

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Оптимізація механічних параметрів 3D-принтера

з кінематикою Cartesian
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. ІТМРТМ-19-1

Бойко Д. О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніки

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Разумов-Фризюк Є. А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніки
Тип програми	освітньо-професійний
Освітня програма	Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Бойко Дмитру Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація механічних параметрів 3D-принтера з кінематикою Cartesian

затверджена наказом по університету від 02.11.2020 р. №1508 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 11.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Габарити конструкції не більше 1000x1000x500 мм;

3.2 Маса не більше ніж 50 кг;

3.3 Кінематика Cartesian;

3.4 Кінематика екструдерів Dual X Carriage;

3.5 Розробити 3D модель принтера;

3.6 Провести комп'ютерну симуляцію механічних впливів;

3.7 Оптимізувати конструкцію 3D принтера з урахуванням проведеного моделювання.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз предметної області;

4.3 Оптимізація механічних параметрів котрі впливають на якість 3D друку;

4.4 Аналіз механічних впливів на конструкцію 3D принтера;

4.5 Охорона праці;

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 23 с. формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	02.11.20	виконано
2	Аналіз завдання	03.11.20	виконано
3	Огляд літературі за темою роботи	05.11.20	виконано
4	Аналіз механічних параметрів	06.11.20 – 09.11.20	виконано
5	Створення 3D-моделі макету	10.11.20 – 16.11.20	виконано
6	Проведення досліджень	17.11.20 – 25.11.20	виконано
7	Оформлення атестаційної роботи	26.11.20 – 03.12.20	виконано
8	Подання на підпис керівнику дипломного	04.12.20	виконано
9	Подання роботи на рецензію	06.12.20	виконано
10	Подання роботи на підпис зав. кафедри	08.12.20	виконано
11	Подання роботи в ЕК	10.12.2020	виконано

Дата видачі завдання 2 листопада 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Бойко Д.О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Разумов-Фризюк Є. А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 102 стор., 59 рис., 22 джерел за переліком посилань.

3D ПРИНТЕРА, 3D, DUAL X CARRIAGE, 3D МОДЕЛЬ, 3D ДРУК, МЕХАНІКА, ЕПЮРА .

Предметом дослідження є технологія 3D друку полімерними матеріалами (нитками).

Об'єкт дослідження – вплив механічних параметрів 3D принтеру на якісні показники друку.

Мета роботи – проведення аналізу розробленої конструкції 3D принтеру з кінематикою Cartesian та проведення експериментальних досліджень з метою виявлення взаємозв'язку між механічними параметрами 3D принтера та якісними показниками деталей, що друкуються на ньому з використанням полімерних матеріалів.

В атестаційній роботі магістра проведена комп'ютерна симуляція механічного впливу на розроблену конструкцію 3D принтера Cartesian.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз вимог технічного завдання, аналіз механічних параметрів, що впливають на якість 3D друку, аналіз механічних впливів на конструкцію 3D принтера, а також аналіз впливу прикладеної механічної сили на розроблену модель 3D принтера з кінематикою Cartesian.

За результатами аналізу механічних параметрів, котрі впливають на якість 3D друку була виконана модернізація конструкції 3D принтера з кінематикою Cartesian, що в свою чергу призвело до оптимізації механічних параметрів та покращення якісних показників надрукованих деталей.

Розглянуто питання охорони праці.

ABSTRACT

Explanatory note to attestation work: 102 pages, 59 fig., 22 sources according to the list of references.

3D PRINTER, 3D, DUAL X CARRIAGE, 3D MODEL, 3D PRINTING, MECHANICS, DRAWING.

The subject of research is the technology of 3D printing with polymeric materials (threads).

The object of research is the influence of mechanical parameters of the 3D printer on the quality of printing.

The purpose of the work is to analyze the developed design of a 3D printer with Cartesian kinematics and conduct experimental studies to identify the relationship between the mechanical parameters of the 3D printer and the quality of the parts printed on it using polymeric materials.

In the master's certification work, a computer simulation of the mechanical impact on the developed design of the Cartesian 3D printer was performed.

To achieve this goal, the analysis of the requirements of the technical task, analysis of mechanical parameters affecting the quality of 3D printing, analysis of mechanical effects on the design of 3D printer, as well as analysis of the impact of applied mechanical force on the developed model of 3D printer with Cartesian kinetics.

According to the results of the analysis of mechanical parameters that affect the quality of 3D printing, the design of the 3D printer with Cartesian kinematics was modernized, which in turn led to the optimization of mechanical parameters and improved quality of printed parts.

The issue of labor protection is considered.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	7
Вступ.....	8
1 Аналіз предметної області	10
1.1 Аналіз видів існуючих кінематик 3D принтерів.....	10
1.2 Аналіз аналогічних пристроїв	25
1.3 Постановка задач дослідження.....	26
1.4 Висновки до 1 розділу.....	27
2 Оптимізація механічних параметрів котрі впливають на якість 3D друку	28
2.1 Аналіз механічних параметрів котрі впливають на якість 3D друку	28
2.2 Модернізація механічних параметрів 3D принтера	41
2.2.1 Модернізація осі X	43
2.2.2 Модернізація осі Y	45
2.2.3 Модернізація осі Z.....	46
2.3 Висновки до 2 розділу.....	48
3 Аналіз механічних впливів на конструкцію 3D принтера	49
3.1 Розробка комп'ютерної моделі розробленої конструкції 3D принтеру ..	49
3.2 Комп'ютерна симуляція механічного впливу на розроблену конструкцію 3D принтеру	52
3.3 Висновки до 3 розділу.....	65
4 Охорона праці.....	66
4.1 Правові та нормативні основи охорони праці в Україні	66
4.2 Аналіз умов праці в лабораторії	67
4.3 Промислова безпека в лабораторії	70
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	71
Висновки.....	73
Перелік джерел посилання	75
Додаток А Демонстраційний матеріал у вигляді презентації.....	78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

3D – автоматизовані системи;

КГП – кульково– гвинтова передача;

ЛМС – людина –машина –система;

ПК – персональний комп’ютер;

ЧПК – числове програмне керування;

ABS – acrylonitrilebutadienestyrene;

CoPet – polyethyleneterephthalate;

DIY – do it yourself;

PLA – polylacticacid, orpolylactide.

ВСТУП

Адитивне виробництво, а саме 3D друк полімерними матеріалами (пластик) на теперішній час отримує все більше розповсюдження. Тривимірні графіка або 3D друк – розділ комп'ютерної графіки, сукупність прийомів і інструментів (як програмних, так і апаратних), покликаних забезпечити просторово – часову безперервність одержуваних зображень. Як правило, 3D – принтери застосовуються для швидкого виготовлення прототипів і використовуються в самих різних областях. Робота з реальними фізичними моделями дає безліч переваг тим, хто застосовує технологію 3D – друку. В першу чергу, це можливість оцінити ергономіку майбутнього виробу, його функціональність і збирання, а також виключити можливість прихованих помилок перед запуском виробу в серію. Таким чином, можна заощадити значну кількість фінансових коштів і часу завдяки скороченню циклу виробництва.

На якісні показники такі як точність, шереховатість, однорідність отриманої деталі впливає велика кількість різноманітних технологічних зовнішніх факторів. Одним з основних технологічних параметрів є механічні параметри 3D принтера. До них відносяться жорсткість, вібрація, наявність люфтів елементах розробленої конструкції.

Таким чином метою роботи є проведення аналізу розробленої конструкції 3D принтеру з кінематикою Cartesian та проведення експериментальних досліджень з метою виявлення взаємозв'язку між механічними параметрами 3D принтера та якісними показниками деталей, що друкуються на ньому з використанням полімерних матеріалів.

Предметом дослідження є технологія 3D друку полімерними матеріалами (нитками).

Об'єкт дослідження – вплив механічних параметрів 3D принтеру на якісні показники друку.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз вимог технічного завдання, аналіз механічних параметрів, що впливають на якість 3D друку, аналіз механічних впливів на конструкцію 3D принтера, а також аналіз впливу прикладеної механічної сили на розроблену модель 3D принтера з кінетикою Certesian.

Атестаційна робота виконана керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [1], згідно ДСТУ 3008 – 15 [2] та методичними вказівками [3].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз видів існуючих кінематик 3D принтерів

Технологія 3D–друку не перестає дивувати своїх послідовників. Широке використання потенціалу тривимірного друку дозволить економити кошти і час, а також підвищити продуктивність. 3D–друк – це інструмент для розширення можливостей. Таким чином, дослідження активно ведуться і можна припустити, що в найближчому майбутньому – років через десять – застосування 3D принтерів дозволить створювати складні тривимірні проєкційні моделі будівель з точністю передачі в 100 мікрон, які особливо актуальні для наукових інститутів, адже тепер можна не тільки робити прототип, а й торкатися до нього в проведених дослідженнях [20].

Аналізуючи наукову літературу з цієї проблеми, не виявили його систематичного висвітлення, хоча багатьма авторами деякі аспекти створення, розвитку та застосування 3D принтерів розглядалися. Наша робота покликана довести правомірність існування технології, яка дозволить виконувати корисні завдання в науці, мистецтві, освіті, ювелірної промисловості і в багатьох інших галузях [22].

Ця позиція і підтверджує актуальність обраної нами теми. Таким чином, проблема дослідження полягає в теоретичному осмисленні проблеми створення та практичного використання 3D принтерів. Об'єктом дослідження є процес створення та ефективність використання кінематики 3D принтерів.

Кінематика – це одна з основних частин механіки, яка розглядає рух тіл без з'ясування причин цього руху. Кінематика відповідає на питання: як рухається тіло [21].

Будь–який 3D принтер має свою кінематичну схему роботи, також кожен принтер має платформу і екструдер, які рухаються відносно один одного. Кінематика в 3D принтері – це схема згідно з якою рухаються екструдер і

платформа. Існує дуже обмежене число кінематичних схем, під які написана прошивка, і які цілком відпрацьовують переміщення.

Найпоширеніша кінематика є кінематика 3D принтера PrusaMendel: принтер побудований таким чином, що екструдер рухається по осі X (вправо–вліво) і по осі Z (вгору–вниз). Стіл ж рухається по осі Y (вперед і назад) – або XZ Head Y Bed, рис. 1.1 [4].

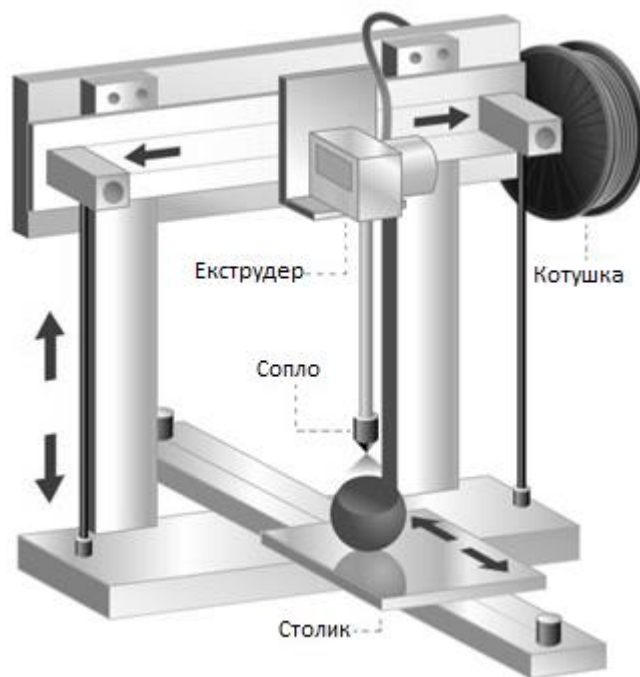


Рисунок 1.1 – Кінематика принтера XZ Head Y Bed

Все досить просто. Однак конструкція має дуже велику кількість кріплень, гайок, гвинтів, які вкрай важливо одночасно тримати налаштованими на правильну геометрію. У разі, якщо не використати різні фіксатори різьби і ідеально налаштували принтер – в підставі ви отримаєте якісний друк. Якщо замінити всі ці хисткі шпильки на цілісні елементи, то результат буде набагато краще. Такий варіант реалізації називається PrusaAir. Є ще Prusa i3 і ще ціла купа варіантів. У тому числі і комбіновані, в яких використовуються і цільні елементи і все ті ж різьбові шпильки. Зібрати (а найголовніше – налаштувати) такий принтер набагато простіше. Та й якість друку буде вже на рівні промислових зразків. Необов'язково робити стінки та інші елементи з акрилу за допомогою

лазерного різання, або фрезерування. Можна обійтися фанерою. Найголовніше – домогтися паралельності / перпендикулярності осей [4]. Головним недолік такої кінематики є рух столика, він рухається тільки по одній осі Y з дуже великою швидкістю і якщо друкувати габаритні об'єкти з вини інерції – це може привести до деламінації, рис. 1.2.

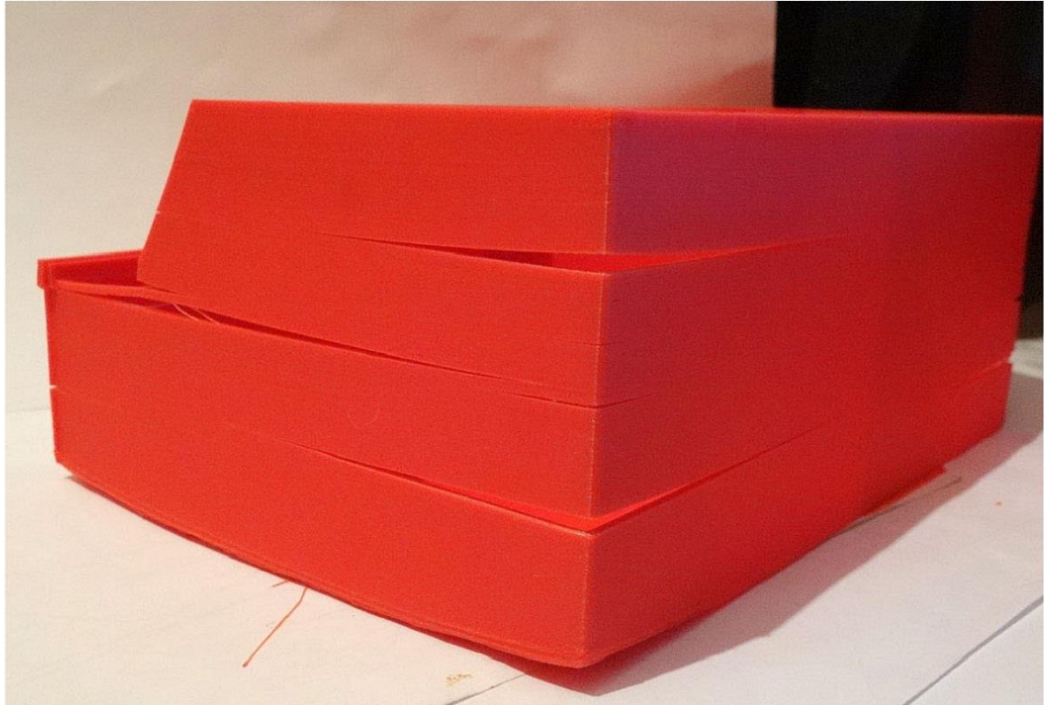


Рисунок 1.2 – Приклад деламінації

Це явище гальмує появу 3D принтерів великого розміру. Користувачі борються з деламінацією застосуванням різних сильних клейових складів, які частково вирішують проблему, але виникає нова проблема – відділення деталі від столу. Чим сильніше адгезія вашого складу тим більше шансів зіпсувати саму деталь і навіть поламати скло при відділенні деталі [5].

Головними перевагами є:

а) незалежне переміщення кожної з осей. Легко зрозуміти яка вісь пропускає кроки. Кінематика перекочувала в принтери від фрезерних ЧПК, тому багато виробників роблять на ній настільні фрезерні верстати, замість екструдера пропонують встановити лазер для гравіювання або різання, шпиндель для фрезерування плат, екструдер для шоколаду або навіть тіста, щоб пекти млинці;

б) кінематика проста. Її дуже просто зібрати;

в) легко змінюється під свої потреби, розмір екструдера має невелике значення, так як він виступає вперед і не заважає руху інших частин. Багато хто ставить другий екструдер, або роблять сопла хитними, що б залишки пластику одного екструдера не залишалися на деталі, при друку другим соплом [6].

Друга схема так само не дуже популярна в сучасному світі. Схема її роботи така, що екструдер рухається по осі X, а платформа по Y і Z, рис. 1.3.

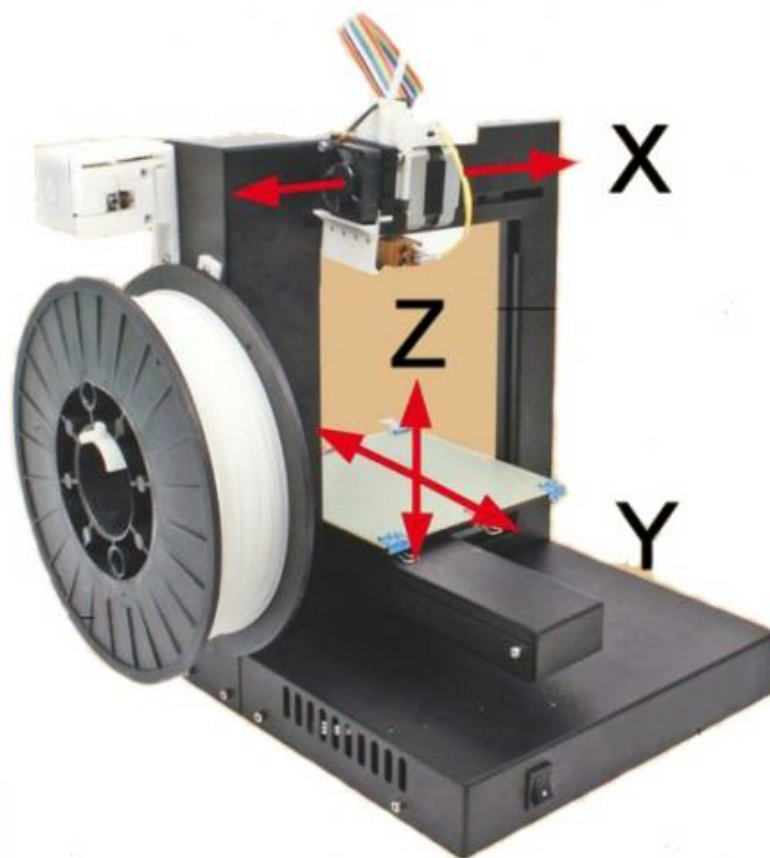


Рисунок 1.3 – Екструдер рухається по осі X, а платформа по Y і Z.

Єдиним успішним представником, який має таку кінематичну схему, є принтер UP від компанії Tiertime. У нього невелика робоча область для друку, але є ряд особливостей, через які UP Mini можна назвати кращим серед інших представників даної кінематики. Модель має металевий корпус з перфорованою платформою яка підігривається, на якій можна друкувати з PLA або навіть ABS пластику.

На UP Mini можна друкувати без необхідності періодичного пере налаштування. Мінуси у цього 3D принтера все ж є: мала область друку (через невеликих розмірів пристрою), працює на ПЗ з закритим кодом, немає можливості контролювати температуру, а значить неможливо буде використовувати дешеві матеріали [8].

Недоліки даної кінематики:

- а) не застосовується альтернативні програми;
- б) настільки невелика різноманітність поєднується з певним ускладненням конструкції, адже переміщати платформу спільно з друкованих об'єктів відразу по 2м осях складно.

Далі Delta, родоначальником якої є Rostock. Кінематика засновано на рухах дельта-робота, рис. 1.4.

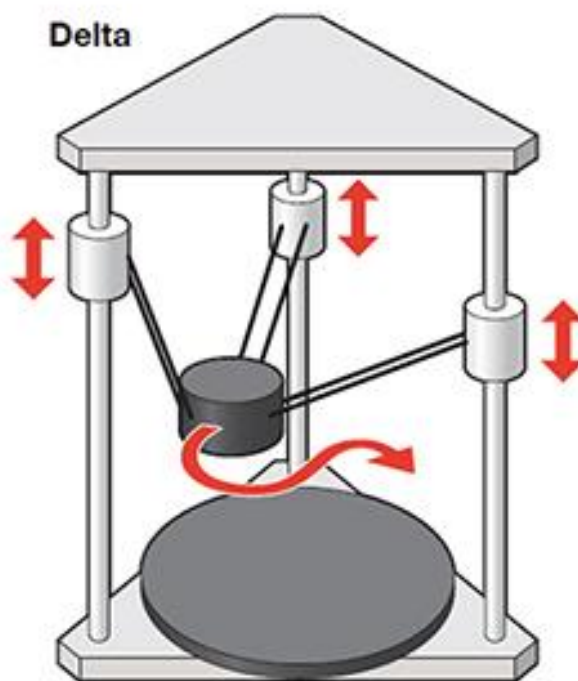


Рисунок 1.4 – Кінематика принтеру Delta

У кінематиці Дельта переміщення друкуючої головки по всіх трьох осях здійснюється за допомогою трьох однакових кареток, що рухаються по вертикальних напрямних. Тримач друкуючої головки завжди розташовується

паралельно площини стола, так як пов'язаний з каретками за допомогою Паралелограмна (пантографічних) механізмів з шарнірними зчленуваннями.

Дельта–принтер є різновидом Дельта–робота.

Конструкція такого принтера базується на трьох абсолютно однакових і взаємозамінних комплектах деталей. До складу кожного комплекту входять:

- а) кроковий двигун з шківом під зубчастий ремінь;
- б) приводний зубчастий ремінь;
- в) верхній натяжна ролик;
- г) вертикальна напрямна для каретки;
- г) кронштейни кріплення напрямних;
- д) каретка;
- е) два важелі з шарнірними кріпленнями [4].

Напрямні для кареток зазвичай є одночасно силовими елементами корпусу принтера. 3D принтер Delta – стіл стоїть міцно зафіксований, а екструдер рухається по всіх трьох осях – мабуть, чи не єдина кінематика, яка має повноправну назву 3D. Пріоритетом в таких принтерах – це велика швидкість. Щоб принтер швидко працював необхідна достатня потужність двигунів. Але є і недолік. Для руху по кожній із осі – в дії повинні прийти всі три двигуни одночасно. У цьому випадку висока ймовірність накопичення сумарної помилки в точності позиціонування, яка, крім всіх нюансів, дуже сильно залежить від наявності люфтів в шарнірах плечей. Щоб позбутися від вищезазначених люфтів зазвичай використовують кульові наконечники [4].

Переваги кінематики Delta:

- а) легко модернізується. Для збільшення висоти досить збільшити довжину профілю, і збільшити максимальну висоту в налаштуваннях;
- б) займає мало місця. Вона частіше висока, ніж громіздка по довжині і ширині, за рахунок цього компактна;
- в) якщо зробити легкий ефектор (каретка, на якій встановлений хотенд), то можна добитися великих швидкостей без втрати якості друку;

г) переміщення по висоті не відрізняється від переміщення по XY. Таким чином, немає залипання лінійних підшипників на переїздах столу, як у Cartesian принтерів, зайвих двигунів, що рухається на балці;

г) відсутність виступаючих частин дає можливість закрити корпус і надати рамі жорсткості.

Недоліки кінематики Delta:

а) складна математика переміщень, рекомендується ставити відразу 32-бітові плати, рис. 1.5;

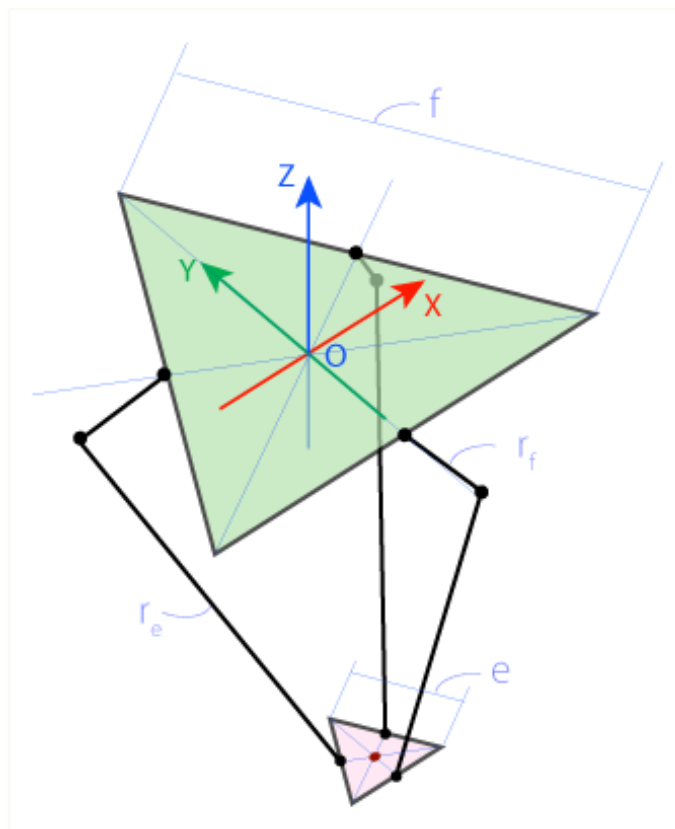


Рисунок 1.5 – Переміщення Delta

б) складна настройка. Часта проблема в налаштуванні – прибрати так звану лінзу, адже кожен стержень обертається з радіусом, і при некоректній настройці площина що друкується буде або опуклою, або увігнутою лінзою;

в) складно і дорого зробити жорстку раму, що б її не розхитувало від постійних рухів кареток;

г) складність установки директ-екструдера. Він виходить важким, а так як багато дельти робляться на магнітах, то не буде можливості розігнатися. Хоча, є одне акуратне і легке рішення – установка готового директ-екструдера з редуктором. Як, наприклад E3D TitanAero або Bondtech BMG;

г) проблеми точності виготовлення деталей – будь-які нерівності буде видно, навіть якщо вони на одній осі. І вони складаються по осях [7].

На сьогодні найпопулярнішою і найбільш використовуваною виробниками 3D принтерів, є кінематика Core XYZ (XY Head Z Bed). Коли екструдер рухається по осях XY, а стіл – по Z [4].

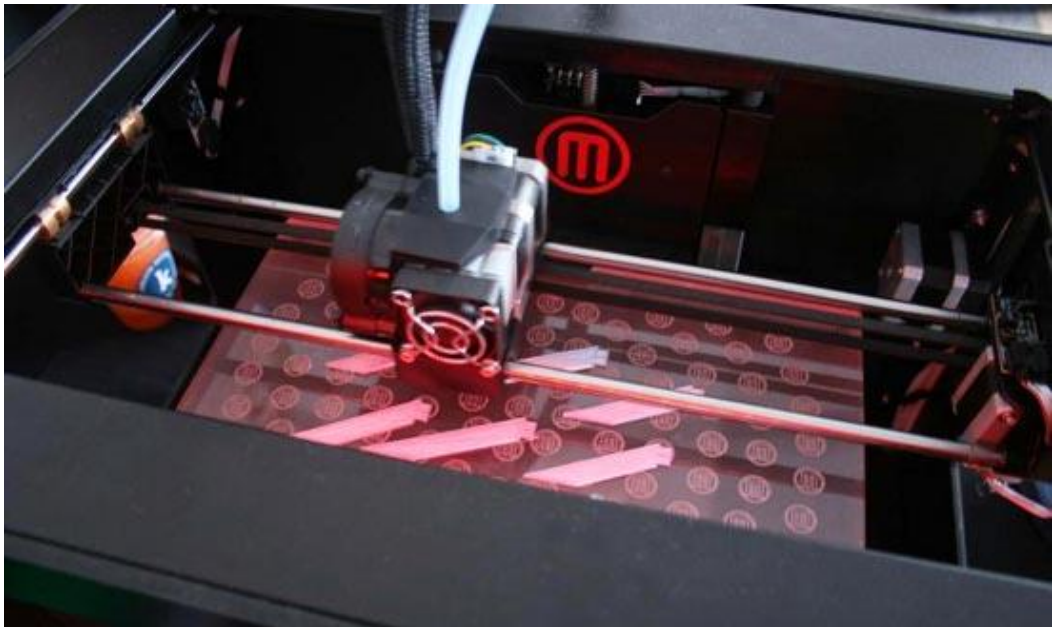


Рисунок 1.6 – MakerbotReplicator

Ну і звичайно, найвідоміша модель, яка реалізувала дану кінематику – це всім відомий MakerbotReplicator, рис. 1.6. За допомогою двох зубчастих ременів двигун осі Y переміщує каретку осі X, на якій закріплений двигун, який, пускає в хід друкуючі голівки. Все ніби як відмінно, але при цьому постійно необхідно пересувати туди-сюди двигун осі X, а це зайва вага, ну і треба завжди стежити за якістю натягу ременів. Всі три окремих ременя обов'язково повинні бути сильно натягнуті. В іншому випадку якісного друку отримати неможливо [4].

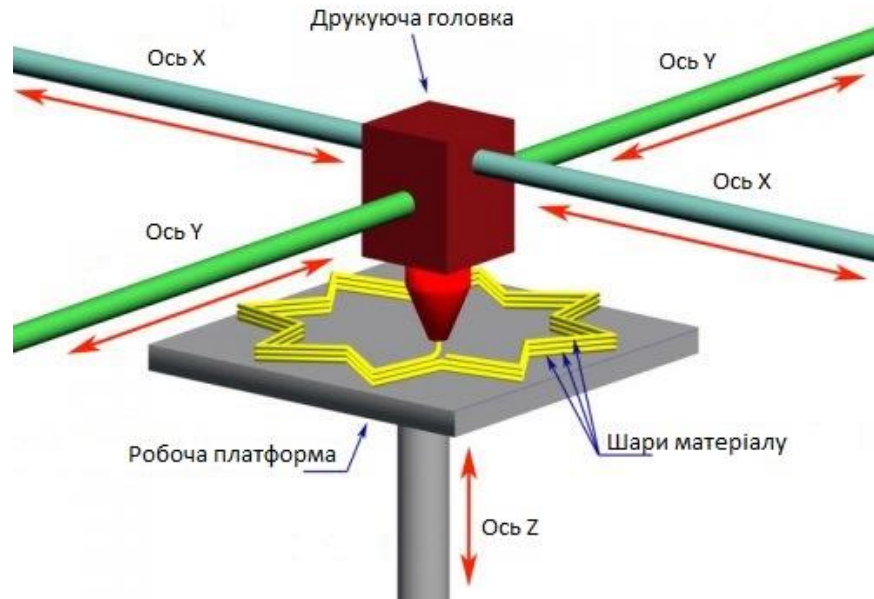


Рисунок 1.7 – Кінематика Core XYZ (XY Head Z Bed)

У MakerbotReplicator є smart-екструдер нового покоління. Конструктивно повністю перероблений, швидкознімний. Така реалізація дозволяє оперативно від'єднувати його для чищення, ремонту або заміни. На додаток, екструдер призупиняє друк, коли закінчується пластик в катушці. І вміє відсилати повідомлення про події, що відбуваються в додатки [6].

У кінематиці 3D принтера Ultimaker двигуни осей XY стоять нерухомо, рис. 1.7. За допомогою чотирьох великих і двох маленьких ременів і гладких загартованих валів починає рухатися друкуюча голова. Як результат – якість друку у 3D принтерів з таким чином побудованої кінематикою, одна з найкращих. Одна з найбільш поширених варіацій Cartesian кінематики. Таких принтерів не дуже багато, але вони є. Варіація від Zortrax заслуговує на увагу, рис. 1.8. Схема кінематики – стандартна для більшості 3D-принтерів. Стіл піднімається по осі Z. Механіка побудована на двох рейкових направляючих, в рух її приводить трапецієподібний гвинт з компенсуючою підпружиненою муфтою. Консоль столу виконана монолітною деталлю і закріплена в каретці по осі Z пазом, які мінімізують можливість розхитування платформи в

майбутньому. У Zortrax встановлені подвійні вали, причина проста – на них стоїть директ екструдер з повно розмірним двигуном Nema 17[6].

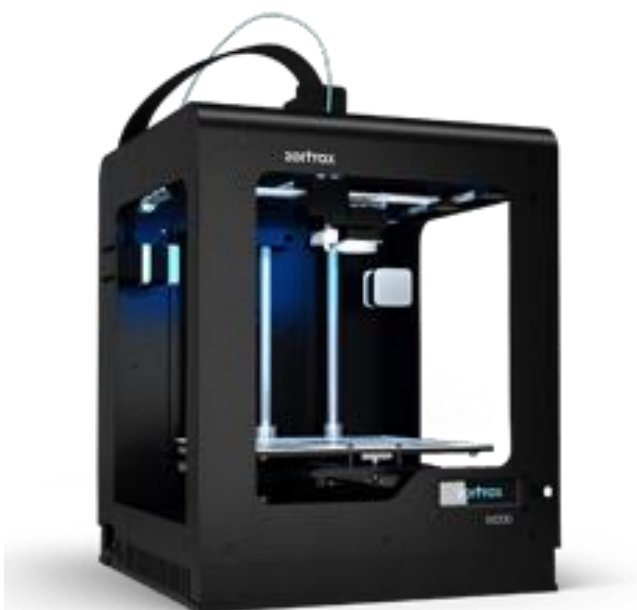


Рисунок 1.8 – 3D Принтер Zortrax

Варіант того ж Raise більш наближений до класики, рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – 3D Принтер Raise

У RaiseDual стоїть подвійний директ екструдер, тому класичні 6 мм вали замінені на 8 мм. А загальна вага становить майже 900 грам. По осі Z з кожного боку встановлені по два вала і КГП гвинт. По осях X і Y 16мм вали. Точність позиціонування по осях X і Y досягає 12,5 мкм. Кінематика побудована повністю на валах. Вони виступають одночасно і як напрямні, і як шківни. Кінематика так само відноситься до Cartesian кінематики з незалежним переміщенням уздовж кожної осі своїм мотором. Дуже вибаглива до прямоти валів. Якщо використовувати криві вали можна отримати нерівності на стінках моделей. І вони будуть за всіма 3 координатами. Найчастіше це виглядає як різна товщина першого шару і невеликі хвилі по стінках. Тому висока ціна оригінальних Ultimaker тільки в якісних комплектуючих. А саме в прямих валах. Ремені використовуються часто кільцеві, що спрощує систему їх натяжки, так як важливо, щоб всі 4 ременя були однаково натягнуті, рис. 1.10 [6].



Рисунок 1.10 – Кільцеві ремені

Переваги кінематики:

а) стіл рухається тільки уздовж однієї осі. Вертикальної. І градієнт температур жодним чином від цього не страждає. Стіл консольний, тому бажано передбачити ребра жорсткості або врахувати це товщиною столу;

б) при всій удаваній складності кінематичної схеми вона проста і кожна вісь переміщується за допомогою свого ж мотора;

в) корпус закритий, що захищає від протягів, і отже деламінації. Деякі для більшого ефекту ставлять акрилові дверцята [7].

Мінуси кінематики:

а) для гарної друку мало купити пачку рівних валів. Зібрати всі ці вали правильно воедино та ще задачка. Заодно і купити хороші підшипники. Якщо підшипники, що ставлять в корпус будуть погано обертатися – друк буде ривками і із зсувом шарів. Так само, купуючи леопардові втулки латунні підшипники з графітовими вставками слід знати, що вони будуть люфтіти. А якщо буде люфт – вся конструкція буде стукати;

б) необхідно виставити правильно всі паралелі валів, рис. 1.11;

в) конструкція не передбачає збільшення області друку за допомогою пари шматок профілю, тому розміри хотенду мають значення. Директ важкувато поставити, але можна при бажанні [7].

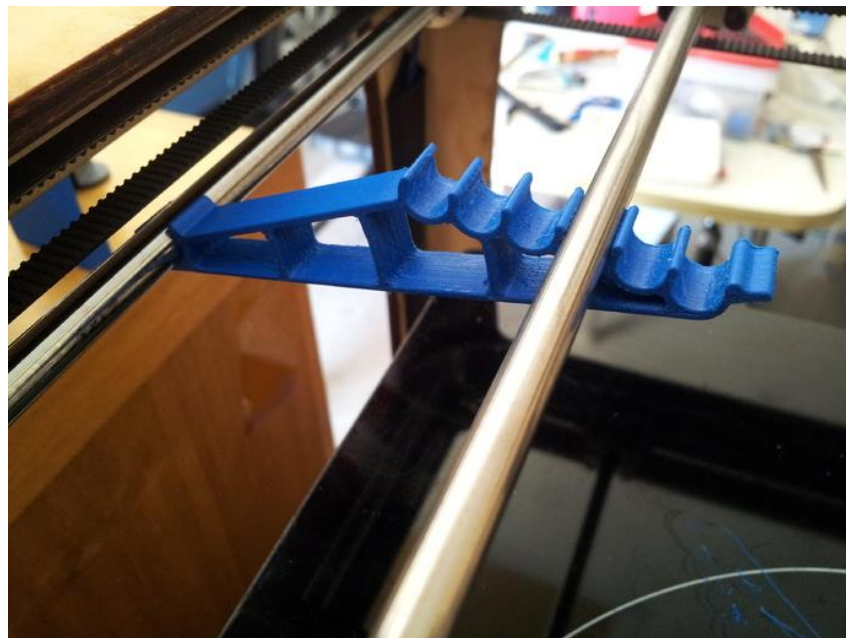


Рисунок 1.11 – Паралель валів

Калібрувати стіл просто. Стіл часто на 3 точках кріплення. Слід переміщати хотенд по 3 точкам і крутимо баранці [7].

Є дуже проста, але нестандартна кінематика 3D принтера – це H-Bot, рис. 1.12. Конструкція передбачає всього один довгий ремінь і не вимагає наявності рухомих моторів. При кінематики H-bot необхідно використовувати армований ремінь. Головне – жорсткість конструкції! Інакше друк буде не якісним.

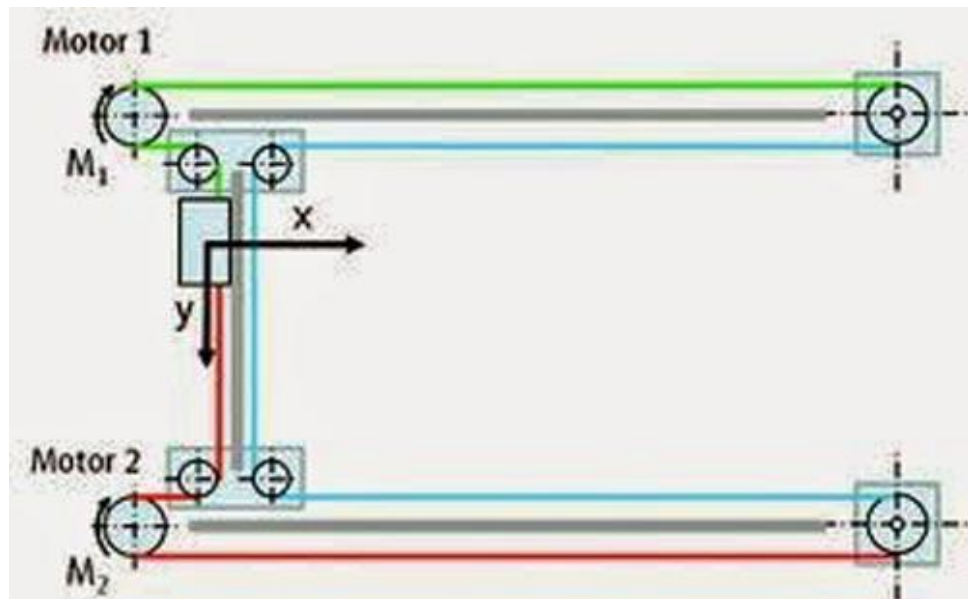


Рисунок 1.12 – Кінематика H-Bot

Основна проблема H-bot криється в тому, що кран балка приводиться в рух одним ременем, при цьому зусилля прикладається лише до одного з кінців кран балки, що призводить до посиленого зносу у жорстких конструкцій і перекосом балки при недостатньо жорсткому конструктиві кінематики [7].

Існують також 3D принтери з кінематикою SCARA, рис. 1.13. SCARA (SelectiveComplianceArticulatedRobotArm) – це кінематика, заснована на важільній системі, що забезпечує переміщення кінцевої ланки в площині за рахунок обертального приводу важелів механізму. Класичний SCARA механізм складається з двох важелів, з'єднаних в одній точці, і 2-х незалежних приводів, один з яких встановлений в зчленні 2-х важелів і обертає їх один щодо одного, а другий встановлений в підставі першого важеля і обертає його щодо робочої площини.

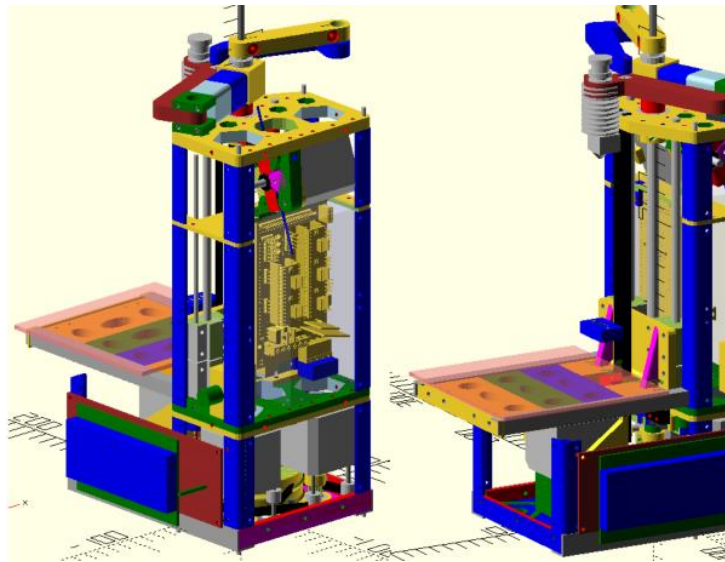


Рисунок 1.13 – Кінематика SCARA

Окремим випадком механізму SCARA є 5-ти важільний механізм SCARA, в якому для переміщення кінцевої точки використовуються 4 важеля і 2 обертових приводу в підставі з незбіжними осями.

Найважливішою характеристикою кінематики SCARA крім корисного навантаження є швидкість виконання заданої операції.

На даний момент 3D принтери з кінематикою SCARA показують дуже високі швидкості переміщення. Як і в разі картезіанського виконання, номінальні робочі швидкості переміщення залежать від потужності приводу і параметрів кінематичних передач (передавальне відношення редуктора). У загальному випадку, SCARA характеризуються більш високою швидкістю в порівнянні з картезіанською механікою і дельта-роботами [9].

Для кінематики, виконаної за принципом SCARA, характерна неоднорідність роздільної здатності переміщення в площині X–Y. Для механізмів SCARA прийнято говорити про градієнті роздільної здатності в заданій площині. Максимальна точність (найменша абсолютна похибка і найбільша роздільна здатність) спостерігається на початку координат (в центрі механізму). У міру віддалення від центру (зі збільшенням довжини важеля, тобто подовженням «руки» SCARA), роздільна здатність погіршується. За рахунок відсутності елементів що розтягуються (приводних ременів) в конструкції,

механізм SCARA характеризується високою повторюваністю результатів переміщення без зміни точності. Це означає, що роботи SCARA можуть виконувати послідовні ідентичні операції без найменших відхилень [9].

Особливістю розглянутих 3D-принтерів є також те, що вони крім осей X і Y рухаються по осі Z, створюючи щось об'ємне. Саме для пересування по осі XY використовується модель SCARA, що має ряд переваг і недоліків. До переваг можна віднести:

а) компактність і розумне співвідношення між габаритами і працездатністю;

б) довговічність через жорсткі і міцних матеріалів, які легко замінюються і ремонтуються;

в) тиша в роботі, яку забезпечують драйвера останніх моделей для крокового привода. Завдяки цьому пристрій може працювати близько 48 годин в одній кімнаті з людьми [10].

Також існує досить нова кінематика 3D принтерів – циліндрична кінематика від ReplicatorWarehouse, модель R-360, рис. 1.14. 3D-принтер розроблений з найменшою кількістю частин, підвищеною надійністю, зниженою ціною. В даному принтері встановлений поворотний стіл.

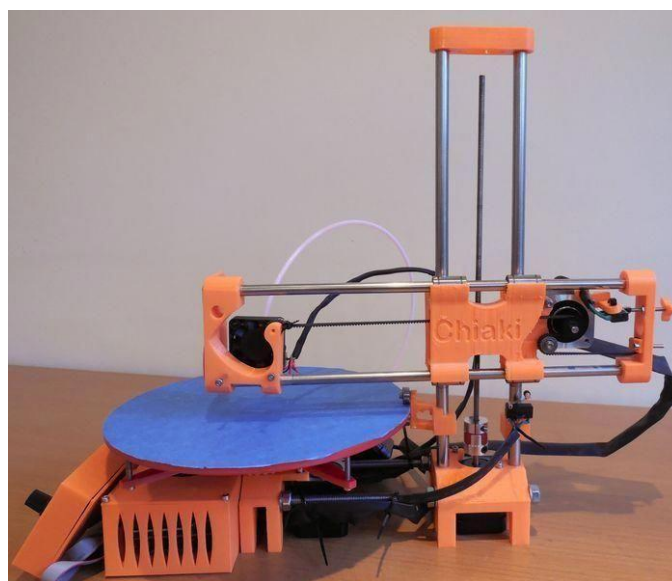


Рисунок 1.14 – 3D Принтер от ReplicatorWarehouse, модель R-360

Подробиці про 3D-принтер R-360:

а) дешево в порівнянні з будь-яким іншим чинним принтером з великим друкованим об'ємом і підвищеною швидкістю;

б) даний 3D-принтер складається з значно меншої кількості деталей, в порівнянні з іншими принтерами, що дає перевагу в легкості зборки даного принтеру;

в) поворотний стіл у вигляді диска обертається на 360 градусів. Це досить нестандартно. Крім того, передбачена незвичайна система стабілізування і вирівнювання обертового столу. Винахід такого поворотного столу допомогло позбутися від зайвих підшипників, ременів, штанг і пластикових деталей;

г) стіл котрий обертається робить його ідеальним для додатків 3D-сканування. Передбачена програмна функція сканування (3D сканер можна придбати окремо);

г) надійний незважаючи на свою легкість. Принтер можна розібрати на частини і легко знову зібрати, складається в невеликий плоский портфель;

д) повністю модульна конструкція, яка дозволяє дуже легко змінювати і модернізувати будь-яку з частин 3D-принтера [11].

1.2 Аналіз аналогічних пристроїв

3D принтер Cartesian – носять назву за мірною системою координат – по осі X, Y і Z – , яка використовується для визначення місця і способу переміщення в трьох вимірах, цей принцип спостерігається в дії на популярних моделях від Ultimaker і MakerBot. Однак існують варіації. Наприклад, PrintrbotSimple замість переміщення друкувальної голівки у просторі XY одна з осей змінюється шляхом переміщення самого шару друку. Це механічно простіша конструкція, і тому її легше підтримувати, але зменшується швидкість друку [12].

MakerBotReplicator має такі переваги як:

а) має Wi-Fi;

б) виробництво допоміжних елементів;

- в) функція Plugandplay;
- г) інтерфейс 802.11n WiFi;
- д) нитка розжарювання діаметром 1,75 мм;
- е) автоматичне калібрування платформи;
- є) друкує в повному кольорі.

Ultimaker має такі переваги:

- а) менші розміри корпусу;
- б) має слот для карт пам'яті.

В свою чергу Cartesian 3D принтер включає в себе усі перелічені переваги. Однією з найбільших переваг Cartesian принтерів є їхня популярність. Оскільки Cartesian принтери є найбільш широко використовуваним типом принтерів, існує набагато більша підтримка для користувачів цих принтерів, ніж для користувачів інших 3D принтерів. Завдяки цьому ремонт та заміна комплектуючих робиться швидко [12].

1.3 Постановка задачі дослідження

В процесі експлуатації першого варіанта 3D принтера було виявлено цілий ряд недоліків, викликаних великими розмірами робочої області, а саме недоліки стосувались кожної осі. На осі X головним недоліком був зворотній шків, котрі недостатньо відпрацьовував свою функцію, також зазнали змін дві каретки екструдера. Ось Z мала недолік пов'язаний з елементами кріплення рами столика до вертикальних напрямних, що призводило до неякісного друку при опусканні столика. Найнезначніших змін зазнала ось Y, так як вона мала один недолік – кроковий двигун, одноваловому двигуну не вистачало потужності, том його замінили на два посилені одновалових.

Для ліквідації цих недоліків була розроблена модель першого варіанту 3D принтера в середовищі SolidWorks, з використанням пакета SolidWorks Simulation була проведена комп'ютерна симуляція.

Цей софт був обраний тому, що він конвертує в багато інших форматів, для зручності проектування є всі необхідні інструменти, є можливість створювати макроси, а також є можливість задати автоматичну вставку розмірів, зазначених для креслень, в нові креслярські види. Можна змінити розмір деталі, ескізу, збірки або креслення в діалоговому вікні «Змінити».

Після виявлення недоліків були розроблені нові вузли та проведена їх симуляція.

Це дозволило зменшити вібрації, точність переміщення на стільки-то в одиницях або відсотках

1.4 Висновки до 1 розділу

Отже, розглянувши всі основні схеми кінематик 3D принтерів, вирішено виділити Cartesian схему, оскільки саме вона має максимальну точність і якість друку в порівнянні з іншими. Крім того організація двох незалежних екструдерів в рамках інших кінематик є або неможлива, або занадто складна.

2 ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОТРИ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ 3D ДРУКУ

2.1 Аналіз механічних параметрів котри впливають на якість 3D друку

Існує велика кількість показників 3D друку, до них можна віднести: відповідність розмірів виробу с заданою 3D моделлю; наявність деформацій стінок отриманої моделі. На ці параметри впливають наступні фактори: інерція ефектора екструдера, тобто чим більше маса, тим більше інерція при швидких переміщеннях та більше розгін, чим більше інерція, тим більше вірогідність виникнення зміщень та великих вібрацій.

Виходячи із загального положення і спираючись на сукупність всіх раніше перерахованих факторів і згаданих чинників при розробці механіки слід зменшити вібрацію. Цього можна досягти зменшенням маси, однак якщо зменшити масу осі X, а саме заміни алюмінієвого верстатного профіля з 30x30 на менші розміри 20x20, то верстатний профіль не витримає прикладеного навантаження, так як на цій осі розволжена напрямна рейка та два навісні екструдери з прямою подачею полімерної нитки (пластику). Також слід зменшити інерційність зменшенням ваги та збільшенням жорсткості компонентів, в якості чого слід використовувати як елемент конструкції алюмінієвий верстатний профіль та високо точні напрямні.

Для зведення конструкції самим незамінним є конструкційний алюмінієвий профіль, який володіє всіма необхідними характеристиками, рис. 2.1. Завдяки оптимальному співвідношенню ціни і якості на сьогоднішній день промисловий алюмінієвий профіль досить популярний. Але не варто забувати і про невід'ємні його достоїнства, адже конструкційний алюмінієвий профіль має привабливий зовнішній вигляд, досить тривалий термін експлуатації. Крім того, промисловий алюмінієвий профіль володіє звуко- і теплоізоляційними властивостями [13].

Як його плюсів також можна виділити наступне:

а) вага виготовленої конструкції знижується в порівнянні з використанням стандартних профілів на 30 – 33%;

б) невеликий час збирання. Всі деталі збираються швидко. Процес при цьому по простоті більше нагадує дитячий конструктор. При необхідності будь-який профіль можна підрізати під будь-яким кутом, що в кілька разів збільшує можливі рішення;



Рисунок 2.1 – Алюмінієвий верстатний профіль

в) подальші роботи не потрібні. Після збірки конструкції її немає необхідності ґрунтувати, фарбувати і т. д.;

г) для фіксації немає необхідності виконувати зварні роботи. За допомогою спеціальних фітингів створюється міцне і надійне з'єднання;

г) після складання в будь-який момент можна ввести зміни і коректування.

Можна побачити, переваг використання конструкційного алюмінієвого профілю безліч, єдине, що може обмежувати його застосування – це його ціна [13]. Верстатний алюмінієвий профіль 30x30 легкий, надійний і конструкція зібрана з нього не буде розхитуватися від механічних рухів каретки і столика.

Для зведення конструкції також можна розглядати і інші матеріали: фанера, метал, акрил.

Фанера – багат шаровий будівельний матеріал, що виготовляється шляхом склеювання спеціально підготовленого шпону, рис. 2.2.

Кількість шарів шпону зазвичай непарне, від трьох і більше. Для підвищення міцності фанери шари шпону накладаються так, щоб волокна деревини були строго перпендикулярні попереднього листу [19].

Переваги фанери:

а) міцність і зносостійкість. Спочатку фанера повинна була компенсувати деякі слабкості деревини. Кожен шар матеріалу укладається так, щоб він нейтралізував слабкі місця інших шарів. В результаті виходять дуже міцні і зносостійкі дерев'яні панелі;

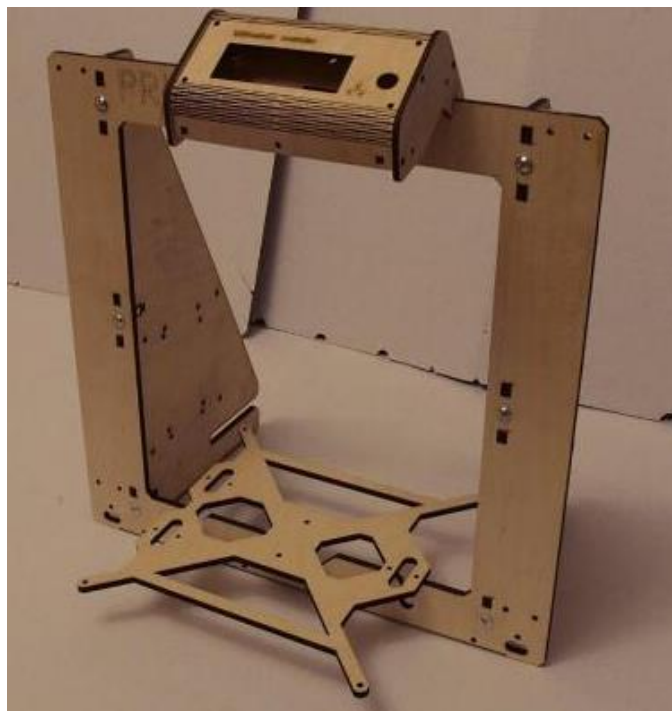


Рисунок 2.2 – Рама з фанери

б) дешевизна. Друга перевага фанери – вона досить недорога у виробництві. Оскільки для її виготовлення не обов'язково використовувати цілісний шматок дерева, матеріали обходяться значно дешевше. З одного дерева

може вийти кілька фанерних плит, тому часу і коштів на її виробництво потрібно менше. До того ж, таке виробництво дає менше деревних відходів, ніж при виготовленні продуктів з цільної деревини;

в) простота використання. Одним з найбільш вихваляють якостей фанери можна назвати простоту в поводженні з нею. Матеріал можна різати і обробляти найпростішими інструментами і при наявності мінімального досвіду. Через її структурних особливостей її можна різати, починаючи з будь-якого місця і в будь-якому напрямку, що вигідно відрізняє її від цільного дерева. Це дозволяє навіть недосвідченому майстру вирізати панелі потрібної форми і розміру;

г) універсальність. Фанеру можна відносно легко згинати, надаючи їй неплоскі форми. У порівнянні з іншими дерев'яними матеріалами, вона змінює форму і зберігає її дуже легко, не побоюючись тріщини або деформації. Це дозволяє будівельникам надавати стінам округлі форми, що було б неможливо зі звичайною деревиною [19].

Недоліки фанери:

а) уразливість перед вологістю. Вологість витримує гірше, ніж цільне дерево. Якщо тільки вона не призначена спеціально для зовнішньої обробки, вона не протримається довго у вологому середовищі.

б) недоліки конструкції. Виготовляється фанера шляхом склеювання дерев'яних шарів. Це надає їй міцність, але це ж робить її вразливою перед вологою. Тонкі шари дерева легко вбирають рідини, які проникають всередину фанери. Волога руйнує шари дерева і послаблює клейове з'єднання [19].

Металевий каркас міцніше і довговічніше дерев'яного, рис. 2.3. Але для побудови металевого каркаса потрібно враховувати, що зварні шви повинні бути ідеальні, якщо під час зварювання металу не добитися прямих кутів після чого сама конструкція буде похила в одну або ж іншу сторону. Варто також враховувати майбутню вагу всієї конструкції так як метал в порівнянні з іншими матеріалами дуже важкий. Але вага загальної конструкції можна і до переваг віднести так як рама буде розхитуватися від механічних рухів [13].

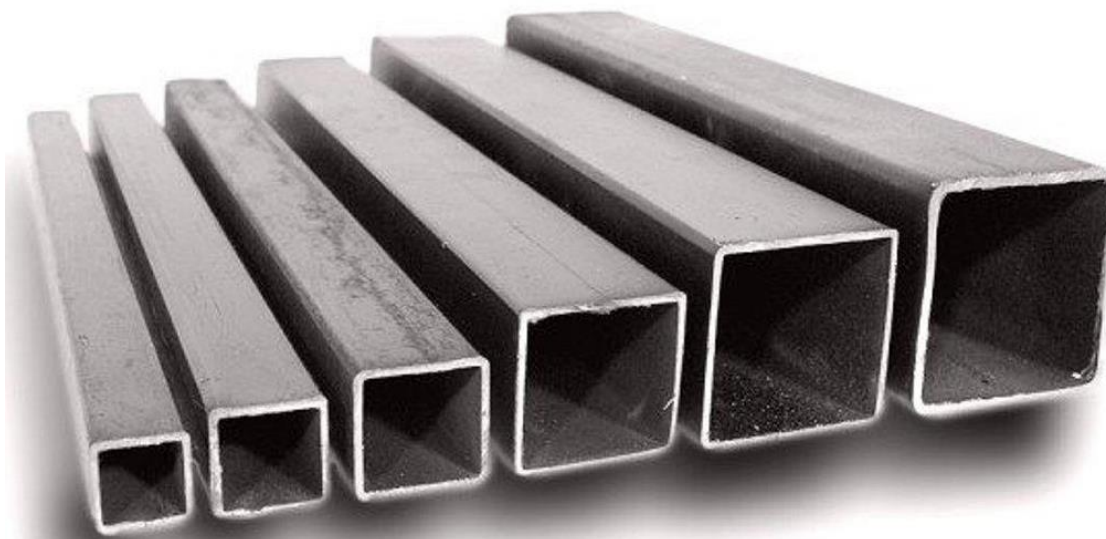


Рисунок 2.3 – Металевий профіль

Листовий акрил – органічне скло, отримане з акрилових смол і невеликого відсотка спеціальних добавок, рис. 2.4. Це екологічний і безпечний матеріал, який не виділяє токсичних речовин, що робить можливим його застосування як на вулиці, так і в будівлях.



Рисунок 2.4 – Листовий акрил

Оргскло повністю переробляється, після чого з отриманої сировини може проводитися нова продукція [13].

Переваги акрилу листового:

- а) невеликий питома вага. Мала маса пластика полегшує його монтаж;
- б) пластичність. При нагріванні матеріалу майстра легко надають йому потрібну форму;
- в) міцність;
- г) обробка. Листи можна розпиляти або просвердлити для подальшого монтажу;
- г) вартість. Ціна листа акрилу нижче, ніж інший синтетичної продукції [13].

Для руху столика і інших осей використали вали з підшипником в корпусі, кулькові втулки, а також лінійну направляючу.

Напрямні поліровані вали – це найпоширеніший і бюджетний вид напрямних, рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Напрямні поліровані вали з опарами

Відрізняється високою доступністю, легкістю обробки і установки. Поліровані вали виготовляються з високолегованих сталей, як правило – конструкційних підшипникових, і проходять індукційне загартування поверхні з наступним шліфуванням. Вали мають заводське індукційне загартування, що забезпечує тривалий час роботи і супроводжує меншого зносу валу. Шліфовані вали мають ідеальну поверхню і забезпечують рух з дуже маленьким тертям. Вали кріпляться тільки в 2 точках на кінцях і тому монтаж їх не представляє особливої складності. Однак, багато несумлінні виробники часто роблять вали з дешевих і м'яких сортів високо вуглецевих сталей, користуючись тим, що покупець не завжди володіє засобами для перевірки виду матеріалу і його твердості. До недоліків полірованих валів відносяться:

а) відсутність кріплення до станини. Вал кріпиться в двох точках на кінцях – це полегшує монтаж направляючих, проте призводить до того, що напрямні встановлені незалежно від робочої поверхні стала. У той час в порталних верстатах вкрай бажано ставити напрямні в жорсткій зв'язку зі столом (такий зв'язок знижує похибки обробки, якщо робочий стіл піддався викривленню);

б) провисання на великій довжині. На практиці через провисання вали використовують довжиною не більше 1 метра. Крім того, важливим є ставлення діаметра валу до його довжини – для отримання прийнятних результатів його значення повинно бути не менше 0.05, бажано в межах 0.06–0.1. Більш точні дані можна отримати, зробивши моделювання навантаження на вал в пакетах САПР.

У приводі осі з ЧПУ передача використовується для перетворення обертального руху валу двигуна в поступальний рух уздовж осі. Нижче перераховані найбільш широко використовувані види передач в станках ЧПУ [18].

Під передачею гвинт-гайка мається на увазі пара сталевий гвинт з трапецеїдальної або метричної різьбою і гайка. Даний вид передачі є передачею з тертям ковзання і на практиці в свою чергу має кілька різновидів [18].

Будівельні шпильки з гайкою – самий бюджетний варіант, рис. 2.6. Будівельна шпилька взагалі не призначена для використання в

верстатобудуванні, тех. процес її виготовлення націлений на застосування в будівельній сфері, внаслідок чого даний вид передачі володіє найповнішим набором недоліків - високою похибкою, низькою прямолінійністю, малими навантажувальними характеристиками, малою зносостійкістю, високою тертям і т. д. Однак, все ж застосовується в DIY-верстатах, що виготовляються в навчальних цілях, внаслідок низької собівартості [18].

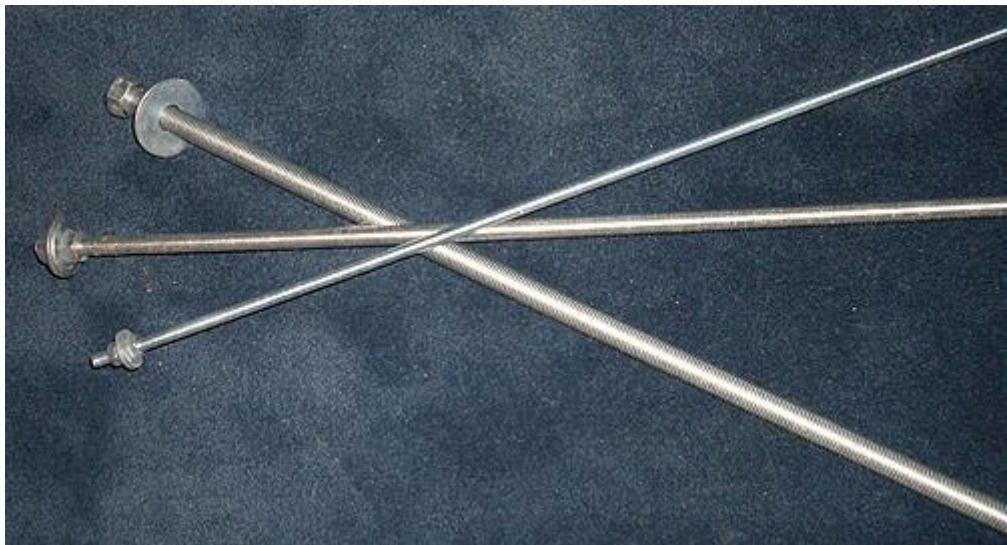


Рисунок 2.6 – Будівельна шпилька з гайкою

Приводний гвинт з трапецеїдальною або прямокутною різьбленням, рис. 2.7.

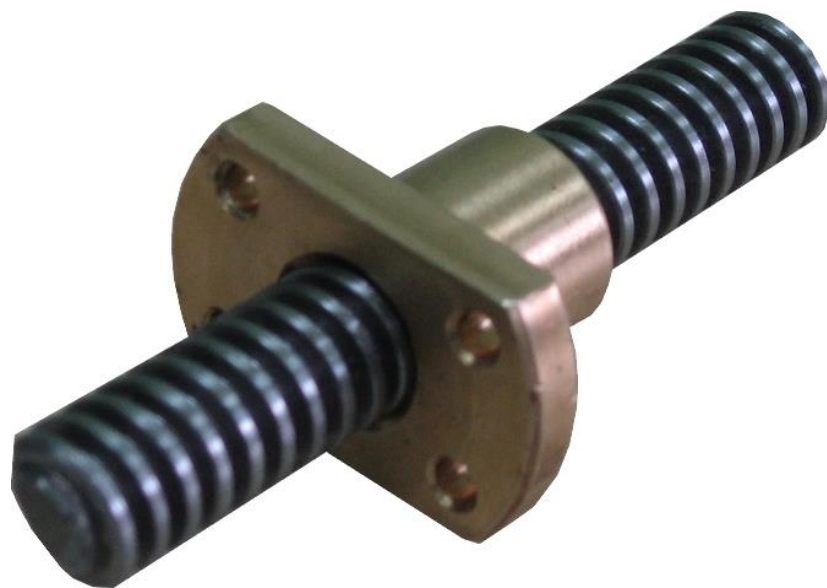


Рисунок 2.7 – Гвинт з трапецеїдальною різьбленням

Гвинт з трапецеїдальною різьбленням - найбільш розповсюджених вид передачі в металообробних верстатах в минулому столітті і по теперішній час. Трапецеїдальні гвинти виробляються їх різних видів конструкційних вуглецевих сталей шляхом нарізки різьблення на сталевому прутки або її накатки. Накатні гвинти мають істотно кращі характеристики, ніж нарізні. Широке застосування трапецеїдальних гвинтів обумовлюється їх широкою номенклатурою, доступністю на ринку гвинтів різних класів точності, від С10 до С3. Гайка на гвинт виготовляється з зносостійких матеріалів, таких, як поліаміди (капрон, нейлон), тефлон, бронза. Правильно розраховані і виготовлені трапецеїдальні передачі відрізняються високою зносостійкістю, тому що тертя йде з малим тиском (внаслідок порівняно великій поверхні тертя). На багатьох все ще працюють верстатах радянського виробництва пари стоять з моменту випуску верстата, і не змінювалися вже 30-40 років. Також на таких ходових гвинтах можливе використання розрізних гайок, що дозволяє за допомогою стиснення гайки регулювати натяг і вибирати з'являється з часом люфт. З мінусів варто відзначити, як не дивно, простоту виготовлення гвинта, що автоматично означає наявність безлічі виробників, з дуже широким розкидом показників якості. Бюджетні серії гвинтів виготовляються зі сталі 45 без гарту поверхні, що може призвести до порушення прямолінійності гвинта (інакше кажучи, гвинти малого діаметра м'які і часто гнуться в процесі транспортування). До мінусів і плюсів одночасно відноситься висока тертя в передачі. З одного боку, це знижує ККД, потрібно більш потужний двигун для обертання гвинта. З іншого - тертя кілька демпфує обертальні коливання гвинта, що може бути корисним у випадку використання крокових двигунів. Даний ефект, правда, виявлений досить слабо, і для боротьби з резонансом потрібні інші способи. Підводячи підсумок, можна сказати, що трапецеїдальний гвинт ще не втратив свого значення в якості передачі верстата з ЧПУ і з успіхом використовується в верстатах всіх класів [18].

Кулькові втулки (КГП) – це лінійні підшипники кочення, мають порівняно великі люфти в порівнянні з каретками рейкових направляючих і менші

навантажувальні характеристики, рис. 2.8. Крім цього, для захисту від повороту каретки необхідно використовувати як мінімум два напрямних вали на одну вісь [14].

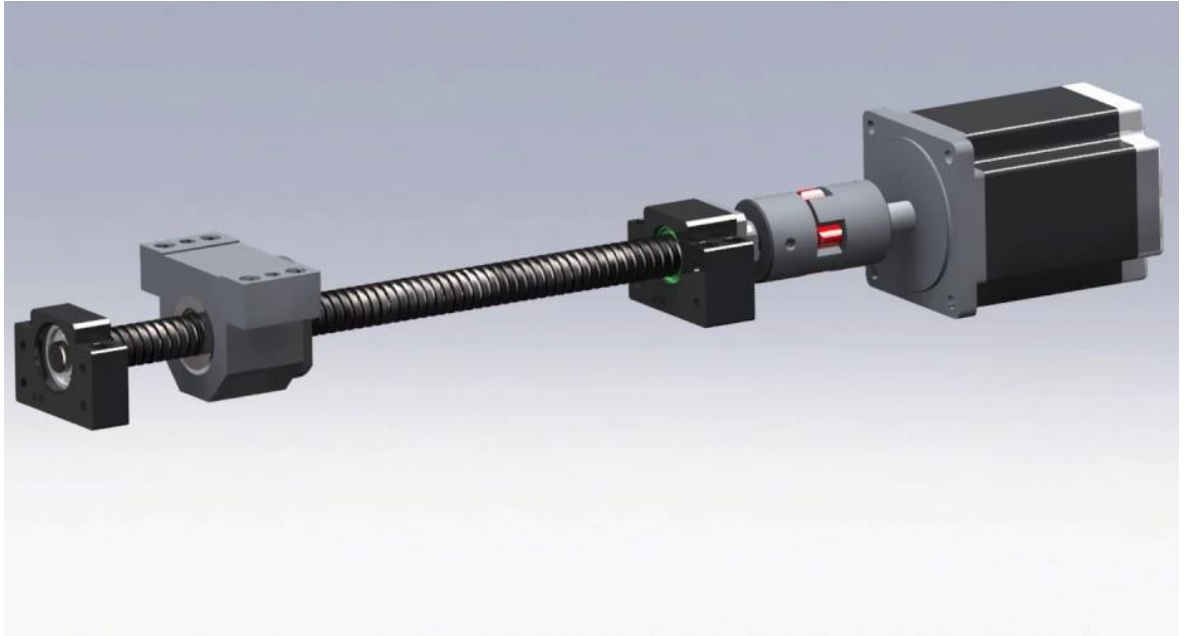


Рисунок 2.8 – Кульково–гвинтова передача

Недоліки лінійних підшипників кочення:

а) низька вантажопідйомність. Слідство попереднього пункту, а також конструктивного будови лінійних підшипників;

б) недовговічність. Кожна кулька лінійного підшипника стосується валу в одній точці, що створює дуже високий тиск. Згодом кульки можуть прокатати канавку на валу, після чого вал підлягає заміні;

в) люфт. Бюджетні лінійні підшипники багатьма виробниками виготовляються найчастіше з дуже великою люфтом;

г) досить чутливі до пилу і стружці на валу [14].

Також існує альтернатива – кулькові профільні рейкові напрямні, рис. 2.9. Профільні рейкові напрямні використовуються там, де потрібна висока точність.

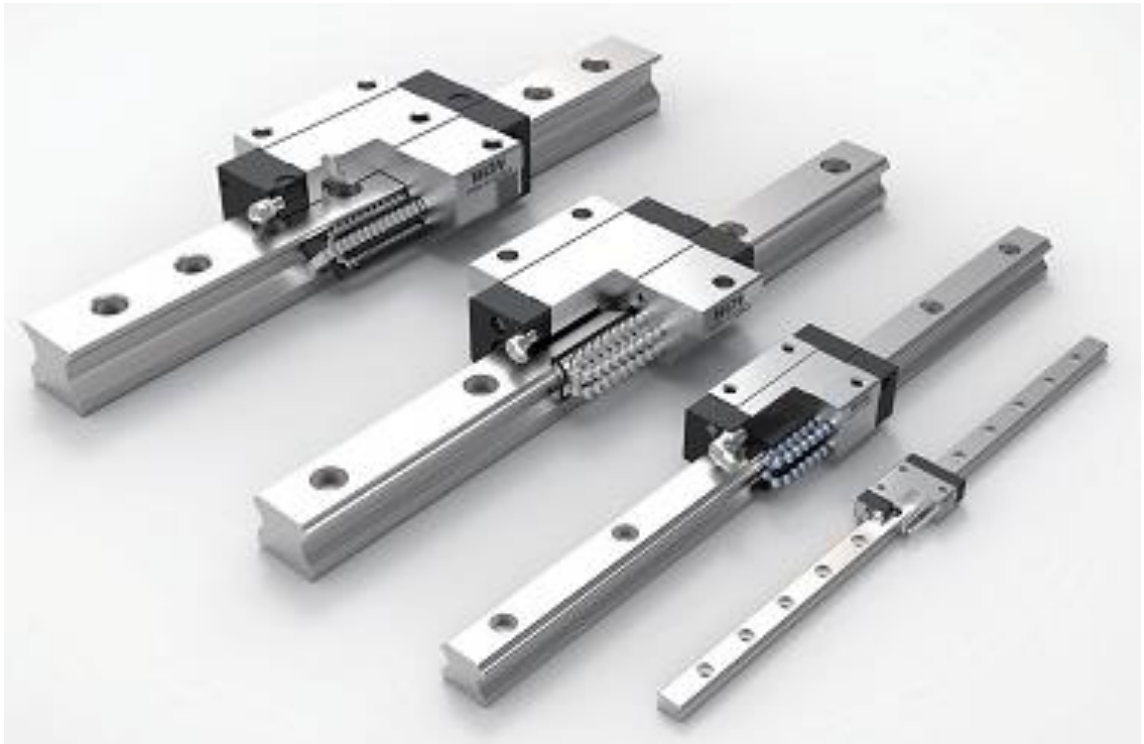


Рисунок 2.9 – Рейкова напрямна

Також, як і циліндричні, профільні рейки кріпляться безпосередньо на станину верстата. У профільних рейках зроблені спеціальні доріжки кочення, в результаті навантаження на каретку розподіляється по робочій поверхні доріжок кочення рівномірно – профіль торкання кулька–рейок вже не крапка, а дуга. Профільні рейки відрізняються високою точністю і прямолінійністю, високою вантажопідйомністю, високою зносостійкістю, низьким люфтом або повною його відсутністю. Недоліком профільних напрямних є високі вимоги до шорсткості і прямолінійності місця кріплення, а також складність установки. Як правило, рейки і каретки випускаються в декількох варіантах – з преднатягом і вантажопідйомністю різного ступеня. Класичним прикладом можуть служити рейкові напрямні Hiwin і THK. Профільні рейки складні і дорогі у виробництві, тому виробників рейок менше, ніж виробників валів. Основна перевага рейок в тому, що вони кріпляться до станини в декількох точках на всьому своєму протязі, а значить вони не згинаються під навантаженнями, які не вібрують і навіть в середині по довжині передають навантаження на станину. І інші

характеристики рейок складаються з одних достоїнств. Єдиний недолік – висока ціна [14].

Разом для руху по осі Z було використано кулько–гвинтові передачу Hiwin, а також для жорсткості конструкції і зменшення коливання ставимо напрямні полірування вали. Для осі X і Y використовуємо профільні рейкові направляючі, для забезпечення високої вантажопідйомності і точності пересування.

Для руху двох екструдерів по осі X і самої осі Y крім напрямних використали зубчасті ремені для передачі крутного моменту на вал або приводний гвинт, що забезпечує безпосереднє рух каретки по осях X і Y .

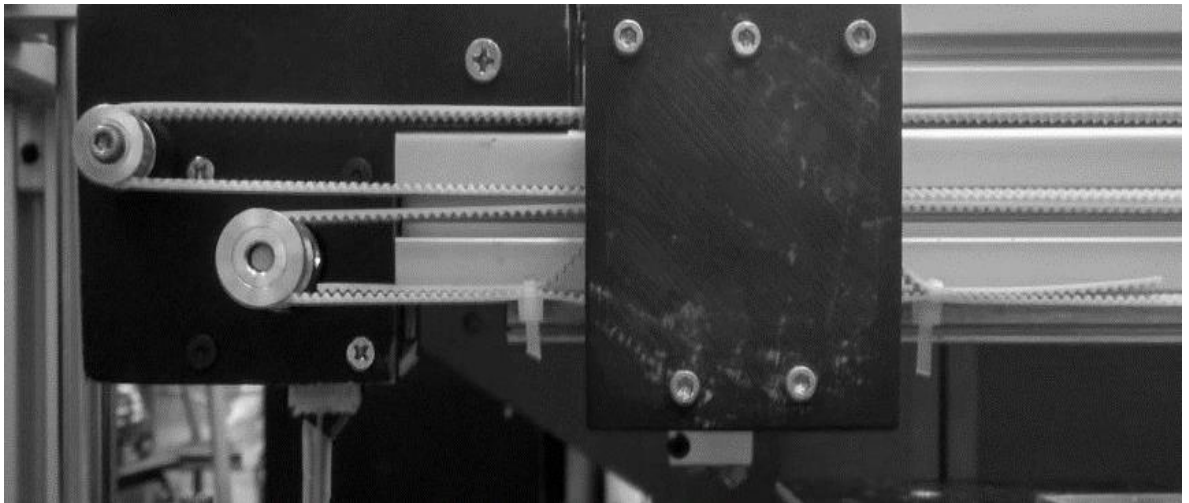


Рисунок 2.10 – Ремінна передача

Ремінна передача, як і шестерна, зустрічається дуже часто. Ремінь, натягнутий на шківів, охоплює якусь їх частину, рис. 2.10. Ця облягає частину (дуга) носить, назва кута обхвату. Чим більше буде кут обхвату, тим краще утворюється зчеплення, краще і надійніше буде обертання шківів [15].

При малому куті обхвату може вийти так, що ремінь на малому шківі стане прослизати, обертання буде передаватися погано або його зовсім не буде. Кут обхвату залежить від співвідношення розмірів шківів і їх відстані один від одного. Там, де необхідно збільшити кут обхвату, у передачі ставлять рухомий шків–ролик. Залежно від розташування валів і ременя ремінна передача буває різних видів. Відкрита передача. Обидва шківів при такій передачі обертаються в

одну сторону. Перехресна передача. Таку передачу застосовують, коли потрібно змінити обертання веденого шківів. Шківів обертаються назустріч один одному. На пів перехресна передача застосовується, коли вали лежать не паралельно, а під кутом. Кутова передача утворюється, коли вали йдуть під кутом, але лежать як би в одній площині. При цій передачі для отримання належного спрямування ремня обов'язково встановлюють ролики. Спарена передача. При цій передачі з одного ведучого шківів можуть йти ремні на кілька ведених шківів. Крім перерахованих передач, буває ще й ступінчаста передача. Вона застосовується тоді, коли потрібно змінювати число обертів веденого валу. Обидва шківів в цій передачі робляться ступінчастими. Переставляючи ремінь на ту чи іншу пару ступенів, змінюють число оборотів веденого валу. При цьому довжина ремня залишається незмінною. За своїм профілем ремні бувають плоскі, круглі і трапецеїдальні [15].

Переваги пасової передачі:

- а) простота конструкції;
- б) можливість розташування ведучого і веденого шківів на великих відстанях (більше 15 метрів);
- в) плавність і безшумність роботи;
- г) запобігання механізмів від перевантаження за рахунок пружних властивостей ремня і його здатності прослизати по шківів;
- г) можливість роботи з великими кутовими швидкостями.

Недоліки пасової передачі:

- а) поступове витягування ремнів, їх недовговічність (при великих швидкостях працює від 1000 до 5000 годин);
- б) мінливість передавального відношення (через неминуче прослизання ремня);
- в) відносно великі розміри [15].

Також може використовуватись зубчата рейка в якості зубчатою передачі в станках ЧПУ, рис. 2.11. Сталева зубчаста рейка використовується на широкоформатних розкроювальних верстатах плазмового та лазерного різання,



Рисунок 2.11 – Зубчата рейка

портальних фрезерних верстатах широкого формату, форматно-розкрювальних верстатах, де використання ШВП неможливо через провисання гвинта, а також де потрібна висока швидкість переміщення. Передачі шестерня-рейка, також як і ШВП, виготовляються з певним класом точності. Найбільшого поширення набули зубчасті передачі класів С5, С7 і С8. Зубчата рейка, також як і ремінь, "не боїться" пилу і стружки, але позбавлена нестачі розтяжності. Однак, при установці шестерні безпосередньо на вал двигуна передача брязкає і вібує, що в поєднанні з резонансом крокової двигуна може перетворити Ваш верстат в відмінний вібростенд. Щоб цього уникнути, між двигуном і рейкою можна встановити пасової редуктор, що виконує демпфуючу функцію, або використовувати двигун з планетарним редуктором - тоді основну частину часу кроковий двигун буде працювати на високих швидкостях обертання, де резонанс практично не проявляється. Також можливим варіантом є застосування серводвигунів. Зубчата рейка класів С5 і С7 за рідкісним винятком проводиться короткими відрізками довжиною близько 1000 мм, і для складання верстата її стикуються спеціальним чином [18].

2.2 Модернізація механічних параметрів 3D принтера

Модернізація – це оновлення будь-якого об'єкта. У ролі об'єкта можуть виступати механізми, технологічні процеси, суспільні відносини, економіка [16].

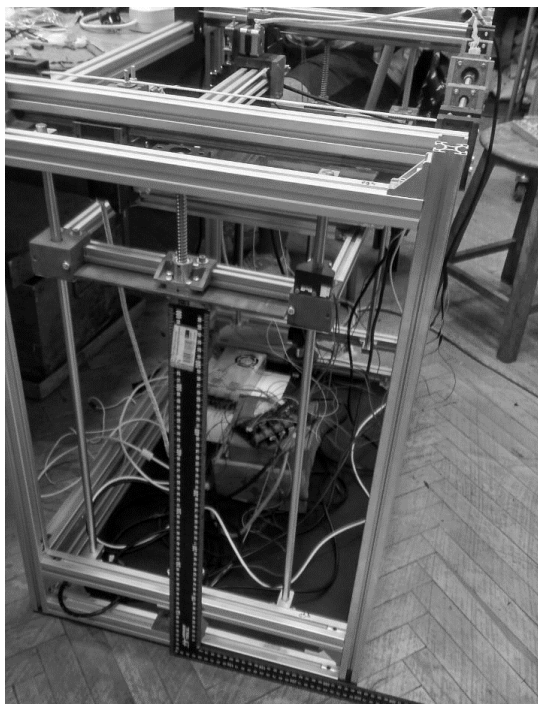


Рисунок 2.12 – 3D принтер з кінематикою Cartesian до модернізації

Під час виконання атестаційної роботи бакалавра був розроблений 3D принтер з кінематикою Cartesian, який мав такий вигляд, рис. 2.12.

3D принтер з кінематикою Cartesian призначений для друку полімерними нитками (пластиком). Кінематика Cartesian означає, що ось X рухається вліво – вправо, ось Y – вперед – назад, а ось Z рухається лише вгору чи вниз. Габарити принтера складають: довжина – 890 мм, висота – 825 мм та товщина 550 мм (890 мм x 825 мм x 550 мм), при таких габаритних розмірах принтера область друку складає 410 мм x 410 мм, стіл опускається на 410 мм, що дає змогу друкувати предмети розміри яких не перевищують 410 мм x 410 мм x 410 мм.

Для оптимізації конструкції 3D принтера були встановлені дві металеві пластини в низу розробленої конструкції кожна з пластин важить по 12 кілограм рис. 2.13. Під час друку із-за малої ваги конструкції у нижній частині починались вібрації, так як основні переміщення осей та друк відбувався в верхній частині. Таким чином після встановлення даних металевих пластин дало змогу зменшити вібрації та інерцію.

Під час тривалої експлуатації 3D принтера були виявленні проблеми котрі стосуються кожної осі.

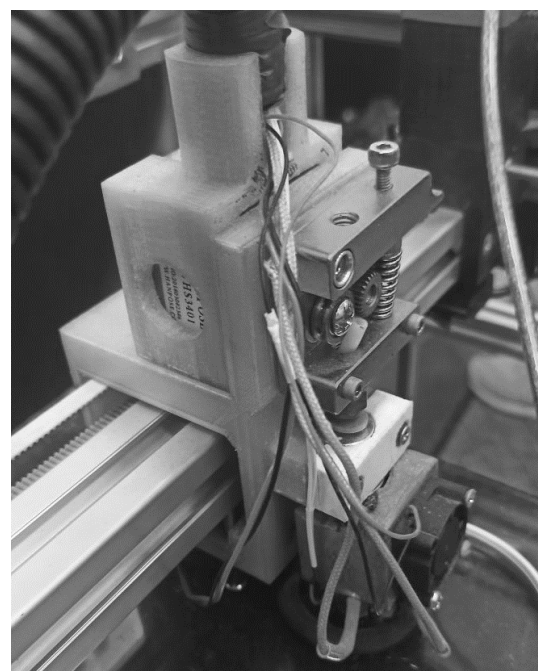


Рисунок 2.13 – Металева пластина вагою 12 кілограм

2.2.1 Модернізація осі X



а)



б)

а) каретка до модернізації; б) каретка після модернізації

Рисунок 2.14 – Каретка екструдера

На осі X проблемою став двухваловий двигун, так як ось складається з алюмінієвого верстатного профілю 30x30 мм і на ньому кріпиться напрямна рейка по котрій рухаються два екструдери, рис. 2.15, виходячи з цього двигуну було складно пресувати усю ось, декілька разів траплялось коли ремінь прослизав через зуби шестерні. Тому було прийнято замінити один двухваловий двигун на два одновалових двигуна, для цього були розроблені дві моделі кріплення цих двигунів до рами 3D принтера. Також були перероблені дві пластикові картки, на перших каретках, рис. 2.14,а, уся вага приходила на передню частину, де розташовувався екструдер із-за цього був зміщений центр ваги. Беручі до уваги цю проблему були розроблені та протестовані нові картки з пластику, вони монолітні, рис. 2.14, б. Беручі до уваги, що надруковані каретки рухаються по напрямній рейці за допомогою ремінною передачі, виникла проблема зі зворотнім шківом. Зворотній шків був закріплений лише гвинтом М3, тому при друкі або коли натягувались ремені гвинт вигибався, що призводило до неперпендикулярного розташування двох шківів, а відповідно і всієї ремінної передачі, рис. 2.10. Така проблема призводила до того, що надрукована модель друкувалась неякісно відповідно до розташування слоїв.

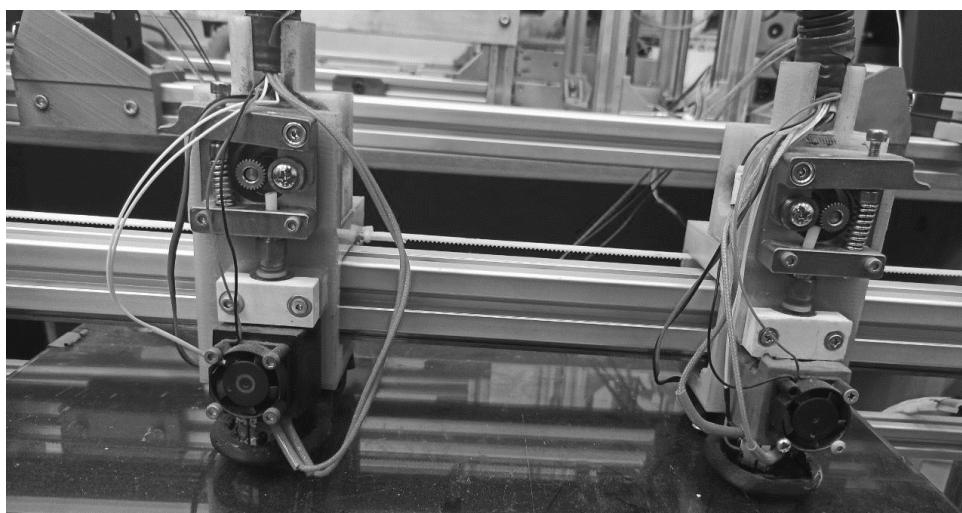
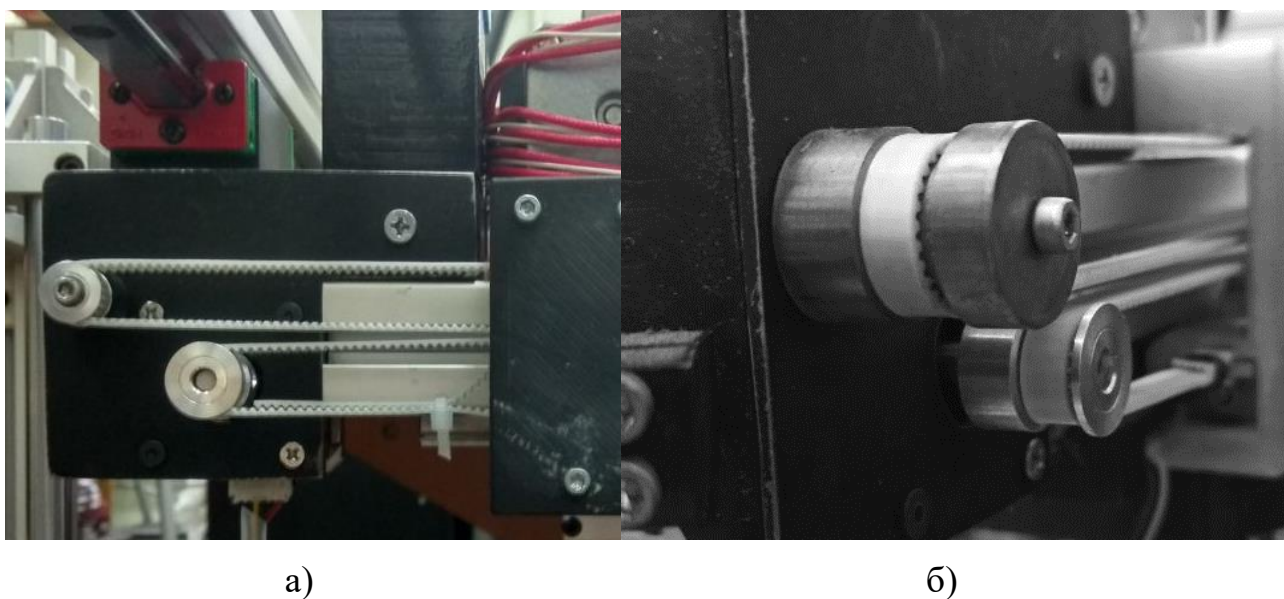


Рисунок 2.15 – Ось X

Для того, щоб позбутися цієї проблеми була розроблена система кріплення зворотніх шківів, рис. 2.16. Зворотній шків був замінений на підшипник для

збільшення жорсткості, а сама конструкція складалась з двох елементів в котрі кріпилися данні підшипник, ці елементи були виготовленні з металу.

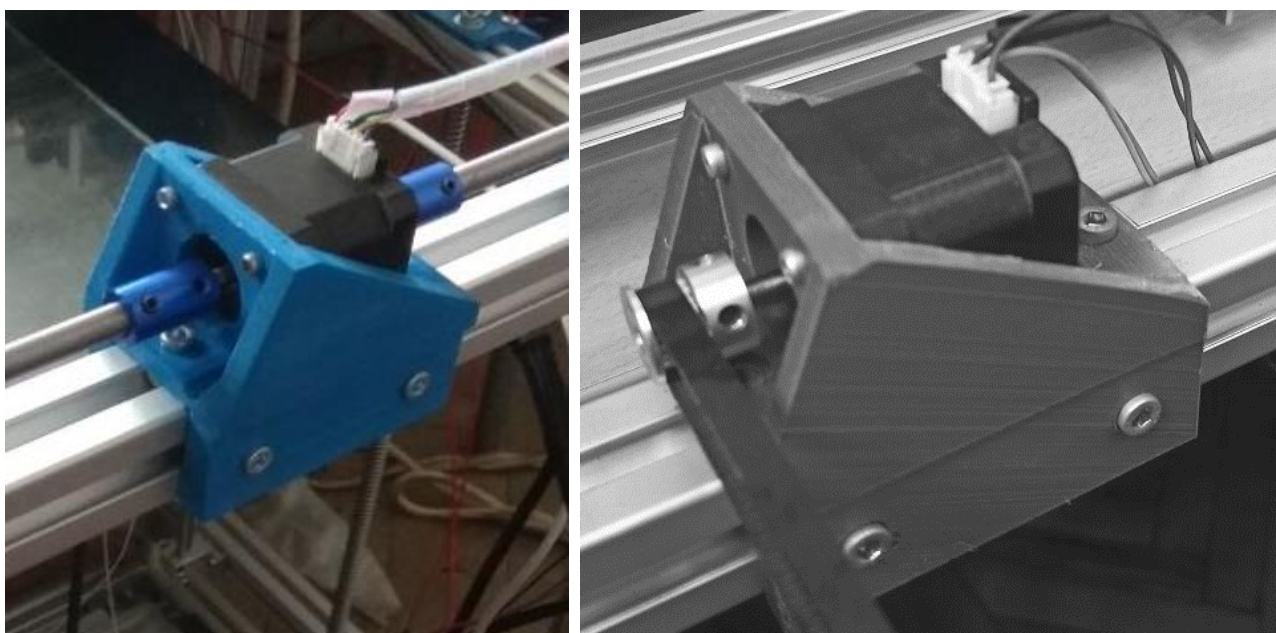


а) зворотній шків до модернізації; б) зворотній шків після модернізації

Рисунок 2.16 – Модернізація зворотного шківа

2.2.2 Модернізація осі Y

З урахуванням того, що на осі Y був замінений двох валовий кроковий двигун на два одно валових, було розроблено та надруковано дві нові деталі для закріплення двигунів до рами корпусу 3D принтера з пластику соPet, рис.2.17. соPET пластик – це новий посилений матеріал для 3D друку. Його назва – поліетилентерефталат (соPET). Цей пластик представляє собою міцний, вогнестійкій аморфний матеріал з гладкою поверхнею. соPET пластик відрізняється скроню прозорістю, рівномірним світлорозсіюванням и стійкістю до хімічних речовини. Окрім того, до його складу не входять шкідливі компоненти. Приміто, що соPET пластик є єдиним матеріалом, який може піддаватися деформації в холодному стані без утворення тріщини [17].



а)

б)

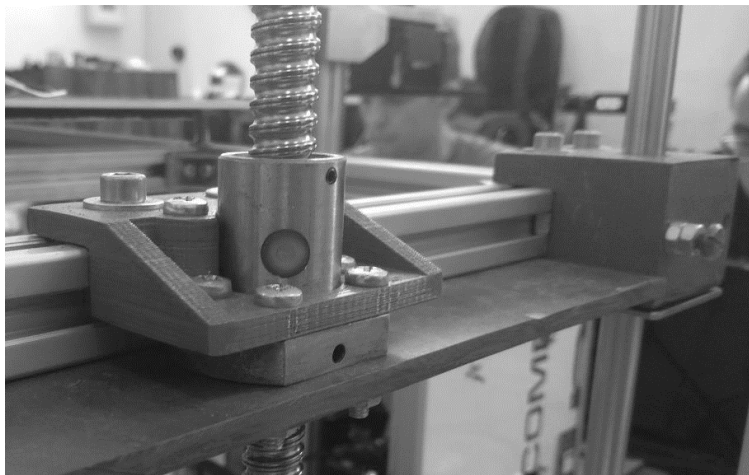
- а) пластикова деталь для закріплення двигуна до оптимізації;
 б) пластикова деталь для закріплення двигуна після оптимізації

Рисунок 2.17 – Пластикова деталь для закріплення двигуна

2.2.3 Модернізація осі Z

Також ось Z зазнала змін, а саме: під час друку було виявлено, що рама столика нерівномірно опускається у низ, що в свою чергу привело до неякісного друку (шари пластику нерівномірно накладались). Причиною цього стало, що кріплення алюмінієвої рами столика до модернізації мала люфт зі сторони лінійних підшипників, рис. 2.18,а, так як вони були неякісно запресовані в пластикову деталь. Виходячи з цих даних були розроблені та надруковані нові кріплення алюмінієвої рами столика до вертикальних напрямних по осі Z, рис. 2.18, б. В свою чергу була виконана заміна центрального кріплення рами столика до КГП, вона мала також люфт із-за малої площі дотику та відсутності належного закріплення до самою кілько – гвинтової передачі, 2.18,в. Спираючись на перераховану модернізацію кріплення по осі Z дозволило позбутися люфту та

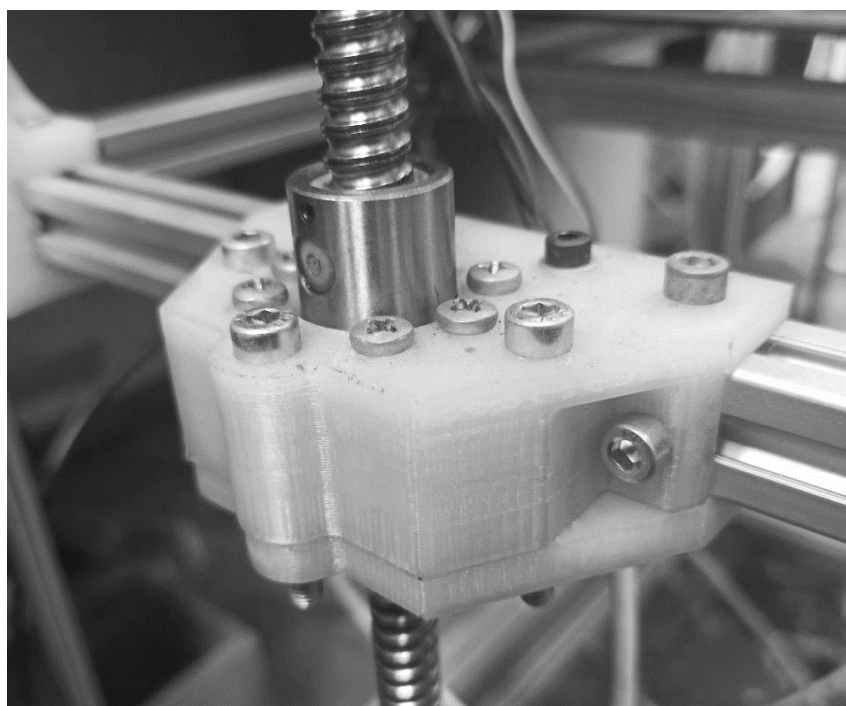
вібрацій, а також істотно збільшити жорсткість конструкції при цьому зменшити масу даної осі, що в свою чергу призвело до зменшення інерційної сили.



а)



б)



в)

а) кріплення рами столика до модернізації; б) модернізоване кріплення до лінійних підшипників; в) модернізоване кріплення до КГП

Рисунок 2.18 – Кріплення рами столика до напрямних на осі Z

2.3 Висновки до 2 розділу

Виходячи з усіх перерахованих матеріалів був обраний алюмінієвий верстатний профіль 30 x 30 тому що він легкий, надійний і конструкція зібрана з нього не буде розхитуватися від механічних рухів каретки і столика. Саме ремінна передача із-за того, що легко встановити, мала вага конструкції та легкість обслуговування. Була обрана саме КГП тому, що має мінімальний люфт, може витримувати достатньо великі навантаження, а також має максимальну точність при переміщеннях по КГП.

Отже, для оптимізації механічних параметрів 3D принтера з кінематикою Cartesian була виконана модернізація елементів конструкції на кожній осі, а саме були перероблені: кріплення рами столика до вертикальних напрямних, що дало змогу позбутися вібрацій та похитувань рами столика; були модернізовані каретки двох екструдерів, щоб позбутися перекосів самої каретки, також на даній осі був модернізований зворотний шків, що в свою чергу дало змогу суттєво покращити точнісні та якісні показники друку; на осі Y для зменшення навантаження на один двигун та покращення точності друку був замінений двохваловий двигун на два одновалові, для них були модернізовані пластикові елементи кріплення. В основі конструкції були добавлені дві металеві пластини для зміщення центру ваги з гори до низу конструкції. В сукупності всіх вище перерахованих модернізацій призвело до оптимізації механічних параметрів 3D принтера з кінематикою Cartesian.

3 АНАЛІЗ МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА КОНСТРУКЦІЮ 3D ПРІНТЕРА

3.1 Розробка комп'ютерної моделі розробленої конструкції 3D принтеру

Було розроблено 3D модель принтера з кінематикою Cartesian в програмному середовищі Solidworks. Обрали Solidworks так як він конвертує в багато інших форматів, для зручності проектування є всі необхідні інструменти, є можливість створювати макроси, а також є можливість задати автоматичну вставку розмірів, зазначених для креслень, в нові креслярські види. Можна змінити розмір деталі, ескізу, збірки або креслення в діалоговому вікні «Змінити».



Рисунок 3.1 – Модель 3D принтера до оптимізації

Таким чином ґрунтуючись на креслення та на раніше розробленій конструкції 3D принтера, рис. 3.1, розробили нову, покращену 3D модель, рис.3.2. Ця модель, а саме основна рами, котра складається алюмінієвого верстатного профіля 30x30 кількістю 19 штук, рис. 3.3. Дані профілі забезпечують надійність і міцність конструкції макета.

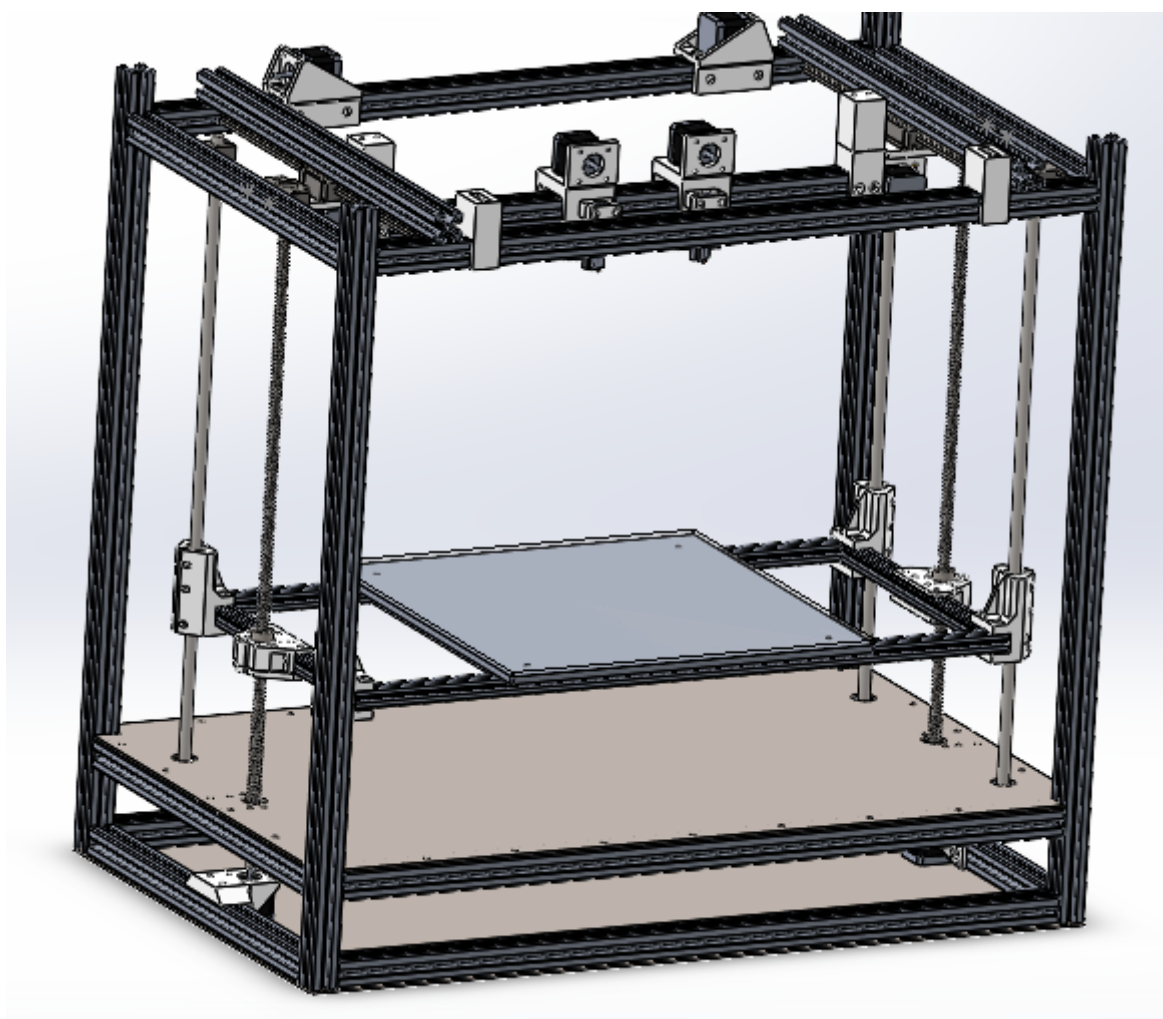


Рисунок 3.2 – Оптимізована модель 3D принтера

Розробивши раму 3D була розроблена рама самого столика яка буде рухатись по осі Z, рама столика складається з 6-ти алюмінієвих профілей серії 20, котрі з'єднуються між собою спеціальною фурнітурою, рис. 3.4. Раму столику по осі Z буде рухати два посилені двигуни NEMA 17 за допомогою чотирьох валів та двох кулько- гвинтових передач. Два посилені двигуни кріпиться до рами конструкції за допомогою спеціально розроблених деталей.

Для того щоб з'єднати двигун с кульково-гвинтовою передачею було використано спеціальну фурнітуру, а саме дві гнучкі муфти для крокових двигунів.

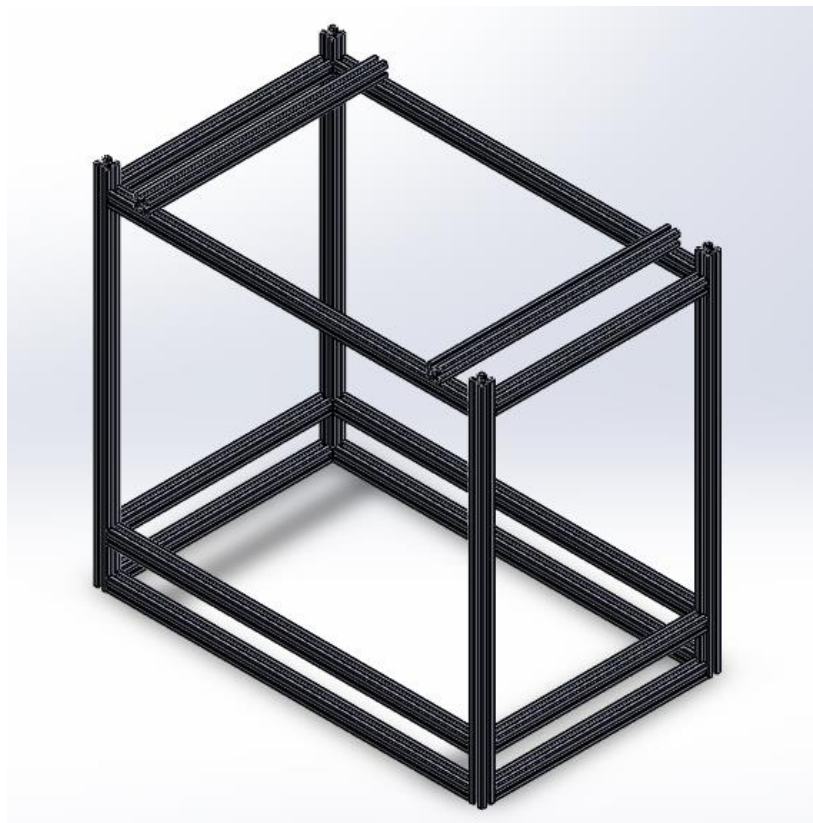


Рисунок 3.3 – Модель рами 3D принтера

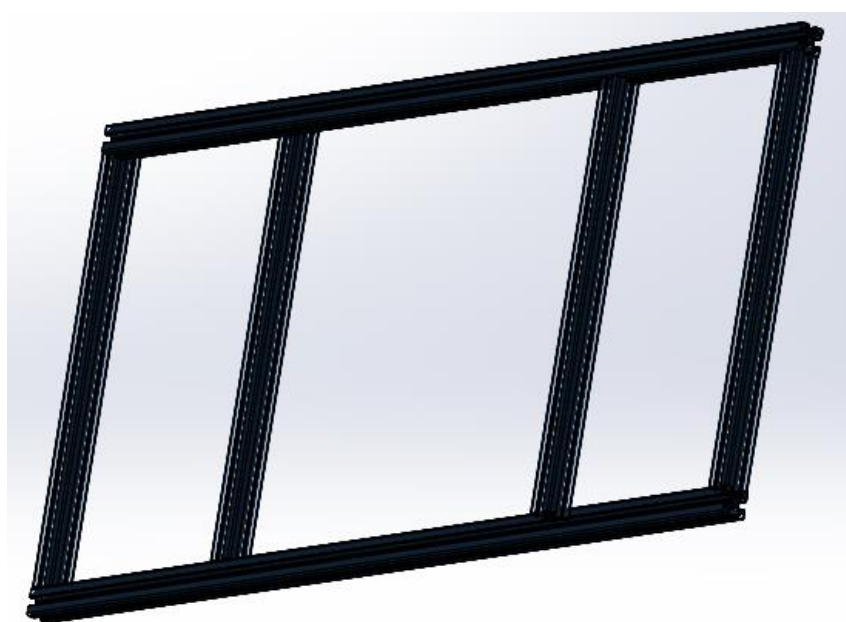


Рисунок 3.4 – Модель рами столика 3D принтера

На рамі 3D принтера було закріплено кулько–гвинтові пари та чотири вали, до них закріплено саму раму столика, за допомогою розроблених компонентів.

Закріпивши ось Z, було розроблено ось X та Y. Ось Y на якій розташовується лінійна передача кріпиться до рами 3D принтера завдяки спеціальній фурнітурі, ось Y буде переміщатися завдяки двом двигунам NEMA 17 до котрого прикріплено зубчата пасова передача. Ось X кріпиться до осі Y на розроблену каретку, котра в свою чергу кріпиться до каретки лінійної передачі котра розташована на осі Y, ось X буде рухатись завдяки двом пасовим передачам по лінійній передачі.

Кінцеві масові характеристики 3D моделі 3D принтера з кінематикою Cartesian представлені на рис. 3.5.

Массовые характеристики: 3d top		
Конфигурация: Default		
Система координат: -- по умолчанию --		
Масса = 56335.33 граммов		
Объем = 13652314.65 кубические миллиметры		
Площадь поверхности = 7436393.14 квадратных миллиметры		
Центр тяжести: (миллиметры)		
X = -418.45		
Y = 290.83		
Z = 2111.17		
Основные оси инерции и основные моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)		
центр тяжести		
Ix = (0.16, 0.99, -0.05)	Px = 6106486186.43	
Iy = (-0.99, 0.16, -0.01)	Py = 6288362619.13	
Iz = (0.00, 0.05, 1.00)	Pz = 9447406388.57	
Моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)		
Определяются в центре тяжести и выравниваются относительно системы координат вывода.		
Lxx = 6283589705.89	Lxy = 28957517.93	Lxz = -3186483.36
Lyx = 28957517.93	Lyy = 6118940409.94	Lyx = -159886172.23
Lzx = -3186483.36	Lzy = -159886172.23	Lzz = 9439725078.31
Моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)		
Вычисляется с помощью системы координат вывода.		
Ixx = 262138128937.80	Ixy = -6826850784.46	Ixz = -49770610506.58
Iyx = -6826850784.46	Iyy = 267072751190.92	Iyz = 34429452512.02
Izx = -49770610506.58	Izy = 34429452512.02	Izz = 24068839892.54

Рисунок 3.5 – Масові характеристики моделі

3.2 Комп'ютерна симуляція механічного впливу на розроблену конструкцію 3D принтеру

Для проведення експериментальних досліджень була проведена підготовча робота с моделюю 3D принтера. Перш ніж почати проводити симуляцію прикладення механічної сили була проведена Інтерференція між

компонентами, рис. 3.6, за результатами котрої були знайдені та далі вирішенні дві інтерференції.

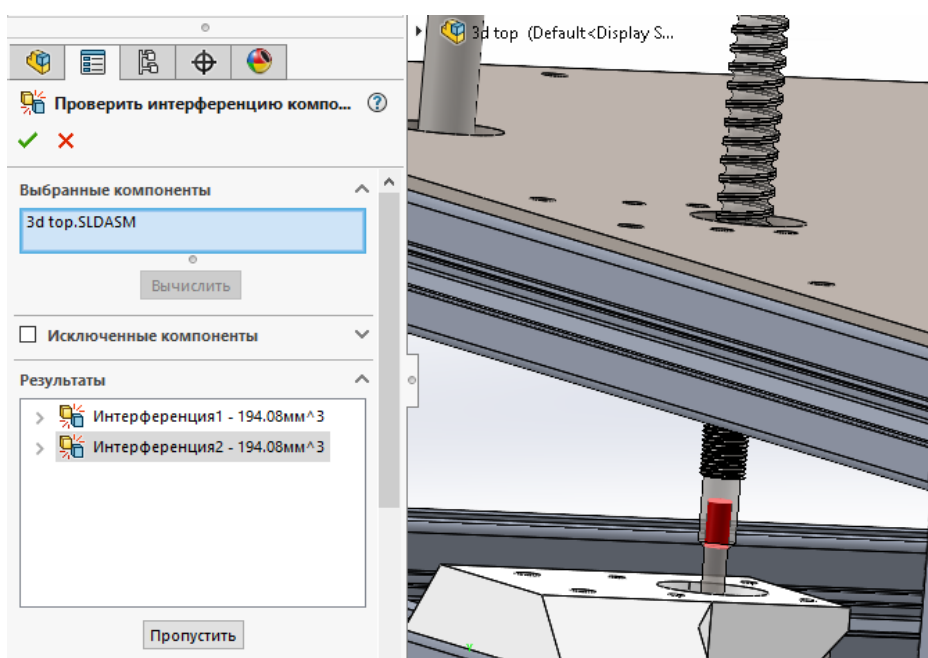


Рисунок 3.6 – Інтерференція між компонентами

Наступним кроком слід присвоїти кожній моделі матеріал, для того щоб система могла опрацювати усю модель та провести симуляцію, рис. 3.7. Кожний матеріал має свої властивості, значення та колір.

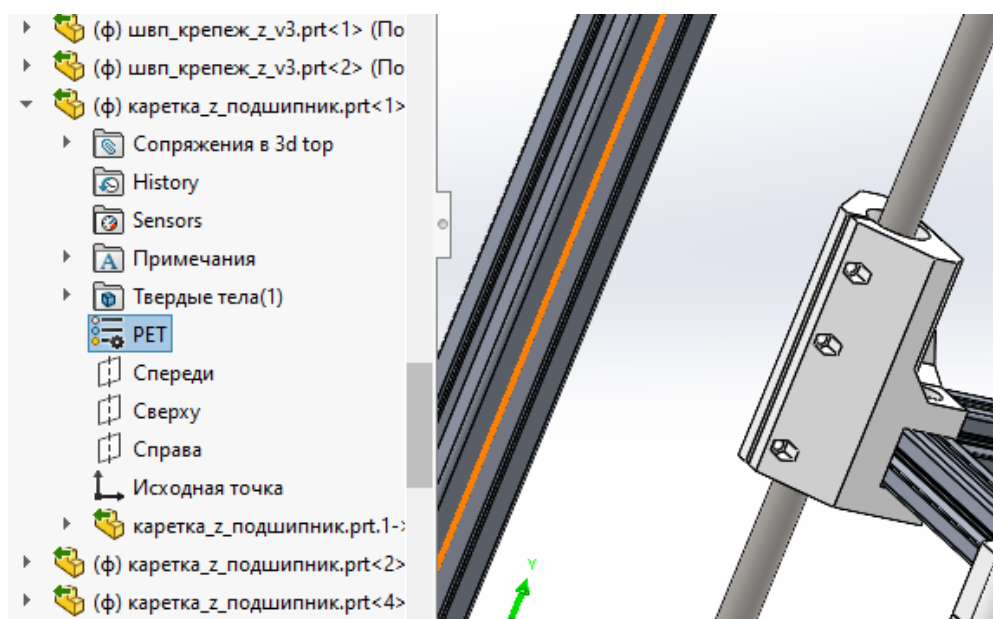


Рисунок 3.7 – Вибір матеріалу

Після проведення всіх підготовчих робіт приступили безпосередньо до самої SolidWorks Simulation, де перейшли до Статичного дослідження, рис. 3.8.

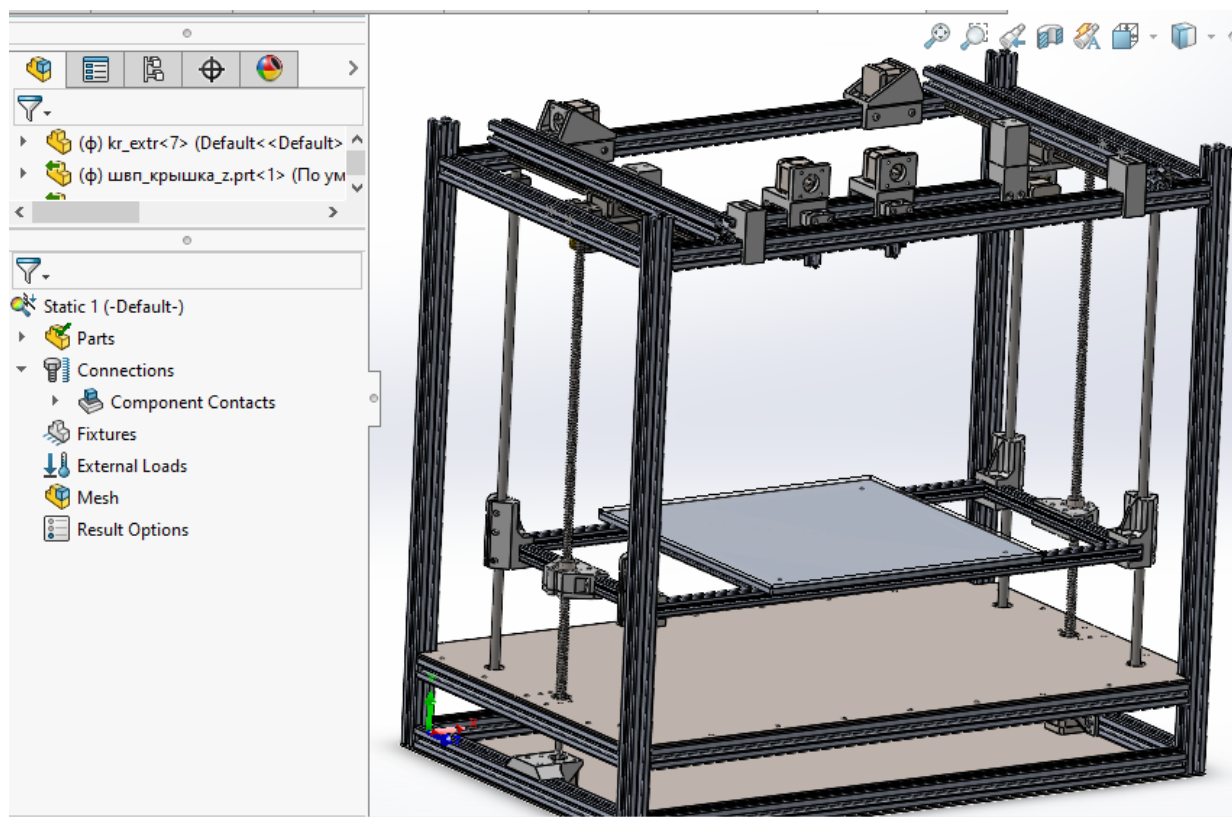


Рисунок 3.8 – Вікно SolidWorks Simulation

Для проведення дослідження існує послідовність та ряд вимог:

- а) перевірка на завдання усім моделям матеріалу;
- б) встановлення кріплення, у нашому випадку – фіксуючу геометрію;
- в) вибір та встановлення зовнішнього навантаження;
- г) побудова сітки;
- г) дослідження.

Для перевірки на завдання усім моделям матеріалу достатньо переконатися в наявності зеленої галки в строчці «PARTS», рис. 3.9. У разі відсутності зеленої галки можливо привласнити матеріал через дану строчку, а не переходити до збірки моделі та правити її там.

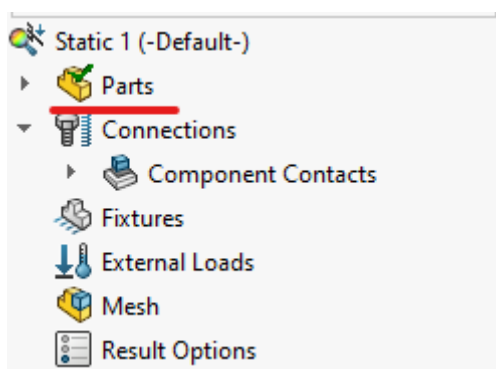


Рисунок 3.9 – Перевірка на завдання усім моделям матеріалу

Наступний крок – це встановлення кріплень. Так як у даній моделі 3D принтера з кінематикою Cartesian не використовуються кріплення типу Гвинт, була використана фіксована геометрія, рис. 3.10. В свою чергу вона надає інформацію системі у якому положенні закріплена модель та на якій с граней вона стоїть відносно землі.

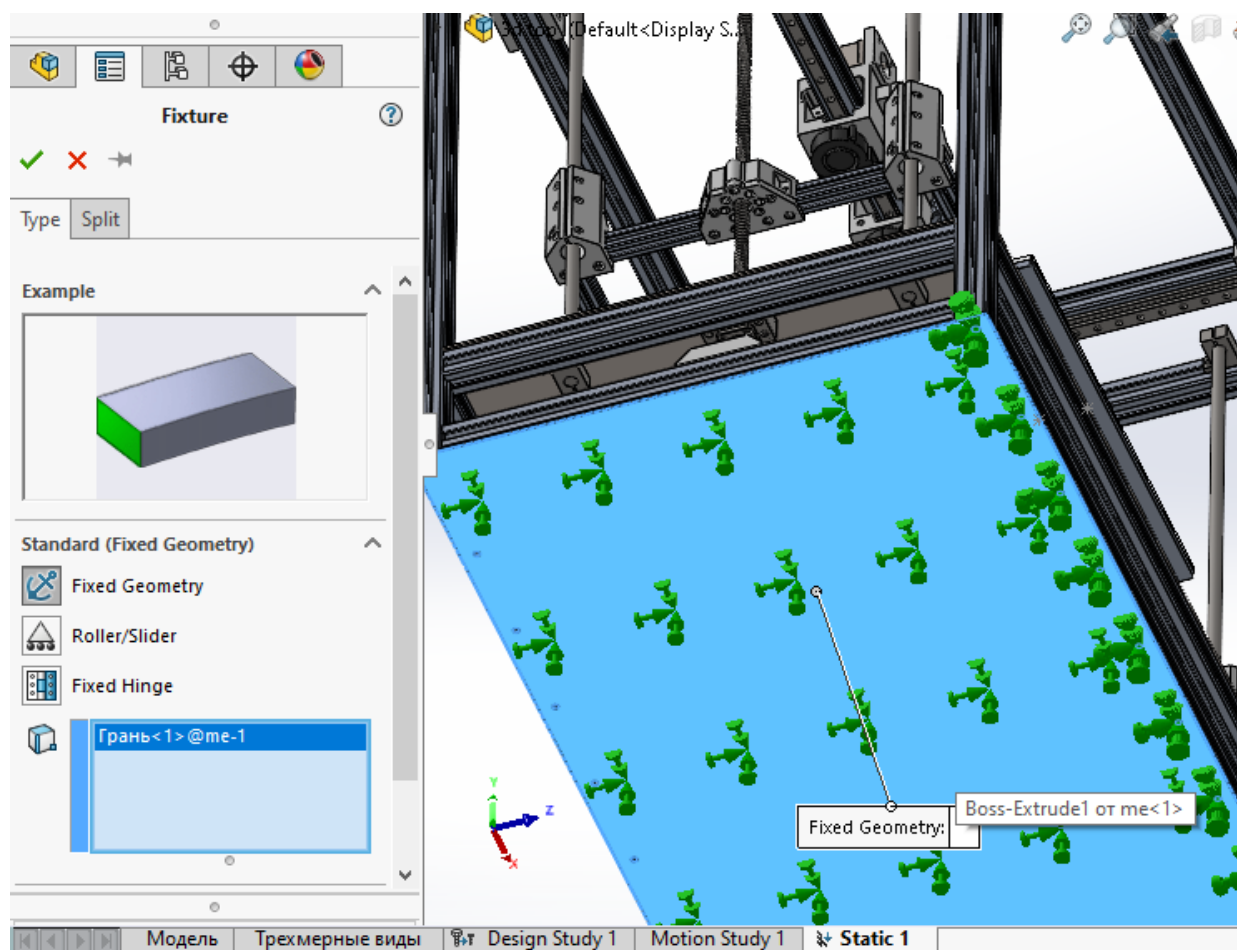


Рисунок 3.10 – Фіксована геометрія

Експеримент базується на завданні зовнішньої сили на розроблену конструкцію 3D принтера з кінематикою Cartesian, тому наступний крок встановлення зовнішнього навантаження. Перейшовши в меню «Зовнішні навантаження» обрали під меню «Сила». Для встановлення Зовнішньої сили обрали грань на котру буде застосовуватися дана сила та з якою вагою, рис. 3.11. Вагу можна задавати як у ньютоних так і в кілограмах.

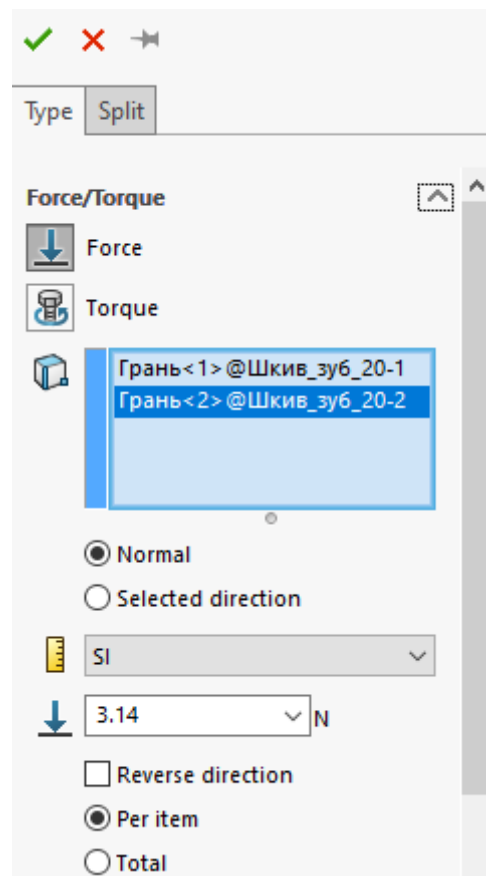


Рисунок 3.11 – Зовнішні навантаження

Завершальним етапом перед запуском та аналізом дослідження є побудова сітки. З тим урахуванням, що модель має велику кількість об'єктів, тому звичайна сітка в нашому випадку не підходить. Була застосована Змішана сітка, так як вона будується з фігур різних розмірів, що дає змогу побудувати її на різних по розміру та формі моделях, що в свою чергу не давала Базова сітка – постійно виникала помилка програми. На рис. 3.12 показана побудована

Змішана сітка, вона побудована на основі трикутників з мінімальним розміром, котрий обирався в параметрах Сітки.

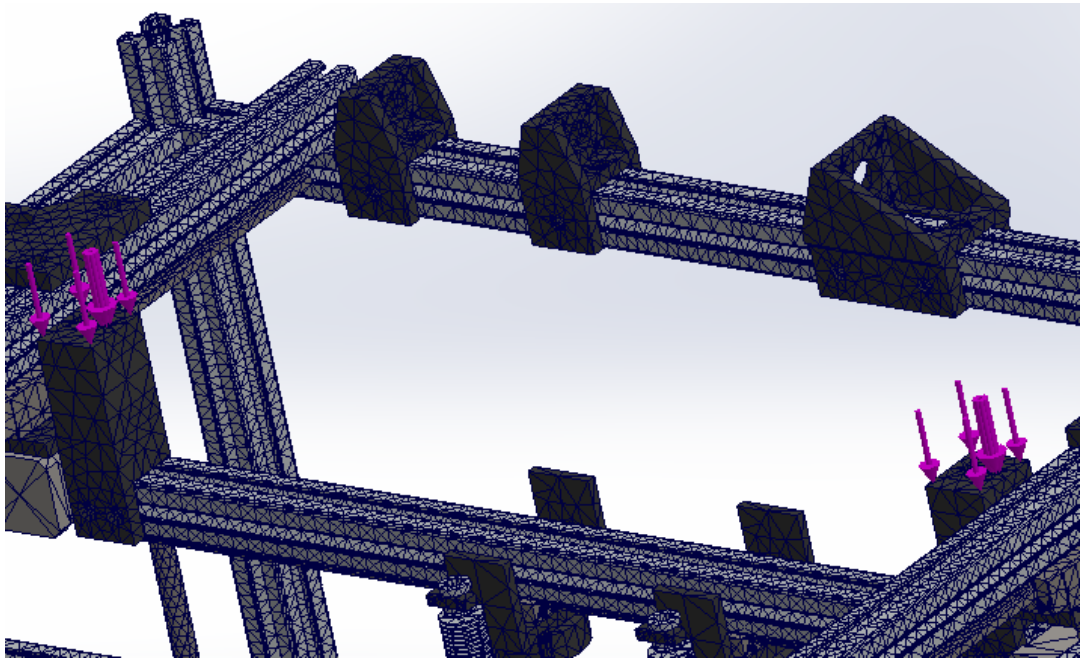


Рисунок 3.12- Побудована сітка на моделі

Після усіх налаштувань та підготовчих робіт перейшли до самого експерименту.

Спираючись на сукупність всіх раніше описаних модифікацій та оптимізації конструкції 3D принтера з кінематикою Cartesian, були обрані три основні грані на кожній з осей на котрих будуть проводитися експерименти.

На осі Y експеримент був проведений так чином, що на башту на якій кріпляться та підтягуються ремні була прикладена сила в 10 кг на кожну башту на рис. 3.13 приведений результат дослідження моделі до оптимізації конструкції. На рис. 3.14 вже приведена епюра після оптимізації конструкції. Як можна спостерігати після заміни матеріалу елементів конструкції с ABS на соPET результат поліпшився, звертаючись же числових значень можна спостерігати, що модель з елементами конструкції виготовленими з ABS пластики мають показники напруги на ось в піку $2,345e+08 \text{ Н/м}^2$, а вже з елементами конструкції виготовленими з соPET – $1,973e+08 \text{ Н/м}^2$.

Зміни, що стосуються осі X закладались не тільки в заміні матеріалу елементів конструкції, а і в переробці зворотного шків. До цього моменту зворотній шків був куплений в магазині та був виготовлений з неякісного сплаву алюмінію, тому під час друку через нього страждали якісні показники друку.

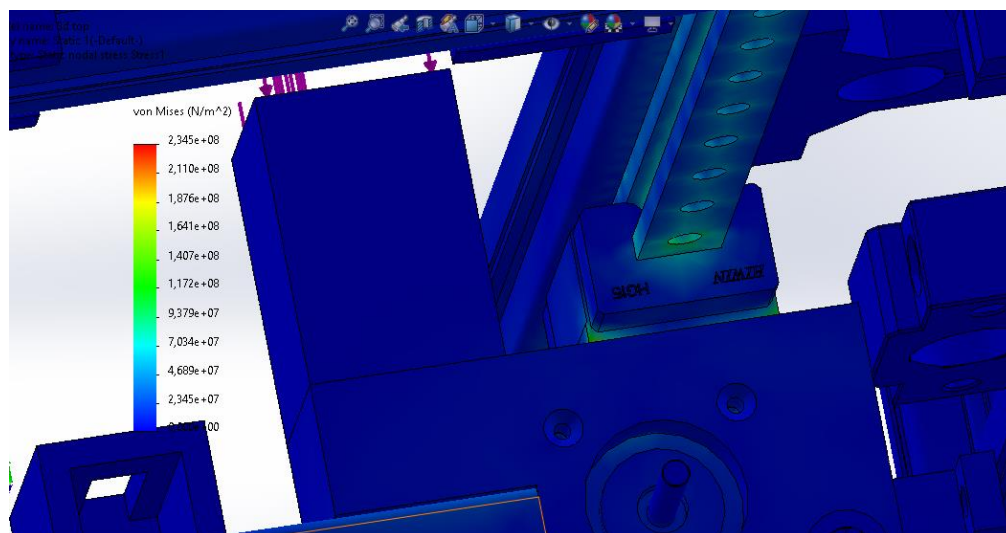


Рисунок 3.13 – Епюра до оптимізації Ось Y

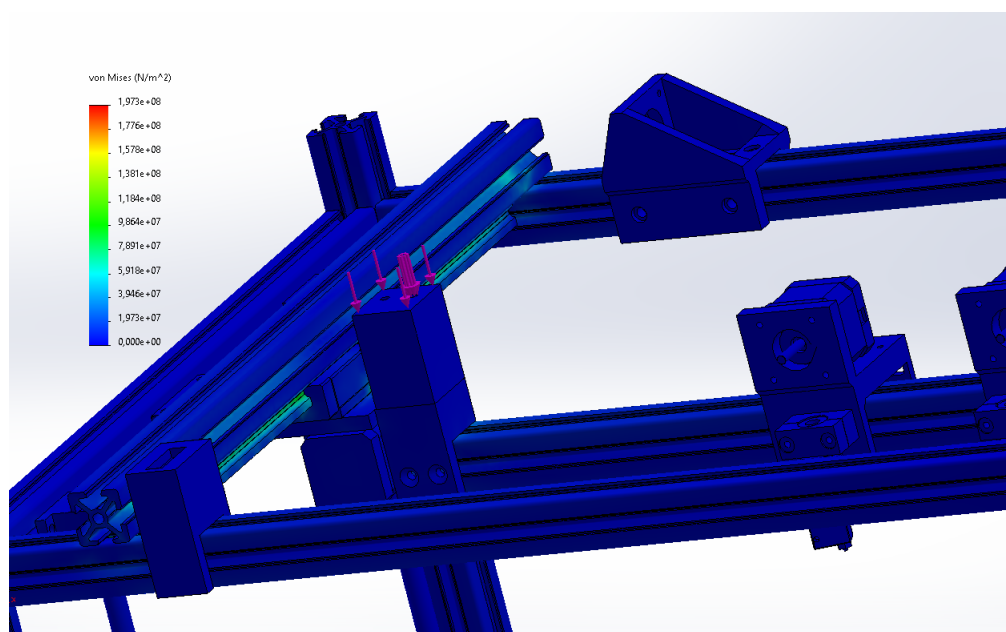


Рисунок 3.14 – Епюра після оптимізації Ось Y

Була розроблена нова збірна конструкція зворотного шків, котра була виготовлена з латуні, в свою чергу ця конструкція мала більші габарити, та мала

більш жорстку конструкцію ніж перший варіант. На рис. 3.15 приведена епюра на котрій прикладена певна сила до шківів до оптимізації конструкції. Для визначення сили був проведений розрахунок осьового зусилля передачі гвинта двигуна за формулою 3.1.

$$F = \frac{M}{l} = \frac{0,022}{0,007} = 3,14 (H) \quad (3.1)$$

де F – сила, Н;

M – момент обертів, Н/м;

l – довжина плеча (радіус шківів), м.

Момент обертів двигуна була взята зі справника по кроковому двигуну NEMA 17 моделі 17HS4402.

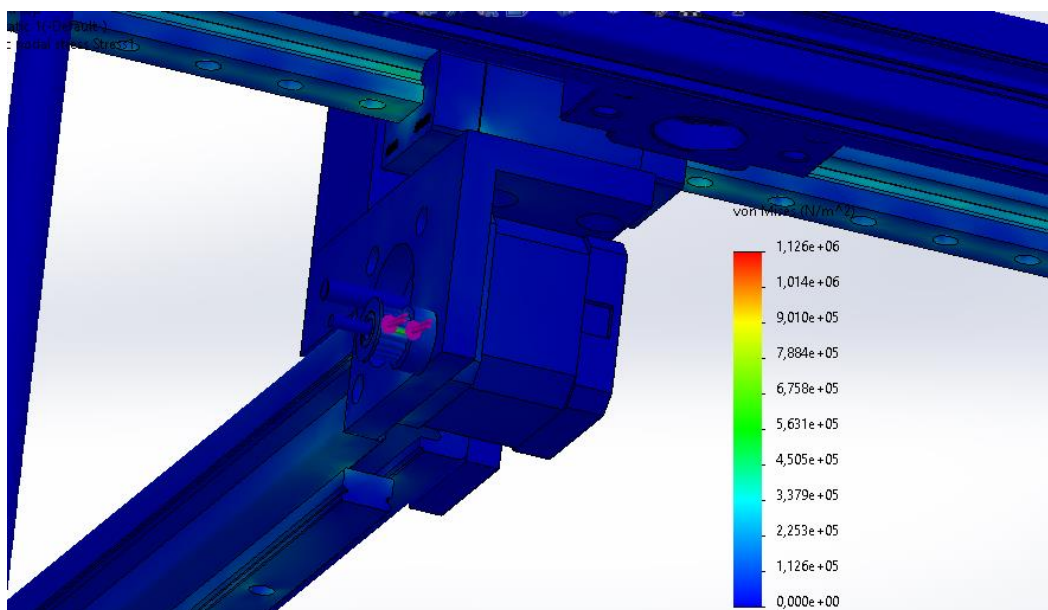


Рисунок 3.15 – Епюра до оптимізації Ось X

На рис. 3.16 представлена епюра після оптимізації механічних параметрів. Для проведення даного експерименту довелося вирізати з валу нового зворотного шківів елемент для того щоб округлу форму перетворити в форму з прямою гранню, на результат експерименту це ніяк не позначилось. Як можна

бачити показник напруги на шків у варіанті до оптимізації в піку мають $1,126e+0,6 \text{ Н/м}^2$, а після склав – $8,052e+0,5 \text{ Н/м}^2$. На такий результат вплинув ряд факторів, а саме: збільшення об'єму самої конструкції та осьового гвинта котрій кріпить шків до каретки осі Y, а також заміна матеріалу.

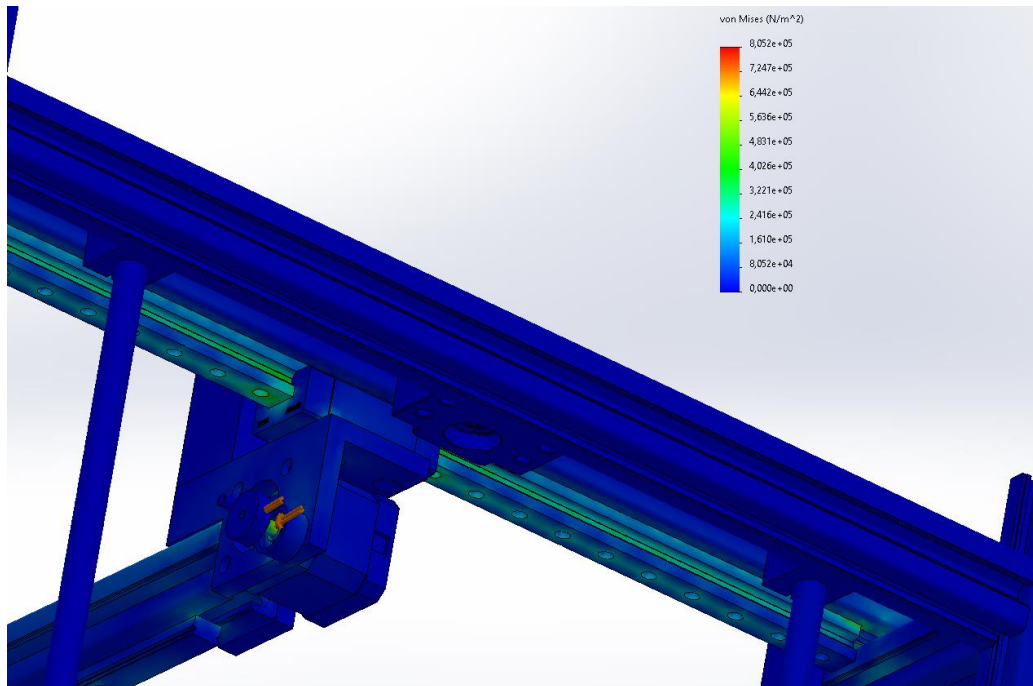


Рисунок 3.16 – Епюра після оптимізації Ось X

Останній експеримент полягав в перевірці розроблених кріплень по осі Z. На рис. 3.17 можна спостерігати, що при нарузці уся рама столика разом з кріпленнями до оптимізації зазнають великого навантаження, на епюре підсвічується більш теплими кольорами. Також можна побачити, що не тільки рама столика зазнає навантаження, а і алюмінієві верстатні профілі до котрих кріпляться стандартні опори кулько – гвинтової передачі та валу. Це можливо пояснити таким чином, що кріплення в основному виготовлені з ABS пластику котрий не достатньо жорсткий для даної конструкції 3D принтера Cartesian. Звертаючи увагу на кріплення КГП, можна пояснити це тим, що кріплення має недостатню товщину, а також володіє малою площею доторкання, не рятувало цю проблему навіть текстолитова плитка котра була призвана до зменшення вібрацій як раз за рахунок збільшення площі доторкання.

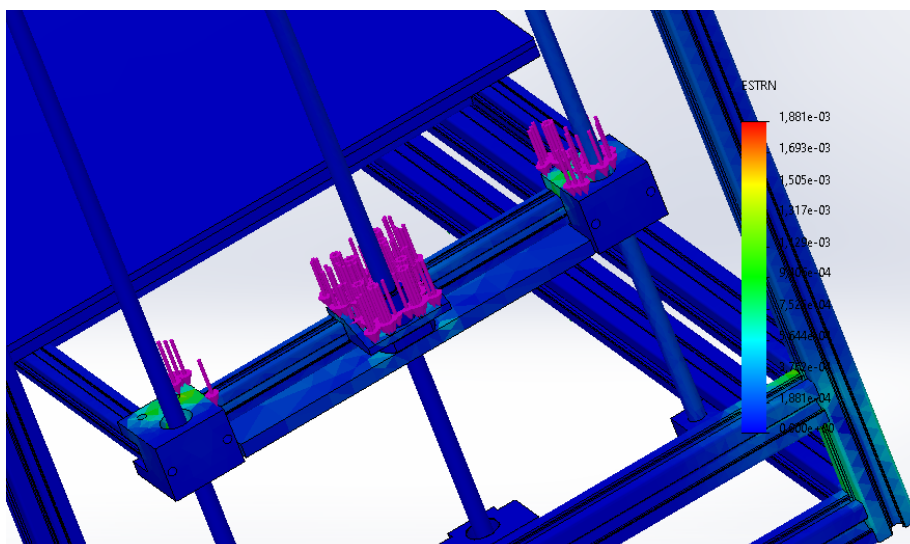


Рисунок 3.17 – Епюра до оптимізації Ось Z

На рис. 3.18 приведена епюра після оптимізації, на котрій ми вже бачимо мінімальну кількість навантажень як на елементах кріплення рами до напрямних так і на самій рамі столика.

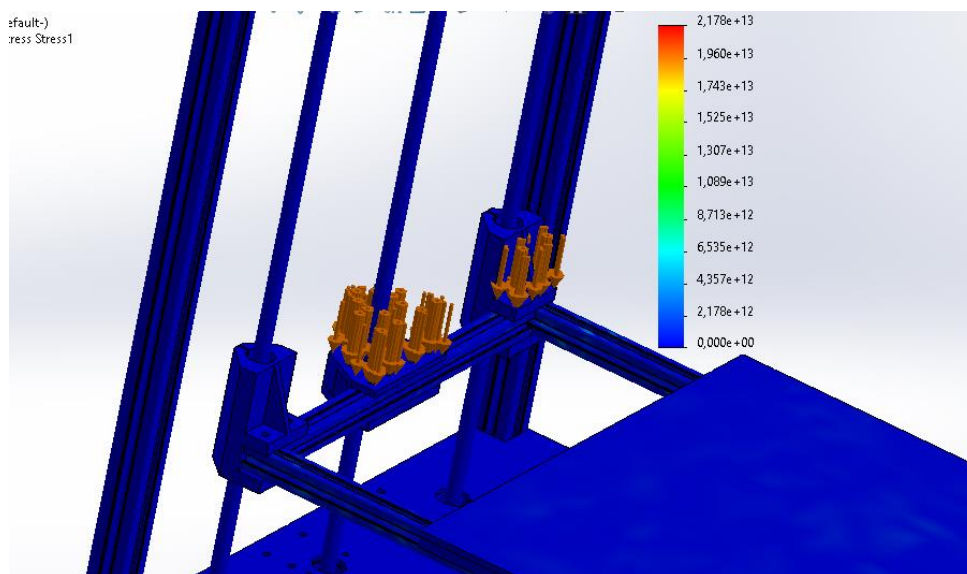


Рисунок 3.18 – Епюра після оптимізації Ось Z

Таким чином були оптимізовані механічні параметри 3D принтера з кінематикою Cartesian. Для наочності результатів експерименту були роздруковані калібрувальні кубики на конструкції до оптимізації механічних параметрів, а також вже після оптимізації її. На рис. 3.19 представлені три зразки.



а)

б)

в)

а) куб зі збитою геометрією до оптимізації механічних параметрів; б) куб з хвилями до оптимізації механічних параметрів; в) куб після оптимізації механічних параметрів 3D принтера

Рисунок 3.19 – Куби для калібрування принтера

На рис. 3.19, а представлений куб для калібрування зі збитою геометрією, тобто при друці даного куба збилось позиціювання осі Y, що в свою чергу призвело зміни геометрії і на виході отримали калібрувальний куб, котрий має ромбоподібну форму, рис. 3.20. За весь час таких випадків траплялось чотири рази.

Наступний куб рис. 3.19, б, має дефект поверхні, вона хвилеподібної форми. Такий дефект виник через надмірну вібрацію та розхитування принтера під час друку. Якщо підставка, до якого приєднаний принтер, коливається або вібрує під час друку, тоді буде коливатися або вібрувати і сопло. Це призведе до того, що деякі шари виявляться трохи товщі, ніж інші. Такі товсті шари будуть проявлятися у вигляді нерівностей на бічних поверхнях друкованого об'єкта. Також даний зразок має дефект пов'язаний з прослизанням ремня по осі X,

точніше під час друк при пересуванні каретки вліво-вправо неправильно відпрацьовував зворотний шків, що впливало на якісні показники друку, а саме зміщення деталі в ліву чи вправу сторону на декілька міліметрів, рис. 3.21. Ця проблема виникала дуже часто, а ж до самої заміни зворотного шківа.

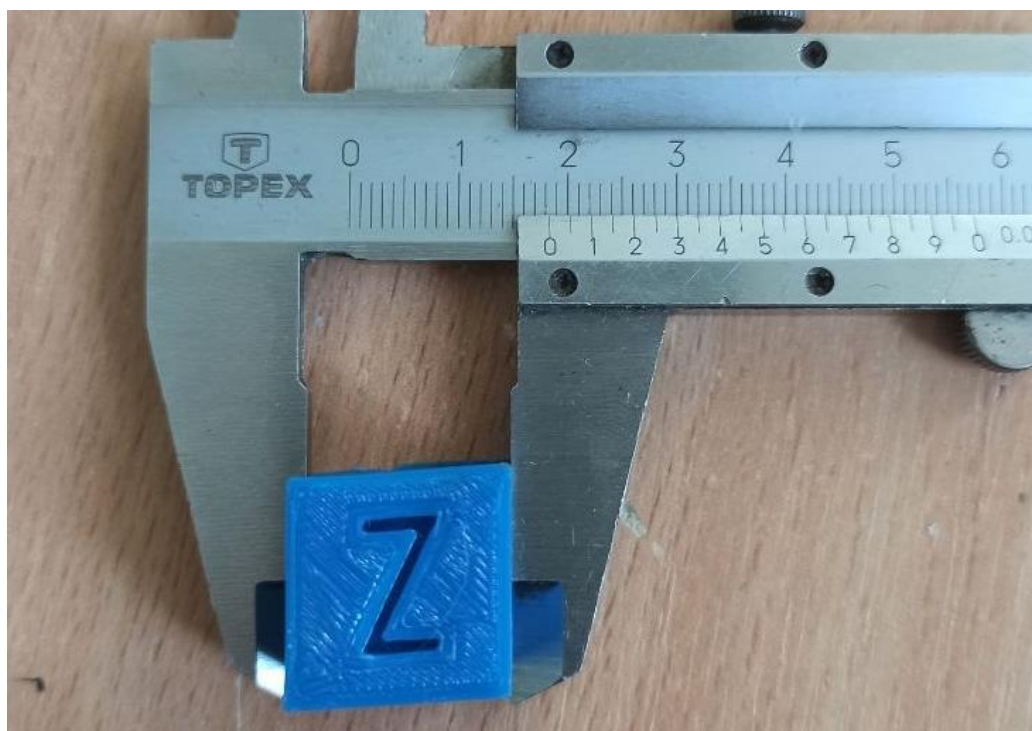


Рисунок 3.20 – Калібрувальний куб ромбоподібної форми

Наступний куб рис. 3.19, б, має дефект поверхні, вона хвилеподібної форми. Такий дефект виник через надмірну вібрацію та розхитування принтера під час друку. Якщо підставка, до якого приєднаний принтер, коливається або вібрує під час друку, тоді буде коливатися або вібрувати і сопло. Це призведе до того, що деякі шари виявляться трохи товщі, ніж інші. Такі товсті шари будуть проявлятися у вигляді нерівностей на бічних поверхнях друкованого об'єкта. Також даний зразок має дефект пов'язаний з прослизанням ремня по осі X, точніше під час друк при пересуванні каретки вліво-вправо неправильно відпрацьовував зворотний шків, що впливало на якісні показники друку, а саме зміщення деталі в ліву чи вправу сторону на декілька міліметрів, рис. 3.21. Ця проблема виникала дуже часто, а ж до самої заміни зворотного шківа.



Рисунок 3.21 – Калібрувальний куб з дефектом зміщення

Останній зразок, рис. 3.19, в, був надрукований вже після оптимізації механічних параметрів 3D принтера з кінематикою Cartesian. Даний калібрувальний куб, рис. 3.22, немає дефектів, а також відповідає розмірам котрі задавались на етапі моделювання.

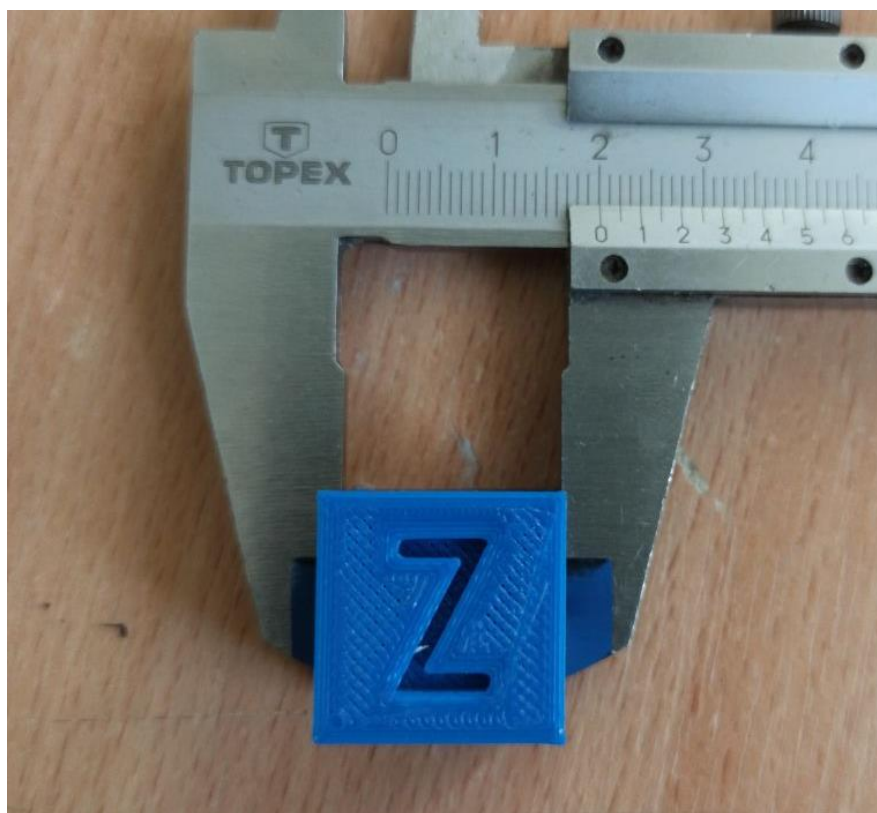


Рисунок 3.22 – Калібрувальний куб після оптимізації механічних параметрів

3.3 Висновки до 3 розділу

Отже, за результатом проведених досліджень було виявлено, що механічна складова 3D принтера з кінематикою Cartesian до оптимізації не могла забезпечувати достатні якісні показники друку, тому і була проведена повна його оптимізація. В свою чергу це призвело до максимального покращення якості надрукованих деталей та їх точностних параметрів. Звертаючись до числових показників на осі X з прикладеною силою в 3,14 Н було навантаження в піку на шків $1,126+06 \text{ Н/м}^2$, стало $- 8,052\text{e}+05 \text{ Н/м}^2$; на осі Y з прикладеною силою в 10 кг було навантаження в піку на башту каретки $2,345\text{e}+08 \text{ Н/м}^2$, стало $- 1,973\text{e}+08 \text{ Н/м}^2$; при випробуванні на осі Z з прикладеною силою в 10 кг було навантаження в піку на кріплення рами столика до вертикальних напрямних $1,881\text{e}+15 \text{ Н/м}^2$, стало $- 2,178\text{e}+13 \text{ Н/м}^2$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Правові та нормативні основи охорони праці в Україні

Законодавство України про охорону праці являє собою систему взаємозв'язаних нормативно-правових актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Складається з:

а) Закону України «Про охорону праці», затверджений Постановою Верховної Ради України від 14.10.92;

б) Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», затверджений Постановою Верховної Ради України від 23.09.99;

в) Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», затверджений Постановою Верховної Ради України від 24.02.94;

г) Закон України «Про пожежну безпеку», затверджений Постановою Верховної Ради України від 17.12.93;

г) Законодавчий акт про «Основи законодавства України про охорону здоров'я» від 19.11.92;

д) Кодекс законів про працю «КЗПП» України затверджено Законом Української РСР від 10.12.71 і введено в дію з 1.06.72;

е) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених Наказом Держгірпромнагляд від 09.01.98;

є) Пожежна безпека. Загальні вимоги – ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.004 – 91 ССБТ.

4.2 Аналіз умов праці в лабораторії

Аналізоване приміщення, розташоване на першому поверсі п'ятиповерхового будинку. Комп'ютерна лабораторія обладнана робочими місцями, оснащеними персональними комп'ютерами (ПК). Воно має такі параметри: довжина – 7,4 м, ширина – 5, м, висота – 4 м. У приміщенні обладнано 5 робочих місць.

$$S = a * b \quad (4.1)$$

де S – площа, м²;

a – довжина, м;

b – ширина, м.

$$S = 7,4 * 5 = 37 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$V = a * b * c \quad (4.2)$$

де V – об'єм, м³;

a – довжина, м;

b – ширина, м;

c – висота, м.

$$V = 7,4 * 5 * 4 = 148 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$S_1 = S/n \quad (4.3)$$

де S_1 – площа на одну людину, м²;

S – площа приміщення, м²;

n – кількість робочих місць.

$$S_1 = \frac{37}{5} = 7,4 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$V_1 = V/n \quad (4.4)$$

де V_1 – об'єм на одну людину, м³;

V – об'єм, м³;

n – кількість робочих місць.

$$V_1 = \frac{148}{5} = 29,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Таким чином, площа приміщення становить 37 м², обсяг – 148 м³, тобто на кожне робоче місце припадає 7,4 м² площі і 29,6 м³ обсягу, що відповідає вимогам НПАОП 0.00–1.28–10 при $S = 6 \text{ м}^2$ і $V = 20 \text{ м}^3$.

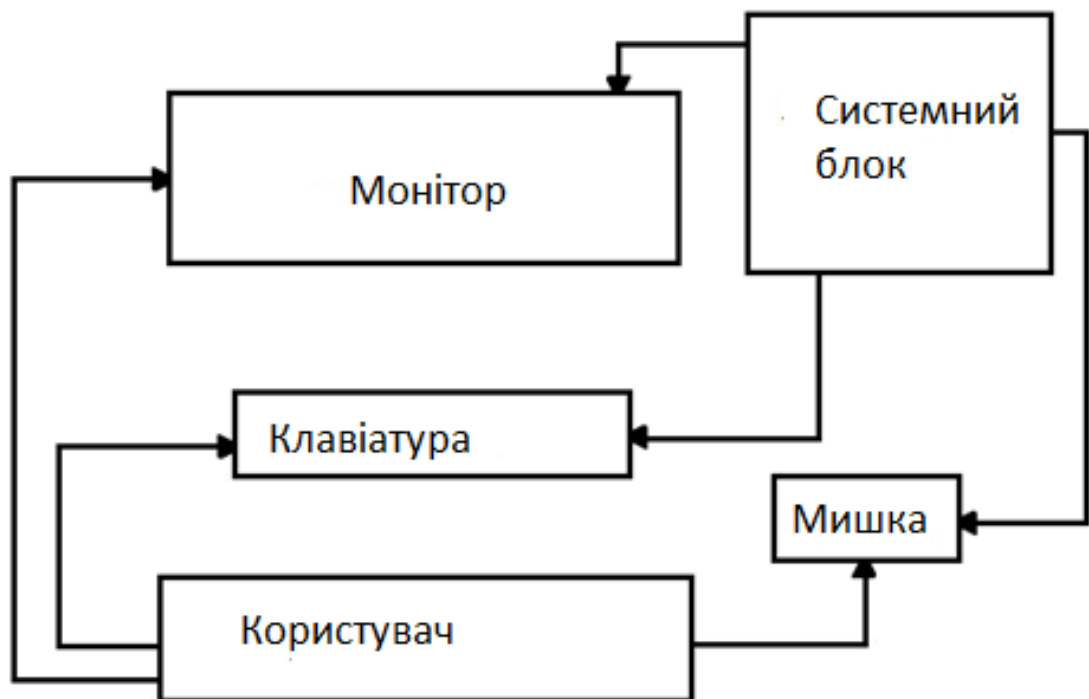


Рисунок 4.1 – Функціональна схема робочого місця

Кожен користувач має в своєму розпорядженні ПК. Системний блок, як ядро – включає в себе монітор, клавіатуру і мишу. У свою чергу користувач здійснювати взаємозв'язок через пристрої введення–виведення. Функціональна схема одного робочого місця представлена на рисунку 4.1.

Розглянемо систему Л–М–С, обмежену розмірами аналізованого приміщення, в складі всього робочого колективу і всього комплексу технічних засобів, прямо або побічно беруть участь в технологічному процесі.

Елемент «Людина» поділяється на три частини: Ч1 – це людина, яка виконує виробничі завдання за допомогою електронно–обчислювальної машини; Ч2 – людина, що розглядається з точки зору безпосереднього впливу на навколишнє середовище робочого простору; Ч3 – людина, яка розглядається з точки зору його фізіологічного стану під впливом факторів, які впливають на неї у виробничому процесі.

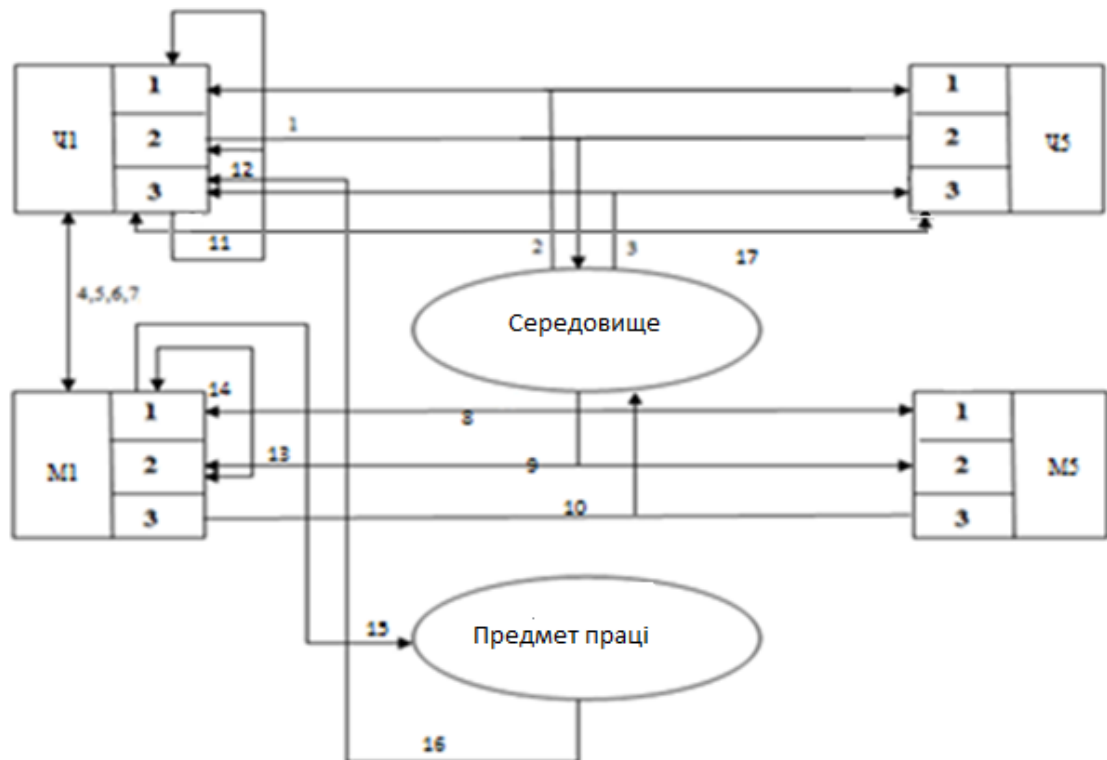


Рисунок 4.2 – Схема системи ЛМС

Елемент «Машина» виконує основну технологічну функцію, а також формує параметри навколишнього середовища. Цей елемент може бути

розділений на три частини: M1 – ЕОМ, яка виконує основну технологічну функцію (обробку даних розробника); M2 – машина як елемент аварійного захисту ЕОМ; МОЗ – машина як елемент впливу на зовнішнє середовище і працівника (шум, температура, випромінювання).

Предмет праці – розробка алгоритму обходу перешкод мобільного робота.

На рисунку 4.2 представлена узагальнена структурна схема системи ЛМС.

Відповідно до такої схеми проводиться аналіз умов життєдіяльності людини з метою розробки захисних заходів, що забезпечують його безпеку.

4.3 Промислова безпека в лабораторії

Згідно НПАОП 40.1–1.21–98, за ступенем небезпеки ураження електричним струмом, виробниче приміщення належить до класу приміщень без підвищеної небезпеки. У приміщенні виключена можливість одночасного дотику людини до корпусів електрообладнання і заземленим металевим конструкціям будівель і споруд, що мають зв'язок з землею; відносна вологість, які тривалий час перевищує 75%; активна хімічна середовище, руйнівна діє на ізоляцію і струмоведучі частини машин струмопровідні підлоги. Для створення безпечних умов праці проведено ряд організаційних та технічних заходів.

Електропостачання приміщення здійснюється від трифазної чотирьох мережі з глухозаземленою нейтраллю, струм змінний, частота 50 Гц, напруга 380/220 В.

До роботи допускаються особи, які вивчили інструкцію з техніки безпеки, а також пройшли інструктаж з безпеки праці на робочому місці. Згідно НПАОП 0.00–4.12–05 на робочому місці проводяться наступні види інструктажів: вступний, первинний, повторний, позаплановий інструктажі з занесенням в журнал обліку інструктажів.

Вступний інструктаж проводиться з метою ознайомлення з загальними положеннями з техніки безпеки службою охорони праці. Первинний інструктаж на робочому місці проводить керівник до початку роботи з метою ознайомлення

з конкретною обстановкою і безпечними прийомами роботи на робочому місці. Повторний інструктаж проводиться з метою підвищення знань з охорони праці та техніки безпеки, частота проведення повторного інструктажу раз в 6 місяців. Позаплановий інструктаж проводиться на робочому місці при заміні або модернізації обладнання.

Основна міра захисту від впливу електричним струмом виконана: система заземлення типу TN–C–S і контроль опору ізоляції проводиться не рідше одного разу на рік при відключеному електроживленні на ділянках між нульовим захисним і фазою, фазою–фазою, нульовий робочий – фаза. Опір ізоляції не менше 0.5м Ом.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

У разі НС евакуація відбувається через вхідні (вихідні) двері. Обладнати додатковий вихід не представляється можливим і в цьому немає необхідності, тому що відповідно до ДБН В.1.1–7–2002 допускається передбачати один евакуаційний вихід (без влаштування другого), якщо з приміщення, розташованого на будь-якому поверсі (крім підвальних та цокольного), цей вихід веде до двох евакуаційних виходів з поверху, де відстань від найбільш віддаленого робочого місця до виходу з приміщення не перевищує 5 м і кількість працюючих в найбільш численній зміні не перевищує 5 осіб в приміщенні категорії А і Б, 25 осіб категорії В і 50 осіб – категорії Г і Д.

Приміщення лабораторії по вибухо-пожежної і пожежної небезпеки, згідно НАПБ Б.03.002–2007, відноситься до категорії В, горючими компонентами в лабораторії є: перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін. За пожежонебезпеки дане приміщення класифікується як приміщення класу П–Па згідно НПАОП 40.1–1.01–97, так як це приміщення, в якому є меблі з дерева і ДВП. Причиною виникнення пожежі може стати перенапруження або несправність електропроводки. Будівля, згідно ДБН В.1.1.7–2002 має II ступінь вогнестійкості.

Згідно НАПБ Б.03.001 – 2004 «Типові норми належності вогнегасників» в приміщенні необхідно розмістити: ручні вуглекислотні вогнегасники, який застосовується при гасінні невеликих вогнищ і може бути використаний для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою. Відповідно до НАПБ Б.03.001–2004 ці кошти пофарбовані в яскраво–червоний колір і знаходяться в легкодоступних місцях, при виході з приміщення. Протипожежний захист досягається застосуванням первинних засобів пожежогасіння. У лабораторії розміщується: 2 вуглекислотних вогнегасників ВВК–2 з розрахунку 1 вогнегасник на 3 ПК; телефон, встановлений в легкодоступному місці сповіщувач типу ІПК–5 «Премія–ер», що реагує на появу диму або підвищення температури понад 55, встановлений на стелі над робочим місцем оператора ПЕОМ (1 на 100 м², але не менше 2–х на одне приміщення) автоматична пожежна сигналізація, яка реагує на появу диму, протипожежне покривало, ящик з піском з об'ємом 0,25 м³. застосування автоматичної установки пожежної сигналізації; телефон, встановлений в легкодоступному місці; організація евакуації відбувається згідно ППБ України без додаткового евакуаційного виходу, так як в приміщенні одночасно знаходяться щонайменше 25 людей, евакуація проводиться за планом евакуації виробничого приміщення через основні двері.

Приміщення лабораторії має один робочий вихід шириною 1 м. Додаткового евакуаційного виходу не потрібно. План евакуації повинен бути розміщений на стіні біля виходу з приміщення. На евакуаційних шляхах організовано як природне, так і штучне аварійне освітлення.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі магістра проведено оптимізацію механічних параметрів 3D принтера з кінематикою Cartesian, Dual X Carriage.

Для цього в першому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання, аналіз механічних параметрів, що впливають на якість 3D друку, аналіз механічних впливів на конструкцію 3D принтера, а також аналіз впливу прикладеної механічної сили на розроблену модель 3D принтера з кінематикою Cartesian.

За результатами аналізу механічних параметрів, котрі впливають на якість 3D друку була виконана модернізація конструкції 3D принтера з кінематикою Cartesian, що в свою чергу призвело до оптимізації механічних параметрів та покращення якісних показників надрукованих деталей.

Було розроблено нові модернізовані 3D моделі елементів кріплення для макету 3D принтера Cartesian Dual X Carriage. 3D моделі елементів кріплення роздруковані за допомогою технології 3D-друку. Для оптимізації механічних параметрів 3D принтера з кінематикою Cartesian була виконана модернізація елементів конструкції на кожній осі, а саме були перероблені: кріплення рами столика до вертикальних напрямних, що дало змогу позбутися вібрацій та похитувань рами столика, при випробуванні на осі Z з прикладеною силою в 10 кг було навантаження в піку на кріплення рами столика до вертикальних напрямних $1,881e+15 \text{ Н/м}^2$, стало – $2,178e+13 \text{ Н/м}^2$; були модернізовані каретки двох екструдерів, щоб позбутися перекосів самої каретки, також на даній осі був модернізований зворотний шків, що в свою чергу дало змогу суттєво покращити точності та якісні показники друку, на осі X з прикладеною силою в 3,14 Н було навантаження в піку на зворотній шків $1,126+06 \text{ Н/м}^2$, стало – $8,052e+05 \text{ Н/м}^2$; на осі Y для зменшення навантаження на один двигун та покращення точності друку був замінений двохваловий двигун на два одновалові, для них були модернізовані пластикові елементи кріплення, на осі Y з прикладеною силою в

10 кг було навантаження в піку на башту каретки $2,345e+08$ Н/м², стало – $1,973e+08$ Н/м². В основі конструкції були добавлені дві металеві пластини для зміщення центру ваги з гори до низу конструкції. В сукупності всіх вище перерахованих модернізації призвело до оптимізації механічних параметрів 3D принтера з кінематикою Cartesian.

В атестаційній роботі магістра проведена комп'ютерна симуляція механічного впливу на розроблену конструкцію 3D принтера Cartesian.

Розглянуто питання охорони праці.

Результати магістерської атестаційної роботи апробовані у фаховий статті Д.О. Бойко. Аналіз механічних частин 3D принтера/Бойко Д.О.// Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020) збірник студентських наукових статей (Випуск 1) – Харків: ХНУРЕ, 2020.: 147- 153.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст] / І.Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016 – 320с.

2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.

3. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.

4. Кінематика 3D принтерів. Види і особливості. Робимо свій вибір [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://3dprinter.ua/kinematika-3d-printerov-vidy-i-osobennosti-delaem-svoj-vybor/>); дата використання [03.09.2020].

5. Простий спосіб боротьби з деламінацією [Електронний ресурс]; режим доступу (<http://3dtoday.ru/blogs/sergey225/a-simple-way-of-dealing-with-delamination/>); дата використання [18.09.2020].

6. Кінематика принтера. Що краще? [Електронний ресурс]; режим доступу (http://infinum3d.blogspot.com/2014/04/blog-post_18.html); дата використання [19.09.2020].

7. 3D друк для самих новеньких. Від А до Я. Кінематика. [Електронний ресурс]; режим доступу (<http://3dtoday.ru/blogs/dagov/3d-printing-for-beginners/>); дата використання [22.09.2020].

8. Плюсы и минусы недорогих моделей 3D принтеров. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://hyser.com.ua/tehnology/68750-68750>); дата використання [02.10.2020].

9. SCARA. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://ru.wikipedia.org/wiki/SCARA>); дата використання [02.10.2020].

10. Обзор 3D принтеров с двойной моделью SCARA. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://tehnoobzor.com/tests-reviews/to-office-equipment/2496-obzor-3d-printerov-na-sdvoennoy-modeli-scara.html>); дата використання [02.10.2020].

11. R 360/ru. [Електронний ресурс]; режим доступу (https://reprap.org/wiki/R_360/ru); дата використання [13.10.2020].

12. 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://m.all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>); дата використання [13.10.2020].

13. Профиль алюминиевый конструкционный: преимущества, недостатки, эксплуатационные характеристики. [Електронний ресурс]; режим доступу (<http://megabeaver.ru/materials/profil/profil-alyuminievyyj-konstrukcionnyj-preimushhestva-nedostatki-ekspluatacionnye-xarakteristiki.html>); дата використання [14.10.2020].

14. Развенчание мифов – валы и рельсы. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://3dtoday.ru/blogs/3d-sprinter/debunking-myths-shafts-and-rails/>); дата використання [14.10.2020].

15. Виды передач. [Електронний ресурс]; режим доступу (<http://tool-land.ru/gears.php>); дата використання [16.10.2020].

16. Что такое модернизация. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://ktonanovenkogo.ru/voprosy-i-otvety/modernizaciya-chto-eh-to-takoe.html>); дата використання [19.10.2020].

17. Copet Пластик (Полиетилентерефталат) Monofilament 1,75 Мм Прозрачний. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://3ddevice.com.ua/product/co-pet-plastik/>); дата використання [21.10.2020].

18. ЧПУ привод. Какую передачу выбрать? [Електронний ресурс]; режим доступу (http://wiki.purelogic.ru/index.php?title=%D0%A7%D0%9F%D0%A3_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4._%D0%9A%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%8E_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D1%83_%D0%B2%D1%8B%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%8C%3F); дата використання [22.10.2020].

19. Фанера – особенности материала, а также его достоинства и недостатки. [Електронний ресурс]; режим доступу (<http://allparket.com/wiki/item/4-21-994.htm>); дата використання [24.10.2020].

20. Методичні вказівки до магістерської атестаційної роботи для студентів усіх форм навчання спеціальності 8.05090203 «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»/ Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін, Є.А. Разумов-Фризюк, І.В. Жарікова. – Харків: ХНУРЕ, – 2011. – 49с.

21. Основи наукових досліджень: Навч. Посібник/ І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.

22. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. – Кривий ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с.