцях розміщення евакуйованого населення; організувати навчання дітям під час проведення евакуації.

Евакуація — це упорядковане виведення чи вивезення людей з об'єктів і населених пунктів, перебування в яких стає небезпечним для життя. Основна мета евакуації — забезпечення безпеки кожної людини і всіх. Евакуації підлягають цінності, документація та архівні матеріали.

ВИСНОВОК

В магістерській роботі розглянуто важливу науково - практичну задачу – досліджено методи та засоби тривимірного сканування з метою досягнення оптимальних характеристик відсканованих тривимірних об'єктів.

Розробка конструкції 3D-сканера, що надасть можливість сканувати об'єкти різної форми, текстури поверхні при збереженні невисокої вартості розробленого пристрою є актуальною задачею.

Було проведено огляд існуючих конструкцій 3D сканерів та проаналізовано технології сканування, що використовуються в них. На основі проведеного аналізу було розроблено ряд вимог для розробки власної конструкції 3D сканера. Відповідно до них було спроектовано пристрій, що характеризується відносною дешевизною, простотою складання, стійкістю до зовнішніх впливів.

В роботі було досліджено методи, що використовуються для тривимірного сканування, та технології сканування. Після проведення порівняння було обрано матеріал рами корпусу акриловий пластик, через його відносну дешевизну, легкість та задовільні характеристики поглинання випромінювання. Чорний колір пов'язаний з тим, що такий вибір дозволяє розроблюваному пристрою формувати хмару точок з більшою точністю, що сприяє побудові тривимірних моделей аналізованих об'єктів з високою точністю.

У якості технології було обрано лазерну технологію тривимірного сканування завдяки її високій точності сканування та простоті реалізації конструктивних елементів сканера.

Під час використання лазерного методу реєструються відбиті промені від об'єкта. На основі даного метода сканування пропонуємо побудувати конструкцію тривимірного сканера, що містить у своєму складі корпус, поворотну основу стола, пристрій випромінювання лазерного променя, камеру приймач та мікроконтролер ATmega, який керує процесами сканування.

Запропонована конструкція тривимірного сканеру дозволяє отримувати тривимірні моделі високої точності. Проведені розрахунки показали, що при використанні акрилового пластику чорного кольору, ми отримуємо коефіцієнт поглинання червоного лазерного променя на рівні 60%. Через те, що більша частина лазерного променя поглинається рамою корпусу, камера-приймач фіксує тільки відбиті промені від фізичного об'єкту сканування. Це дозволяє будувати більш точну хмару точок, а отже, і будувати тривимірні моделі високої точності.

Конструкція відповідає технологічним нормам виготовлення, нормам кліматичного виконання УХЛ, нормам естетики та ергономіки, а також нормам електрозахисту.

Було проаналізовано економічну частину виготовлення тривимірного сканеру, та розраховано НДР. За результатами розрахунків отримано, що коефіцієнт $K \geq 1$, це свідчить про те, що дослідна робота є ефективною.

[3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F.](#)

- 11 Polygon Editing Tool [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.konicaminolta.com/instruments/download/software/3d/pet/index.html>.
- 12 Rapidform [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://plmpedia.ru/wiki/Rapidform>.
- 13 Geomagic Studio [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://sapr.ru/article/23261>.
- 14 Horus [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-company-bq-released-a-program-for-3dscanning-horus-and-3d-scanner-/>.
- 15 3D Scanner: FabScan Pi [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.instructables.com/id/3D-Scanner-FabScan-Pi/>.
- 16 ГОСТ 15150-69 Исполнение для различных климатических районов [Текст] – Введ. 1971–01–01. – М. : ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 1969. – 58 с. : ил.
- 17 Конструирование радиоэлектронной аппаратуры [Текст] – Введ. 1972-0212. – Л. : ЭНЕРГИЯ, 1972. 232 с. : ил.
- 18 Гелль, П.П. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. Учебник для вузов. [Текст]/ П.П. Гелль, Н.К. Иванов-Есипович. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 536 с.
- 19 Готра, З.Ю. Справочник регулировщика радиоэлектронной аппаратуры [Текст]/ З.Ю. Готра, В.И. Матвиив, П.П. Паскур. – Львов. : Каменяр, 1984. – 184 с.
- 20 Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / Под ред. И. Н. Жестковой. — 8-е изд., перераб. и доп.. — М.: Машиностроение, 2001. — Т. 2. — 912 с.

- 21 Что такое акриловый пластик и каким он бывает? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://propolikarbonat.ru/akrilovyj-plastik-kakim-byvaet>.
- 22 NEMA 17 Stepper motor [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor
- 23 Arduino Uno [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>.
- 24 650 нм 5 МВт фокусируемая красная линия Лазер [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://ru.banggood.com/650nm-5mW-Focusable-Red-Line-Laser-Module-Generator-Diode-p-1171658.html?cur_warehouse=CN.
- 25 Характеристики Веб-камера Logitech C270 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://technopoint.ru/product/5f794d338a4e526f/veb-kamera-logitech-c270-sale/characteristics/>.
- 26 FabScan - 3D Laser Scanner [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hci.rwth-aachen.de/fabscan-software>.
- 27 4.3.3. Теория цветности [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://chemanalytica.com/book/novyuy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/12_obshchie_svedeniya/6136.
- 28 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы [Текст] – Введ. 1990–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 57 с. : ил.
- 29 ГОСТ 12.1.030-81 Электробезопасность защитное заземление, зануление [Текст] – Введ. 1981–09–01. – М.: Система стандартов безопасности труда, 1979. – 58 с. : ил.
- 30 ГОСТ 12.1.005 – 88 Общие санитарно- гигиенические нормы к воздуху рабочей зоны [Текст] – Введ. 1989–01–01. – М.: Система стандартов безопасности труда, 1988. – 50 с. : ил.
- 31 ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования [Текст] – Введ. 1992–07–01. – М.: Межгосударственный стандарт, 1991. – 72с. ил.

- 32 ДСТУ 3891-99 Безпека у надзвичайних ситуаціях [Текст] – Введ. 1992–07–01. – К.: Державний Стандарт України, 1999. – 22 с. :