

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

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ DLP 3D-
ПРИНТЕРА НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ 3D ДРУКУ

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. ІТМРТм-19-1
Гладських Кирило Ігорович
(прізвище, ініціали)

Спеціальність
172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньої програми Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки
(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Хрустальов К. Л.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	<u>Автоматики і комп'ютеризованих технологій</u>
Кафедра	<u>Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки</u>
Рівень вищої освіти	<u>другий (магістерський)</u>
Спеціальність	<u>172 Телекомунікації та радіотехніка</u>
Тип програми	<u>освітньо-професійна</u>
Освітня програма	<u>Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки</u> (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____

Гладських Кирилу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання впливу механічних параметрів DLP
3D-принтера на якісні показники 3D друку

затверджена наказом по університету від 02.11.2020 р. № 1508Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 08. 12 . 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Джерело живлення: 220 В, 50 Гц. потужність, що
споживається 360 Вт

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Аналіз предметної області дослідження

4.2 Розрахунок механічної частини принтера DLP

4.3 Проведення експериментальних досліджень

4.4 Охорона праці

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

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області дослідження	20.09–26.09	виконано
2	Розрахунок механічної частини принтера DLP	03.10–12.10	виконано
3	Проведення експериментальних досліджень	01.11–16.11	виконано
4	Оформлення пояснювальної записки	17.11–23.11	виконано
5	Подання у ЕК	08.12	виконано
6			
7			

Дата видачі завдання

Студент

(підпис)

Гладських К. І.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Хрустальов К. Л.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 78 с., 5 табл., 35 рис., 2 дод., 16 джерел.

3D-ПРИНТЕР, ДРУК ПО ТЕХНОЛОГІЇ DLP, ШАРИКО-ГВИНТОВА ПЕРЕДАЧА, 3D ДРУК, КАРЕТКА ДЛЯ ПРЕМІЩЕННЯ СТОЛУ, КРІПЛЕННЯ КРОКОВОГО ДВИГУНА.

Мета роботи – підвищення якості механічних параметрів 3D-принтера, що впливають на якість 3D друку по технології DLP.

Об'єкт дослідження – процес 3D друку за технологією DLP.

Методи дослідження – експеримент, аналіз і синтез, індукція і дедукція, математичне моделювання. За основу метода дослідження обрано експеримент.

Предмет дослідження – механічні параметри 3D-принтера, які впливають на якість 3D друку.

В ході виконання магістерської атестаційної роботи було виконано аналіз кінематики та принципу друку по технології DLP, аналіз існуючих механічних передач, розрахунок механічної частини принтера DLP та розроблено механіку конструкції принтера, проведено екскременти з кареткою принтера.

На основі результатів виконаних досліджень розроблено макет фотополімерного 3D-принтера.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 78 page, 5 table applications, 35 drawings, 2 additions, 16 sources.

3D PRINTER, PRINTING ON DLP TECHNOLOGY, BALL SCREW TRANSMISSION, 3D-PRINTING, TROLLEY FOR MOVING THE TABLE, MOUNTING OF THE STEPPER ENGINE.

The purpose of the work is to improve the quality of mechanical parameters of the 3D printer, which affect the quality of 3D printing using DLP technology.

The object of research is the process of 3D printing using DLP technology.

Research methods is experiment, analysis and synthesis, induction and deduction, mathematical modeling. An experiment was chosen as the basis of the research method.

The subject of research is the mechanical parameters of the 3D printer, which affect the quality of 3D printing.

During the master's certification work, the analysis of kinematics and the principle of printing on DLP technology, analysis of existing mechanical transmissions, calculation of the mechanical part of the DLP printer and developed the mechanics of the printer design, performed experiment with the printer carriage.

Based on the results of the research, a model of a photopolymer 3D printer was developed.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	7
Вступ.....	8
1 Аналіз сучасного стану області дослідження	10
1.1 Особливості кінематики DLP 3D-принтера	10
1.2 Аналіз видів передач	14
1.3 Вплив механічних елементів на друк.....	31
1.4 Аналіз технічного завдання	32
1.5 Висновки до першого розділу	35
2 Розрахунок механічної частини принтера DLP	36
2.1 Розробка конструкції корпусу	36
2.2 Розробка механіки принтера.....	47
2.3 Висновки до другого розділу.....	51
3 Проведення експериментальних досліджень	52
3.1 Порівняння конструкцій фотополімерного 3D-принтера з різними конструкційними та механічними параметрами	52
3.2 Висновки до третього розділу	63
4 Охорона праці.....	64
4.1 Аналіз умов праці в лабораторії	64
4.2 Промислова безпека в лабораторії	67
4.3 Виробнича безпека в лабораторії	68
4.4 Висновки до четвертого розділу.....	70
Висновки.....	71
Перелік посилань	73
Додаток А Графічні елементи	76
Додаток Б Демонстраційний матеріал у вигляді презентації	77

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- ККД – коефіцієнт корисної дії
- РЕА – радіоелектронний апарат
- ТЗ – технічне завдання
- ТМ – торгова марка
- УФ – ультрафіолет
- УХЛ – помірний і холодний клімат
- ЧПУ – числове програмне управління
- КГП – кулькова-гвинтова передача
- Co-PET – поліетилентерефталат
- DLP – Digital Led Projection
- FDM – Fused Deposition Modeling
- MJM – Multi Jet Modeling
- SLA –Stereo Lithography
- SLS – Selective Laser Sintering

ВСТУП

Сьогодні 3D друк поширений у всьому світі. Ми живимо в той час, коли дизайнеру, архітектору або конструктору не обійтися без 3D друку, тому що створення зразків наглядно демонструють нові моделі та деталі. Також за допомогою створених зразків проходить презентація нового проекту. Ювелірні заводи використовують 3D друк в якості зразку для створення ювелірної прикраси.

Існують різноманітні технології, які використовують у 3D друку: лазерна стерео літографія SLA, селективне лазерне спікання SLS, технологія наплавлення MJM, технологія наплавлення DLP, пошарова укладка полімеру FDM. В фотополімерних 3D-принтерах застосовують технології SLA і DLP. Такі принтери служать для печаті високо точних деталей. На принтерах SLA можна створювати точні деталі з повторюваними розмірами. Це особливо важливо для функціональних додатків, таких як конструкторські збірки, форми для відливання прикрас або стоматологічних виробів за результатами сканування, пропонує найбільшу свободу дизайну серед усіх технологій 3D друку. Залежно від геометрії деталі, увігнуті і опуклі елементи можуть бути виконані з точністю в 0,01 мкм. Це особливо важливо для великих виробів, таких як скульптури з дрібними елементами і ювелірні прикраси тонкої роботи. Однак, незважаючи на ці істотні переваги, у технології SLA є ряд недоліків:

- низька швидкість друку, що збільшує час на друк виробу;
- велика вартість лазера, а також лазер потребує застосування допоміжної системи дзеркал для передачі променя світла на робочій стіл;
- великі габарити і масивність обладнання.

DLP технологія цих недоліків позбавлена. Одночасна засвічення цілого шару за допомогою проєкторів і ультрафіолетових світлодіодів дозволяє значно прискорити процес друку у порівнянні з SLA-принтерами, які мають метод

сканування, тобто переміщення променя. DLP технологія використовується через низку істотних переваг:

- відсутність механічних дзеркальних систем, що дозволяє збільшити точність;

- великий вибір витратних матеріалів;

- низька вартість принтера, порівняно з SLA-принтером.

Саме завдяки всім цим перевагам, DLP-принтер є провідним і доступним для широкого кола споживачів. В цілому DLP 3D друк можна охарактеризувати як прямий аналог 3D друку SLA, але в деяких аспектах перевершує її.

Об'єкт дослідження – процес 3D друку за технологією DLP.

Предмет дослідження – механічні параметри 3D-принтера, які впливають на якість 3D друку.

Методи дослідження – експеримент, аналіз і синтез, індукція і дедукція, математичне моделювання. За основу метода дослідження обрано експеримент [1].

Мета атестаційної роботи – підвищення якості механічних параметрів 3D-принтера, що впливають на якість 3D друку по технології DLP.

Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- аналіз технології DLP;

- аналіз механічних параметрів, що впливають на якість друку;

- вибір механічних компонентів;

- розробка та аналіз корпусу 3D-принтера.

Атестаційна робота виконана згідно керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2], ДСТУ 3008-15 [3] та методичними вказівками [4].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Особливості кінематики DLP 3D-принтера

На сьогоднішній день дуже поширений DLP 3D друк – це одна з методик адитивного виробництва, в якій для побудови об'єктів використовуються рідкі фотополімерні смоли, які застигають під впливом світлових хвиль.

Першим кроком на шляху до виготовлення фізичного об'єкта є побудова цифрової 3D моделі, яка завантажується в програму-слайсер, призначену для виставлення налаштувань друку і «розрізання» моделі на шари. Отримані настройки зберігаються, модель конвертується в керуючий код для 3D-принтера [5].

Сам принтер складається з таких основних частин (рис. 1.1): робоча платформа для друку, яка рухається вгору-вниз; кроковий двигун з редуктором, для управління швидкості пересування платформи, що забезпечує точність друку; в свою чергу переміщення забезпечується передачею гвинт-гайка; ванночка для фотополімера; джерело світла – DLP проектор [5].

Для переміщення платформи використовують, як було сказано раніше, передачу гвинт-гайка так, як має такі властивості:

- можливість отримання повільного переміщення з високою точністю, що забезпечить якість друку;
- плавність, що не дозволить отримати розрив між шарами, і безшумність;
- простота конструкції, виготовлення і монтажу;
- можливість виготовлення з високою точністю;
- самогальмування в передачі.

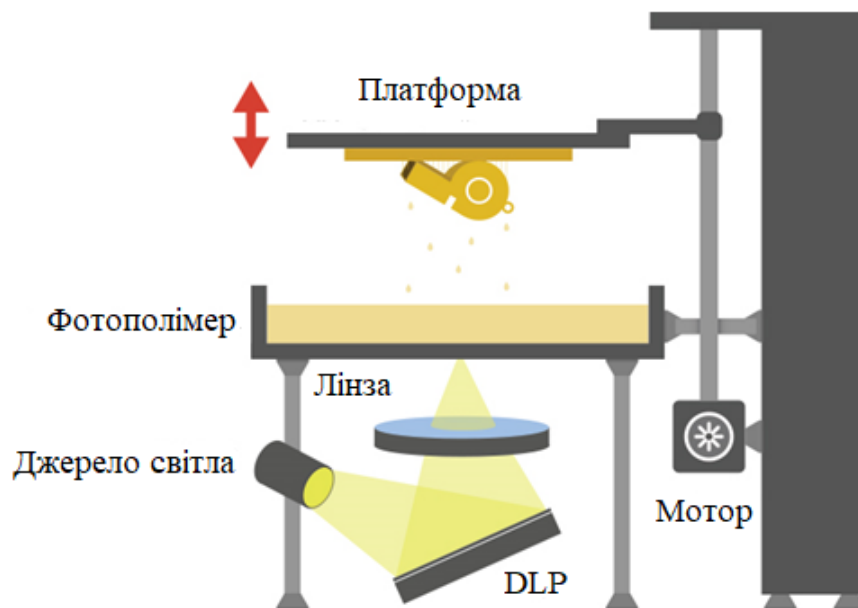


Рисунок 1.1 – Кінематична схема DLP принтера [5]

Передачі гвинт-гайка ділять на передачі ковзання і кочення. У передачах кочення між витками гайки і гвинта розміщують тіла кочення – шарики або ролики (рис. 1.2), в передачах ковзання використовують властивості різьблення (рис. 1.3), яка може мати різний профіль – прямокутний, трикутний, трапецеїдальний, круглий.

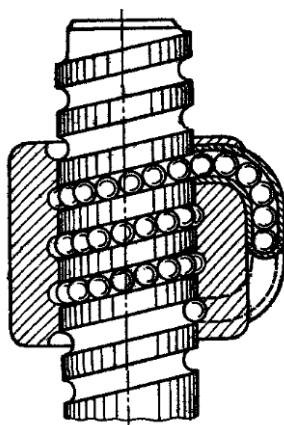


Рисунок 1.2 – Передача кочення [5]

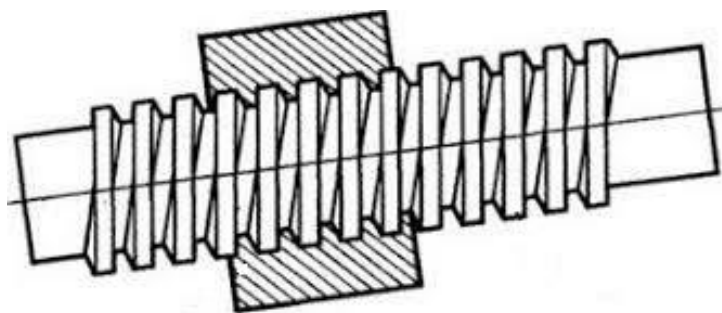


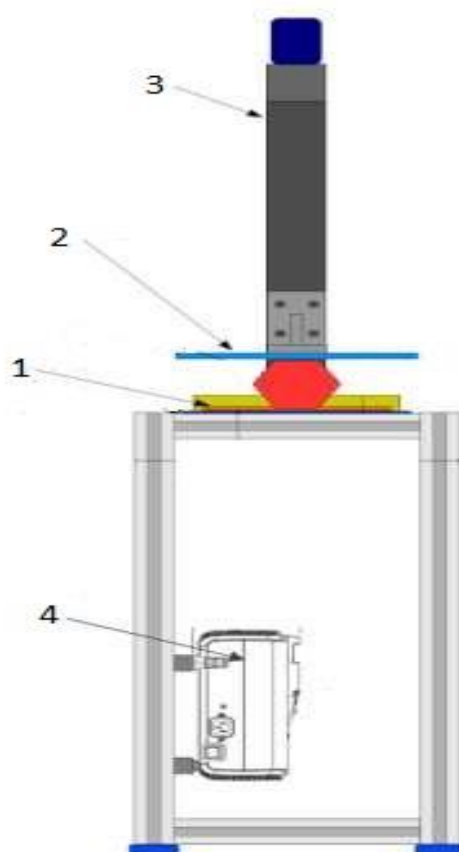
Рисунок 1.3 – Передача ковзання [5]

У DLP принтері використовують частіше передачу ковзання так, як передача кочення складніше в виготовленні і дорожче.

Недоліком передачі гвинт-гайки є знос різьби, тому основним критерієм працездатності передачі є зносостійкість різьблення. Для зменшення зносу застосовують антифрикційні пари матеріалів, наприклад, сталь-бронза, мастило поверхонь, малі допустимі напруження змінання.

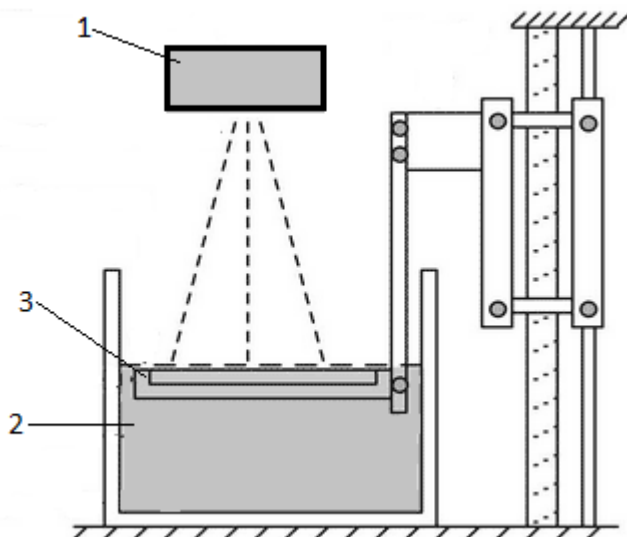
Існує два варіанти друку на DLP принтері: в одному побудова об'єкта відбувається знизу-вгору – робоча платформа опускається, і навпаки – робоча платформа піднімається.

У зворотному DLP 3D друку (рис. 1.4) спеціальна ємність 1 принтера заповнюється фотополімерною смолою до певного рівня. Платформа 2, розташована на осі Z 3, опускається в ємність так, щоб зазор між платформою і дном ємності дорівнював висоті одного шару. Під ємністю розташований DLP проєктор 4. На платформу проєктується світло, відповідний перетину першого шару моделі. Після його затвердіння платформа піднімається вгору і починається засвічення другого шару. Крок за кроком створюється фізичний об'єкт. По завершенню друку платформа піднімається вище рівня фотополімера, виріб витягується і очищається від залишків витратних матеріалів. Після цього виконується засвічення під УФ лампою для повного затвердіння матеріалу [4].



1 – ванночка для фото полімеру; 2 – платформа; 3 – ось Z; 4 – DLP проектор
Рисунок 1.4 – Кінематична схема принтера зі зворотнім DLP 3D друком [5]

У прямому DLP 3D друку (рис. 1.5) DLP проектор 1 розташований зверху, над ємністю 2 з фотополімером. При цьому робоча платформа 3 знаходиться безпосередньо в ній. Для побудови першого шару платформа піднімається вгору так, щоб зазор між платформою і поверхнею витратного матеріалу відповідав висоті першого шару. Перетин першого шару проектується на платформу, таким чином твердне фотополімер, після чого платформа опускається вниз на висоту одного шару. Ці кроки повторюються аж до повної побудови виробу. Подальші дії ідентичні, описані в п.1.1.2 [5].



1 – DLP проектор; 2 – ванночка для фото полімеру; 3 – робоча платформа

Рисунок 1.5 – Кінематична схема принтера з прямим DLP 3D друком [5]

1.2 Аналіз видів передач

В даному підрозділі було розглянуто наступні передачі:

- ремінні передачі;
- фрикційні передачі;
- ланцюгові передачі;
- зубчасті передачі;
- передачі гвинт-гайка.

Ремінна передача складається з ведучого і веденого шківів, розташованих на деякій відстані один від одного і огинають приводним ременем (рис. 1.6).

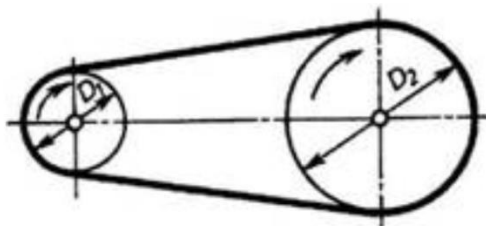
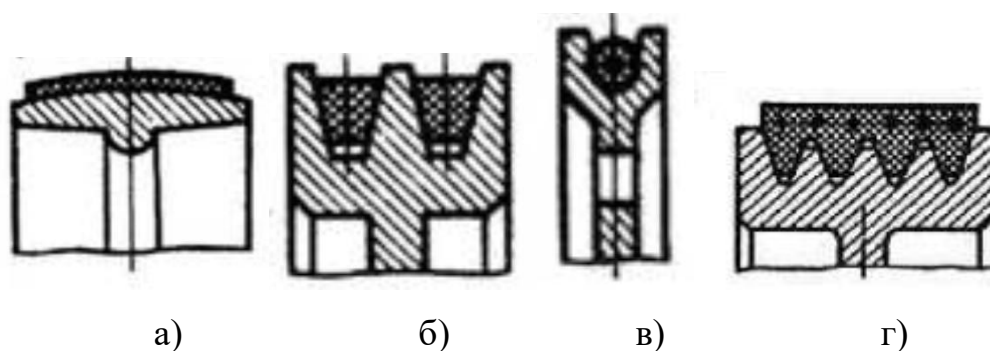


Рисунок 1.6 – Ремінна передача [6]

Чим більша напруга, кут обхвату шківів ременем і коефіцієнт тертя, тим більше передається навантаження. Залежно від форми поперечного перерізу ременя передачі бувають: плоскоремінні (рис. 1.7а), клиноремінні (рис. 1.7б), круглоремінні (рис. 1.7в) і зубчаторемінні (рис. 1.7г). Найбільшого поширення в машинобудуванні отримали плоскі і клиновидні ремені. Плоскі ремені відчувають мінімальне напруження згину на шківках, клиновидні завдяки клиновому впливу зі шківками характеризуються підвищеною тяговою здатністю [6].



а) плоскоремінні; б) клиноремінні; в) круглоремінні; г) зубчаторемінні

Рисунок 1.7 – Види ремінних передач [6]

Найбільше застосування в машинобудуванні мають клинові і поліклинові ремені. Передачу круглим гумовим ременем застосовують в приводах малої потужності.

Різновидом ремінної передачі є зубчаторемінна, в якій передача потужності здійснюється зубчастим ременем шляхом зачеплення зубців ременя з виступами на шківках. Цей тип передач є проміжним між передачами зачепленням і передачами тертям. Зубчаторемінна передача не вимагає значного попереднього натягу ременя і не має такого недоліку, як ковзання ременя, яке притаманне всім іншим ремінним передачам.

Клиноремінну передачу в основному застосовують як відкриту. Клиноремінні передачі мають більшу тягову здатність, вимагають меншого натягу, завдяки чому менше навантажують опори валів, допускають менші кути

обхвату, що дозволяє застосовувати їх при великих передавальних відносинах і малому відстані між шківками.

Поліклинові ремені – плоскі ремені з високоміцним кордом і внутрішніми поздовжніми клинами, що входять в канавки на шківках. Вони більш гнучкі, ніж клинові, краще забезпечують сталість передавального числа.

Плоскі ремені мають велику гнучкість, але вимагають значного попереднього натягу ремня. Крім того, плоский ремінь не так стійкий на шківі, як клиновий або полі клиновий [6].

По взаємному розташуванню валів і ремня розрізняють наступні види ремінних передач:

- відкрита передача – при паралельних осях і обертанні шківів в одному напрямку (рис. 1.8а);

- перехресна передача – при паралельних осях і обертанні шківів в протилежних напрямках (рис. 1.8б);

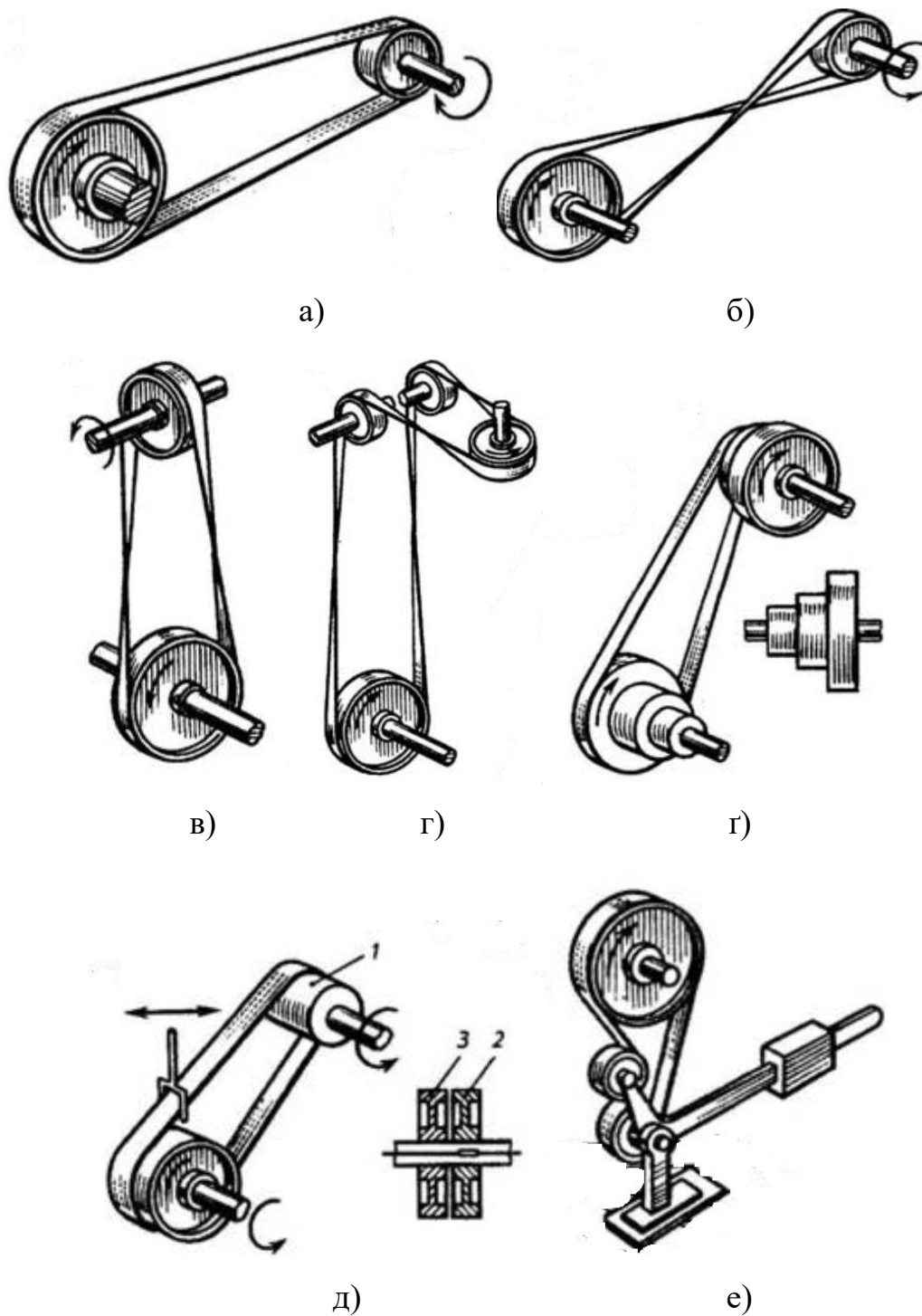
- напівперехресна передача – при перехресних осях (рис. 1.8в);

- кутова передача – при пересічних осях (рис. 8г);

- передача зі східчастими шківками (рис. 1.8г), що дозволяє змінювати кутову швидкість веденого вала при постійній швидкості ведучого. Сходишки шківів розташовуються так, щоб менша ступінь одного шківка перебувала проти більшою мірою іншого і т. д. Для зміни швидкості веденого шківка ремінь перекидають з однієї пари ступенів на іншу;

- передача з холостим шківком (рис. 1.8д), яка дозволяє зупинити ведений вал при обертанні ведучого. На ведучому валу насаджений широкий шків 1, а на відомому два шківка: робочий 2, який з'єднаний з валом за допомогою шпонки, і холостий 3, вільно обертається на валу. Ремінь, що зв'язує шківки, можна на ходу переміщати, поєднуючи шків 1 зі шківками 2 або 3, відповідно включаючи або вимикаючи ведений вал;

- передача з натяжним роликком, що забезпечує автоматичне натяг ремня і збільшення кута обхвату ремнем меншого шківка (рис. 1.8е) [6].



а) відкрита передача; б) перехресна передача; в) напівперехресна передача; г) кутова передача; г) передача зі східчастими шківками; д) передача з холостим шківком; е) передача з натяжним роликком

Рисунок 1.8 – Види ремінних передач по взаємному розташуванню валів і ременя [6]

Переваги ремінних передач:

- простота конструкції, низька ціна виготовлення і експлуатації;
- можливість передачі потужності на значну відстань;
- можливість роботи з високими частотами обертання;
- плавність і малий шум в роботі внаслідок еластичності ременя;
- пом'якшення вібрації і поштовхів завдяки пружності ременя;
- запобігання механізмів від перевантажень і ударів за рахунок можливості ременя прослизати;
- електроізолююче здатність ременя використовується для запобігання відомою частини машин з електроприводом від появи небезпечних напруг і струмів;
- легкість догляду і обслуговування.

Недоліки ремінних передач:

- великі габаритні розміри;
- мала довговічність ременя, особливо в швидкохідних передачах;
- велике навантаження на вали і підшипники опор через натяг ременя, так як сумарне натяг гілок ременя значно більше окружної сили передачі;
- необхідність застосування пристроїв натягу ременя, що ускладнюють конструкцію передачі;
- чутливість навантажувальної спроможності до забруднення ланок і вологості повітря;
- непостійне передавальне число внаслідок неминучого пружного ковзання ременя;
- під час експлуатації ремінної передачі не виключена можливість зіскакування і обриву ременя, тому ці передачі потребують постійного нагляду [7].

Фрикційні передачі – це передачі, в яких рух від одного вала до іншого передається за рахунок тертя між робочими поверхнями обертових ковзанок (дисків). Фрикційна передача складається з двох коліс (котків) – ведучого і веденого, які притиснуті один до одного із заданою силою. При обертанні одного

з ковзанок, наприклад, провідного приходиться в рух ведений, завдяки виникає силі тертя.

Передавальне число фрикційної передачі – відношення кутових швидкостей ведучого і веденого валів, яке не може бути строго постійним, так як завжди існує відносно проковзування котків, змінюється в залежності від навантаження.

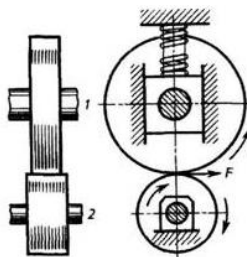
Розрізняють фрикційні передачі з умовно постійним передавальним числом між валами з паралельними пересічними осями і передачі зі змінним передавальним числом (варіатори) без проміжної ланки і з проміжною ланкою [8].

Залежно від умов роботи фрикційні передачі підрозділяють на відкриті, що працюють в суху, і закриті, що працюють в маслі. Коефіцієнт тертя в відкритих фрикційних передачах вище, а притискне зусилля ковзанок менше. У закритих фрикційних передачах масляна ванна робить ковзання менш небезпечним, крім того, забезпечується відведення тепла і збільшується довговічність передачі.

Типи фрикційних передач:

– циліндрична фрикційна передача. На ведучому 2 (рис. 1.9) і відомому 1 валах насаджено два катки. Підшипники вала 1 встановлені нерухомо, а підшипники вала 2 дозволяють переміщатися валу у напрямку лінії центрів передачі. Якщо привести в обертання ведучий вал 2, то разом з ним буде обертатися і ведучий диск. Ведений диск не буде обертатися до тих пір, поки не буде подолано корисний опір на валу 1 – обертаючий момент і опір тертя в підшипниках. Але так як підшипники ведучого валу виконані плаваючими і знаходяться під дією пружини стиснення, то цим самим забезпечується притискне зусилля, а отже, і обертання веденого вала;

– конічна фрикційна передача. Ковзанки передачі (рис. 1.10) представляють собою усічені конуси, які стикаються. При осьовому стисненні конусів в місці контакту виникає сила тертя, яка і захоплює в обертання ведений каток і вал. Для правильної роботи передачі необхідно, щоб конуси мали загальну вершину, що є точкою перетину осей котків [8].



1 – відомий вал; 2 – ведучий вал

Рисунок 1.9 – Циліндрична фрикційна передача [8]

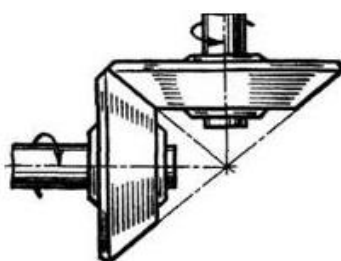


Рисунок 1.10 – Конічна фрикційна передача [8]

Переваги фрикційних передач:

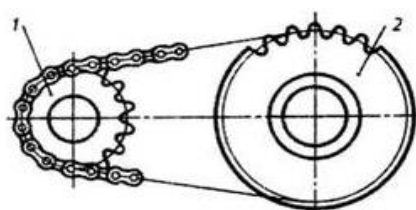
- простота конструкції і обслуговування;
 - плавність передачі руху і регулювання швидкості і безшумність роботи;
 - великі кінематичні можливості (перетворення обертального руху в поступальний, безступінчата зміна швидкості, можливість реверсування на ходу, включення і виключення передачі на ходу без зупинки);
 - за рахунок можливостей пробуксовки передача має запобіжні властивості.
- Однак після пробуксовки передача, як правило, різко погіршує свої якості: з'являються лиски на ковзанках, нерівномірно спрацьовуються фрикційні поверхні і т. д.;
- відсутність мертвого ходу при реверсі передачі;
 - рівномірність обертання, що зручно для приладів;
 - можливість безступінчатого регулювання передавального числа без зупинки передачі [8].

Недоліки фрикційних передач:

- мінливість передавального числа через прослизання;
- незначна передана потужність;
- для відкритих передач порівняно низький ККД;
- велике і нерівномірне зношування ковзанок при буксуванні;
- необхідність застосування опор валів спеціальної конструкції з притискними пристроями (це робить передачу громіздкою);
- для силових відкритих передач незначна окружна швидкість;
- великі навантаження на вали і підшипники від притискної сили, що збільшує їх розміри і робить передачу громіздкою. Цей недолік обмежує величину переданої потужності;
- великі втрати на тертя [8].

Передача енергії між двома або кількома паралельними валами, яка здійснюється зачепленням за допомогою гнучкого нескінченного ланцюга і зірочок, називається ланцюговою.

Ланцюгова передача складається з ланцюга і двох зірочок – ведучої 1 (рис. 1.11) і веденої 2, працює без прослизання і забезпечується натяжними і мастильними пристроями [9].



1 – ведуча зірка; 2 – ведена зірка

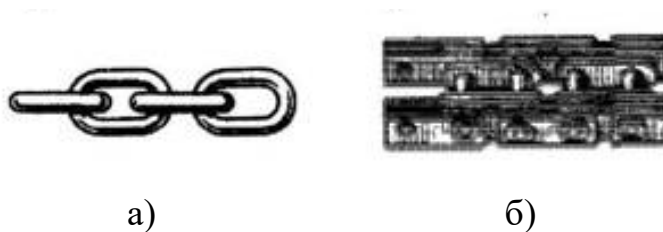
Рисунок 1.11 – Ланцюгова передача [9]

Робота ланцюгової передачі багато в чому залежить від якості зірочок: точності їх виготовлення, якості поверхні зубів, матеріалу і термообробки. Конструктивні розміри і форма зірочок залежать від параметрів вибраного

ланцюга і передавального відносини, що визначає число зубів меншою ведучою зірочки.

Ланцюги виготовляють на спеціальних заводах, а їх конструкція, розміри, матеріали та інші показники регламентовані стандартами. За своїм призначенням ланцюга поділяють на такі типи:

- вантажні ланцюги, (рис. 1.12а) застосовують для підвіски, підймання та опускання вантажів. Застосовуються головним чином у вантажопідйомних машинах;
- тягові ланцюги (рис. 1.12б), застосовують для переміщення вантажів в транспортуючих машинах;
- приводні ланцюги, застосовують для передачі механічної енергії від одного вала до іншого [9].



а) вантажний ланцюг; б) тяговий ланцюг

Рисунок 1.12 – Типи ланцюгів [9]

Типи приводних ланцюгів:

- роликові ланцюги (рис. 1.13а) складаються з зовнішніх і внутрішніх ланок, які мають відносну рухливість. Ланки виконані з двох пластин, напресованих на осі (зовнішні ланки) або на втулки (внутрішні ланки). Втулки надіті на осі сполучених ланок і утворюють шарніри. Щоб зменшити знос зірочок при набіганні на них ланцюгів, на втулки надягають ролики, які замінюють тертя ковзання тертям кочення. Осі (валики) ланцюгів розклепують і ланки стають нероз'ємними. З'єднання кінців ланцюга виробляють: при парному числі ланок – сполучною ланкою, а при непарному – перехідним.

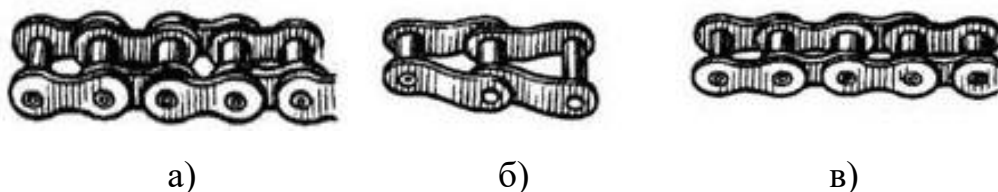
При великих навантаженнях і швидкостях з метою зменшення кроку і діаметра зірочок застосовують багаторядні роликові ланцюги (рис. 1.13а):

– роликовий ланцюги з зігнутими пластинами (рис. 1.13б) складаються з однакових ланок, подібних перехідному ланці. Ці ланцюги застосовуються тоді, коли передача працює з ударним навантаженням (реверсування, поштовхи). Деформування пластин сприяє гасінню ударів, які виникають при вході ланцюга в зачеплення із зірочкою;

– втулкові ланцюги (рис. 1.13в) за своєю конструкцією не відрізняються від попередніх, але не мають роликів, що призводить до посилення зносу зубів. Відсутність роликів здешевлює ланцюг і зменшує її масу. Втулкові ланцюги, так само як і роликові, можуть бути однорядними і багаторядними;

– зубчасті (безшумні) ланцюги (рис. 1.13г) складаються з набору пластин з зубами, шарнірно з'єднаних в певній послідовності. Ці ланцюги забезпечують плавність і безшумність роботи. Їх застосовують при значних швидкостях. Зубчасті ланцюга складніше і дорожче роликових і вимагають особливого догляду. Робочими гранями пластин, що сприймають тиск від зубів зірочки, служать площині зубів;

– гачкові ланцюги (рис. 1.13г) складаються з однакових ланок спеціальної форми і не мають ніяких додаткових деталей. Сполучення роз'єднаних ланок здійснюються при взаємному нахилі на кут, приблизно, 60° .



а) роликовий ланцюг; б) роликовий ланцюги з зігнутими пластинами; в) втулковий ланцюг; г) зубчастий (безшумний) ланцюг; г) гачковий ланцюг

Рисунок 1.13 – Типи приводних ланцюгів [9]



Продовження рисунка 1.13

Переваги ланцюгової передачі:

- дозволяє передавати рух на значні відстані;
- габаритні розміри менші ніж у пасової передачі;
- можливість передачі руху одним ланцюгом кільком валам [9].

Недоліки ланцюгової передачі:

- витягування ланцюга через спрацювання шарнірів, ослаблення натягу, необхідність застосування механізмів для регулювання натягу;
- нерівномірність руху ланцюг і пов'язані з цим динамічні явища, підвищений шум;
- низька кінематична точність при реверсуванні;
- необхідність безперервного догляду, змащування [9].

Зубчастою передачею називається механізм, який за допомогою зубчастого зачеплення передає або перетворює рух із зміною кутової швидкості і обертового моменту. Принцип дії зубчастої передачі засновано на зачепленні пари зубчатих коліс. За допомогою зубчатих передач змінюють за величиною і напрямком швидкості рухомих частин верстатів, передають від одного вала до іншого зусилля і крутний момент.

У зубчастої передачі рух передається за допомогою пари зубчастих коліс. Залежно від взаємного розташування геометричних осей валів зубчасті передачі бувають: циліндричні, конічні і гвинтові. Зубчасті колеса для промислового обладнання виготовляють з прямими, косими і кутовими (шевронними) зубами [10].

Зубчаті передачі класифікуються:

– по взаємному розташуванню осей коліс: з паралельними осями – циліндрична передача, з пересіченими осями – конічна передача, з перехресними осями – гвинтова передача, черв'ячна передача, (рис. 1.14);

– залежно від відносного обертання коліс і розташування зубів розрізняють передачі з зовнішнім і внутрішнім зачепленням. У першому випадку обертання коліс відбувається в протилежних напрямках, у другому – в одному напрямку. Рейкова передача служить для перетворення обертального руху в поступальний (рис. 1.14);

– за формою профілю розрізняють зуби евольвентні (рис. 1.14) і не евольвентні, наприклад циліндрична передача Новікова, зуби коліс якої окреслені дугами окружності;

– залежно від розташування теоретичної лінії зуба розрізняють колеса з прямими зубами, косими, шевронними і гвинтовими. У непрямозубих передачах зростає плавність роботи, зменшується знос і шум. Завдяки цьому непрямозубі передачі здебільшого застосовують в установках, що вимагають високих окружних швидкостей і передачі великих потужностей, (рис. 1.14);

– за конструктивним оформленням розрізняють закриті передачі, розміщені в спеціальному водонепроникному корпусі і забезпечені постійної мастилом з масляної ванни, і відкриті, що працюють без змащення або періодично змащуванні консистентними мастилами [10].

Преваги зубчатих передач:

– висока надійність роботи в широкому діапазоні навантажень і швидкостей;

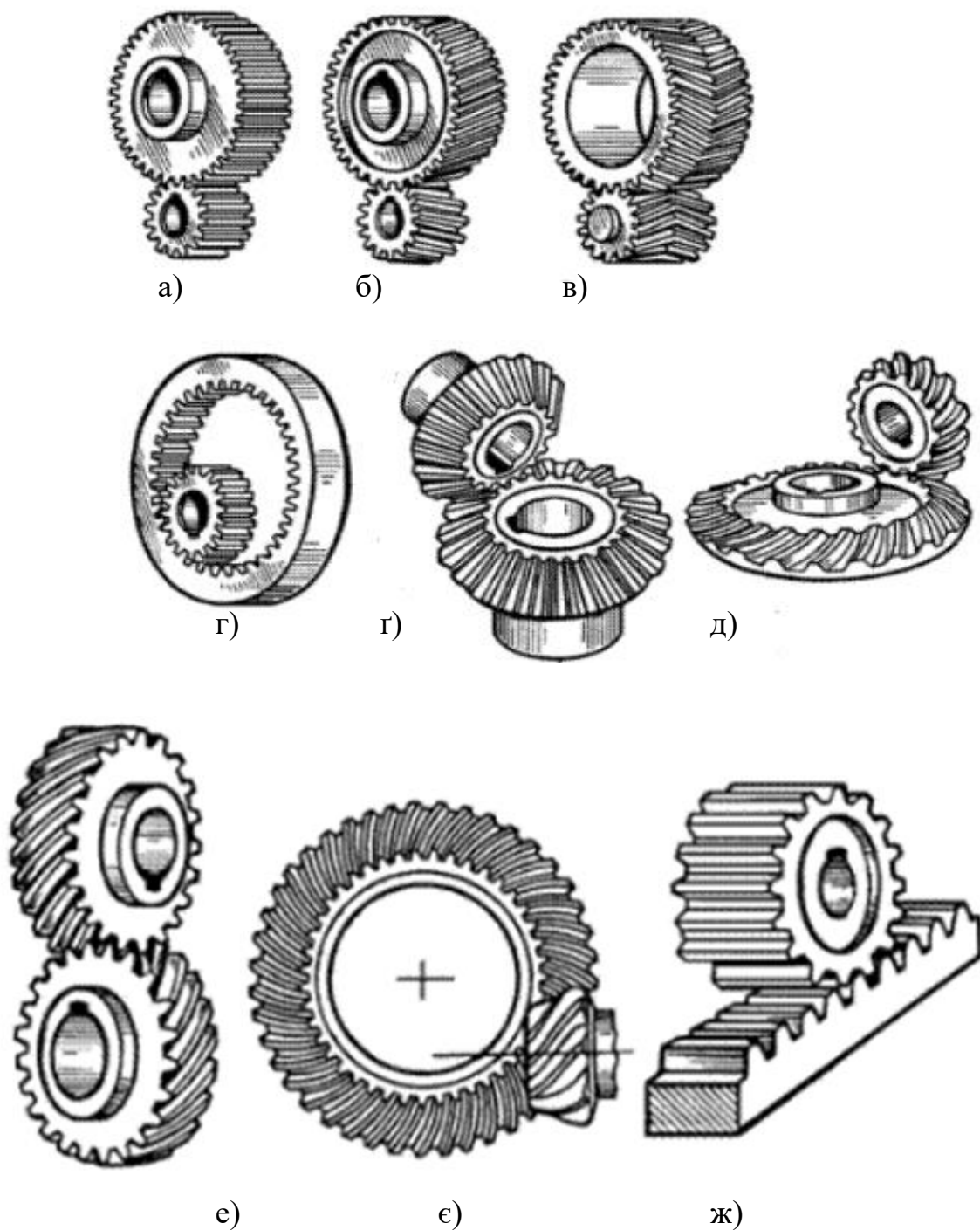
– малі габарити;

– високий ККД;

– малі навантаження на вали і підшипники;

– постійність передавального числа;

– простота обслуговування [11].



а) з паралельними осями, циліндрична передача; б) циліндрична передача з евольвентними зубами; в) циліндрична передача; г) передача з внутрішнім зацепом; г) конічна передача д) конічна передача з плоскими зубами; е) гвинтова передача; е) черв'ячна передача; ж) рейкова зубчаста передача

Рисунок 1.14 – Види зубчастих передач [11]

Недоліки зубчатих передач:

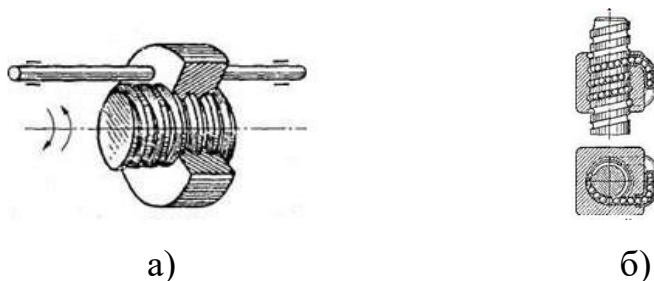
- відносно високі вимоги до точності виготовлення і монтажу;
- шум при великих швидкостях, обумовлений неточностями виготовлення профілю і кроку зубів;
- висока жорсткість, що не дає можливість компенсувати динамічні навантаження, що часто призводить до руйнування передачі або елементів конструкції [11].

Передачі гвинт-гайка застосовують для перетворення обертового руху у поступальний. Вони використовуються у різних галузях техніки – від точного приладобудування до важко навантажених приводів натискних пристроїв прокатних верстатів, гвинтових пресів та підйомних механізмів в кранах. Такі передачі створюють значні сили, забезпечують точні переміщення робочих органів різних верстатів та приладів або виконують функції регулювальних пристроїв [12].

Розрізняють два типи передач гвинт-гайка:

- передачі тертя ковзання або гвинтові пари тертя ковзання (рис. 1.9а);
- передачі тертя кочення або шарикові пари (рис. 1.9б).

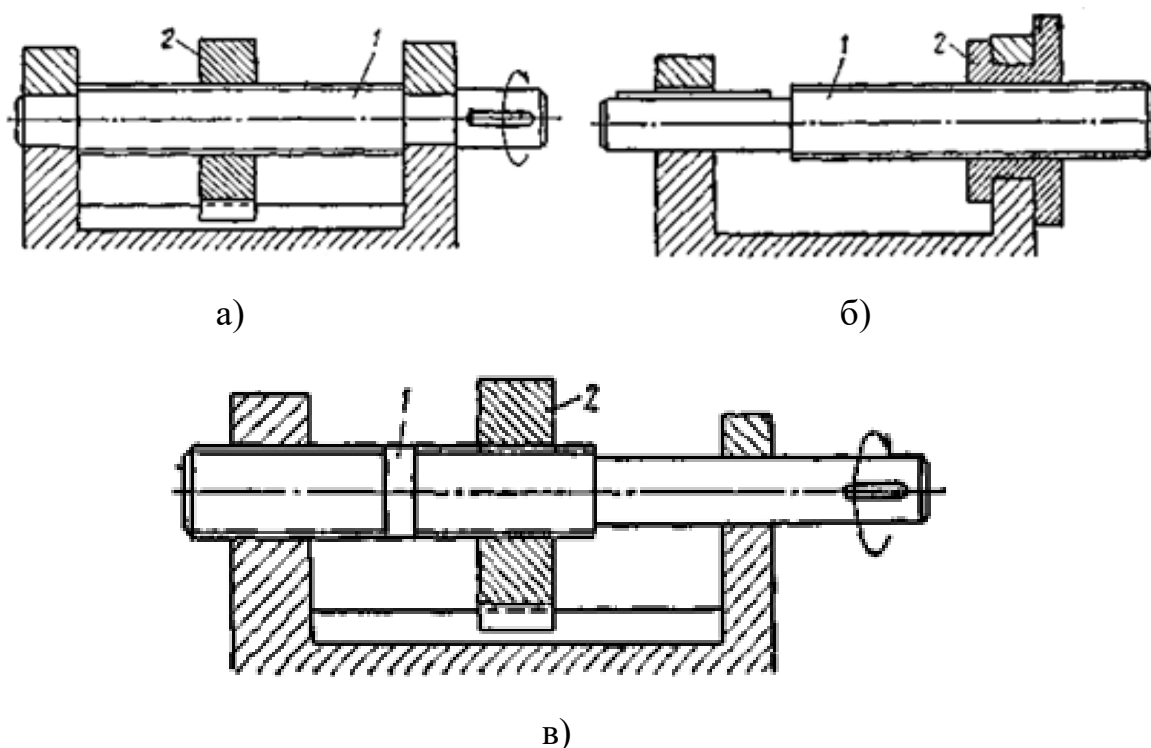
Ведучим елементом у передачі, як правило, є гвинт, веденим є гайка. У передачах гвинт-гайка кочення на гвинті і в гайці виконані гвинтові канавки (різьблення) напівкруглого профілю, які служать доріжками кочення для кульок [12].



- а) передача тертя ковзання або гвинтова пари тертя ковзання; б) передача тертя кочення або шарикові пари

Рисунок 1.14 – Типи передач гвинт-гайка [12]

На рис. 1.15 показані схеми передач гвинт-гайка. За схемою передачі на рис. 1.15а обертовий рух гвинта 1 перетворюється в поступальний рух гайки 2, а за схемою на рис. 1.15б, навпаки, обертовий рух гайки 2 перетворюється у поступальний рух гвинта 1. На схемі рис. 1.15в показана передача для здійснення надзвичайно повільного поступального руху гайки 2 при обертанні гвинта 1. Тут гвинт має дві різьбові ділянки з малою різницею кроків різьби.



а) рух гайки поступовий; б) обертовий рух гайки перетворюється у поступальний рух гвинта; в) передача для здійснення надзвичайно повільного поступального руху гайки

Рисунок 1.15 – Схеми передач гвинт-гайка [12]

Залежно від призначення передачі гвинти бувають:

– вантажні, що застосовуються для створення великих осьових сил. При знакозмінному навантаженні мають трапецеїдальне різьблення, при великому однобічному навантаженні – опорну. Гайки вантажних гвинтів цільні;

– ходові, що застосовуються для переміщень в механізмах подачі. Для зниження втрат на тертя застосовують переважно трапецеїдальну багато західну різьбу;

– установчі, що застосовуються для точних переміщень і регулювань. Мають метричну різьбу. Для забезпечення безлюфтової передачі гайки роблять здвоєними [12].

Велика увага в гвинтових передачах, що застосовуються в металорізальних верстатах і приладах, приділяють усуненню мертвого ходу, що виникає при зміні напрямку руху. Наявність мертвого ходу пояснюється зазором в різьбі внаслідок неминучих помилок при виготовленні і зносу протягом експлуатації. Для усунення мертвого ходу гвинтові механізми забезпечують спеціальними пристроями. При цьому розрізняють два способи вибірки зазору в різьбі – осьовий, що застосовується для трапецеїдальних різьб і радіальний зсув гайки – для трикутних різьб. Перший спосіб досягається установкою двох розсовуючих гайок, наприклад, пружиною, другий установкою розрізної гайки, що втягується цанговим затискачем [12].

Основні переваги передачі гвинт-гайка ковзання:

- можливість отримання великого виграшу в силі;
- висока точність переміщення і можливість отримання повільного руху;
- плавність і безшумність роботи;
- велика несуча здатність при малих габаритних розмірах;
- простота конструкції [12].

Недоліки передачі гвинт-гайка ковзання:

- великі втрати на тертя і низький ККД;
- важке застосування при великих частотах обертання [12].

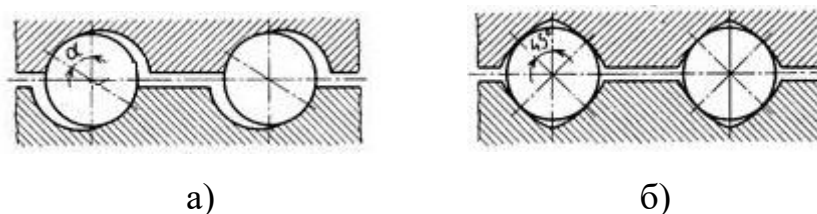
У кулькова-гвинтових передачах (КГП) при обертанні гвинта шарики залучаються до руху по гвинтовим канавкам, поступально переміщують гайку і через перепускний канал повертаються назад. Пропускний канал виконують між сусідніми або між першим і останнім витками гайки. Таким чином, переміщення шариків відбувається по замкнутій всередині гайки траєкторії [12].

У верстатобудуванні застосовують триниткові гайки. Пропускний канал виконують в спеціальному вкладиші, який вставляють в овальне вікно гайки. У трьох виткових гайках передбачають три вкладиша, розташовані під кутом 120° один до іншого і зміщені по довжині гайки на один крок різьблення по відношенню один до одного. Таким чином, шарики в гайці розділені на три (за кількістю робочих витків) незалежні групи. При роботі передачі шарики, пройшовши по гвинтовій канавці на гвинті шлях, рівний довжині одного витка, викочуються з різьби в перепускний канал вкладиша і повертаються назад у вихідне положення на той же виток гайки.

КГП виконують з однією або частіше з двома гайками, встановленими в одному корпусі. У конструкціях з двома гайками найбільш просто виключити осьовий зазор в сполученні гвинт-гайка і тим самим підвищити осьову жорсткість передачі і точність переміщення. Усувають осьовий зазор і створюють попередній натяг шляхом відносного осьового (наприклад, за допомогою прокладок) або кутового зміщення двох гайок [12].

Найбільшого поширення набув напівкруглий профіль канавок з радіусом, що перевищує на 3 % або 5 % радіус кульок і з кутом контакту $\alpha = 45^\circ$ (рис. 1.16а).

Успішно застосовують також профіль «стрільчата арка» (рис. 1.16б), який складніше у виготовленні, але дозволяє створити попередній натяг підбором діаметрів кульок.



- а) профіль канавок з радіусом, що перевищує на 3 % або 5 % радіус кульок; б)
профіль «стрільчата арка»

Рисунок 1.16 – Профіль канавок передачі гвинт-гайка кочення [12]

Прямолінійний профіль різьблення (трикутний, трапецієподібний) є найбільш технологічним, але значно поступається по навантажувальній здатності криволінійному (так допустиме навантаження на шарик, що знаходиться в жолобі з профілем у вигляді дуги кола, більш ніж в три рази вище допустимої навантаження на шарик, що лежить на плоскій поверхні трикутного або трапецеїдального профілю). Тому прямолінійний профіль різьблення застосовують в КГП для сприйняття невеликих осьових навантажень в приладах [12].

1.3 Вплив механічних елементів на друк

При друкуванні моделі на DLP 3D-принтері на якість друку впливають такі механічні параметри:

- точність позиціонування робочого стола;
- шаг переміщення робочого стола від 10 мкм, включно, і більше;
- відсутність осьового коливання для того, щоб кожний шар моделі застигав по всій площині;
- низький коефіцієнт тертя при переміщенні.

Виходячи з механічних параметрів, які впливають на якість друку було прийнято рішення використовувати в даному фотополімерному 3D-принтері для переміщення робочого столику КГП так, як ця передача володіє наступними перевагами:

- малі втрати на тертя при роботі КГП. ККД передачі досягає 0,9 і вище (збірка без попереднього натягу);
- висока несуча здатність при малих габаритах;
- низький коефіцієнт тертя спокою і висока кінематична чутливість (можливість отримання малих і точних переміщень);
- відсутність осьового і радіального зазорів (мертвого ходу);
- надійна робота в широкому діапазоні температур в вакуумі;

– малий знос робочих поверхонь гвинта і гайки, що забезпечує високу точність і рівномірність поступального руху [12].

1.4 Аналіз технічного завдання

3D-принтер друку по технології DLP – це електронний прилад, як було сказано в п.1.1, призначений для побудови об'єктів, використовуючи рідкі фотополімерні смоли, які застигають під впливом світлових хвиль.

Основна вимога к приладу – точність друку об'єктів, а саме:

– точність позиціонування робочого стола. Стіл повинен пересуватися на відстань від 10 мкм, включно, і більше;

– робочий стіл повинен розташовуватися перпендикулярно відносно дна ванночки, щоб прилипання між одним шаром було по всій поверхні іншого шару;

– максимізація жорсткості конструкції, щоб зменшити до мінімуму вібрації, які буде створювати двигун при переміщенні робочого стола.

3D-принтер друку по технології DLP відноситься к групі стаціонарна РЕА, к групі використання – промислові прилади.

Залежно від району експлуатації РЕА відповідно до ГОСТ 15150-69 розроблювальний пристрій має виконання УХЛ – для районів з помірним і холодним кліматом і відноситься до категорії 4.2 – робота в лабораторних, капітальних житлових приміщеннях. Кліматичні виконання УХЛ 4.2 занесені до табл. 1.1 [13].

Механічні впливи на 3D-принтер, які відповідають групі М20 згідно з ДСТУ 17516.1-90:

– виробу, який не працюють в русі;

– діапазон частот: від 0,5 Гц до 200 Гц;

– амплітуда прискорення: 20 (2) м·с²;

– для багаторазового і (або) тривалого перевезення транспортом [13].

Таблиця 1.1 – Норми кліматичних впливів на РЕА для кліматичного виконання УХЛ 4.1

Використання	Категорія виробу	Вплив температури, °С					Вплив відносної вологості, %	
		Робочі			Граничні		Робоче	Граничне
		Вер-хнє	Ниж-нє	Сред-нє	Вер-хнє	Ниж-нє	Середньо-річне	Верхнє
УХЛ	4.2	+35	+1	+20	+40	+1	60 % при +20 °С	80 % при +25 °С

Внаслідок аналізу кліматичних умов роботи і механічних навантажень, які будуть впливати на розроблюваний прилад, можна зробити висновок, що потрібно підвищити міцність і жорсткість конструкції, а саме [14]:

- не допустити висувних модулів в корпусі, всі модулі повинні бути закріплені у середині конструкції;
- каркас принтера повинен бути стягнутий металевим пластинами зовні або металевими куточками у середині;
- при затягуванні гвинта, використовувати шайбу і гровер.

Електричні параметри 3D-принтера:

- потужність, яка споживається: не більше 120 Вт;
- частота: 50 Гц;
- вхідна напруга сигналу: 220 В;
- вихідна напруга сигналу 12 В;
- сила струму, що споживається: 10 А.

Габарити виробу обмежені не більше 300 мм × 300 мм × 550 мм, так як пристрій має малу площу друку і спрямований на друк високоточних виробів малих габаритів.

Маса не повинна перевищувати 10 кг для зручності транспортування.

Напрацювання на відмову не менше 10000 годин, що є достатнім для цього виду апаратури, та як збільшення терміну довговічності і зберігання призводить до збільшення собівартості.

Річна програма випуску 1 шт/рік, що відповідає одиничному виробництву.

Найбільш важливими економічними вимогами до виробу є забезпечення середньої собівартості виробу [15].

Вимоги до ергономіки та естетики згідно ДСТУ 7298-2013:

- якість сполучення поверхонь форми принтера, виконання технологічних роз'ємів, контурів;

- цілісність композиції: при транспортуванні корпус не повинен розпастися на окремі деталі;

- зовнішня обшивка корпусу повинна бути чорною;

- об'єднання декількох органів керування в групи (панелі).

- біля органів виведення повинні бути відповідні графічні написи, для зручності роботи оператора з приладом [16].

Вимоги до захисту згідно ДСТУ 2293-2014, розрахунок якого буде проводитися у п. 4.

1.5 Висновки до першого розділу

Проаналізувавши кінематики 3D-принтера друку по технології DLP, було обрано зворотній 3D друк, тому що висота друкованої моделі залежить від довжини робочої зони, тому як при прямому 3D друку висота залежить від глибини ванночки. Також було обрано механічна передача, а саме кулькова-гвинтова передача (КГП), так як вона задовольняє наступні вимоги:

- точність позиціонування робочого стола;

- шаг переміщення робочого стола від 10 мкм, включно, і більше;

- відсутність осьового коливання для того, щоб кожній шар модель застигав по всій площині;

– низький коефіцієнт тертя при переміщенні.

Було обрано кліматичне виконання 3D-принтера друку по технології DLP, а саме УХЛ 4.2.

2 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРИНТЕРА DLP

2.1 Розробка конструкції корпусу

В якості основи корпусу, в ході дипломного проектування, були розглянуті наступні види матеріалів:

- із деревини;
- стальний профіль;
- верстатний алюмінієвий профіль.

Найчастіше при створенні малогабаритних установок з ЧПУ в основі корпусу застосовують матеріали із деревини. Такі матеріали є одним із доступних і простих конструкційних матеріалів, серед яких популярність, при створенні домашніх ЧПУ верстатів, отримала фанера.

Але цей вид матеріалів володіє рядом переваг, а також недоліків. До переваг відносяться:

- висока теплоізоляція;
- низька собівартість;
- площинна анізотропність.

До недоліків відносяться:

– матеріали із деревини вкрай гігроскопічні для підвищення вологостійкості треба застосовувати сорти деревини найбільш стійкі к волозі, просочувати лаками і клеями кожний лист, що збільшує ціну;

– для скріплення листів фанери треба застосовувати клей, який з часом розсихається, що приведе до зниження міцності і жорсткості конструкції. В наслідок цього якість друку буде знижено, а саме збільшується люфт робочого стола і відбувається не рівномірне нарощування шарів;

– деревина має низьку властивість проводити тепло, а в даному принтері буде застосовуватися електроніка, яка має елементну базу з високим тепловим

коефіцієнтом при роботі, тому матеріали із деревини не підходять у якості радіаторної основи.

За аналізом переваг і недоліків матеріалів із деревини було прийнято не застосовувати в якості основи корпусу принтер.

Наступний матеріал, який розглядали – це сталевий профіль.

Сталевий профіль володіє достатньою високою міцністю, теплопровідністю, в наявності є різноманітна номенклатура, але головним не недостатком є низька жорсткість сталі і володіє високою пружністю, що приводить до виникненню вібрацій, які приведуть до вібрацій фотополімера. В наслідок цього шар, який буде засвічуватися, матиме не рівну поверхню, так як на поверхні фотополімера будуть мікрохвилі.

Останній варіант матеріалів, який було розглянуто, це верстатний алюмінієвий профіль ТМ «BOSCH» (рис. 2.1).

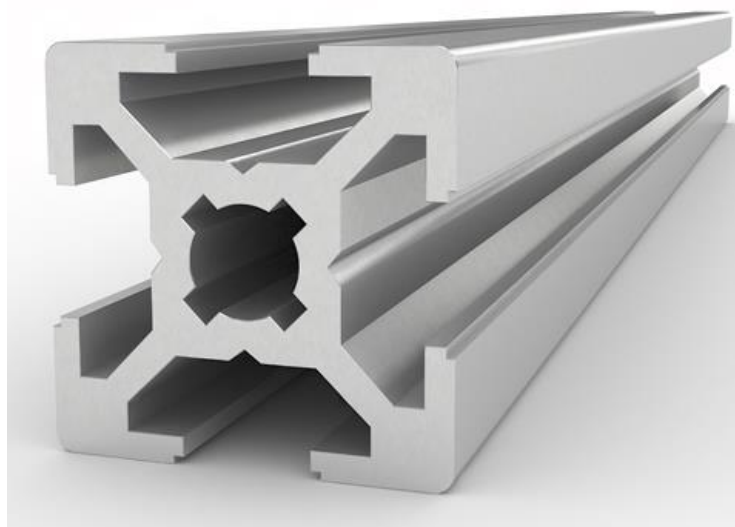


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд верстатного алюмінієвого профілю

Такий профіль володіє наступними перевагами:

– маленька вага порівняно зі сталлю завдяки порожнистій структурі – це значне полегшення конструкції;

- висока міцність. Завдяки паралельним стінкам, витримує великі навантаження, тобто силам крутіння і зламу протистоять ребра жорсткості;
- алюміній має високу корозійну стійкість, що після збірки конструкції не потребує ґрунтування;
- велика різноманітність номенклатури кріплень і фурнітури для виготовлення верстатних конструкцій.

Так як в аналізі ТЗ (п. 1.4) для підвищення жорсткості і міцності каркас повинен бути стягнутий металевими куточками, а також проаналізував переваги верстатного алюмінієвого профілю, обирається цей вид конструкційного матеріалу для збірки основи корпусу.

В ході розробки конструкції, для визначення габаритних розмірів принтера були застосовані габаритні розміри електронних компонентів, які вибиралися в дипломній роботі «Оптимізація електронних компонентів та програмного забезпечення на якісні показники друку» [17]. Дані розмірів площі, яку займають всі електронні компоненти зведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1– Розміри площі установки електронних компонентів

Площа, см ²	Висота установки, см	Установчий об'єм, см ³
41,3	20	826

У зв'язку з тим, що 3D-принтер відноситься до промислової апаратури, до форми приладу пред'являються жорсткі вимоги, а саме:

- форма пристрою повинна бути у вигляді паралелепіпеда;
- для підвищення ремонтпридатності необхідно забезпечити доступ до елементів з метою можливості заміни радіоелементів, які вийшли з ладу;
- корпус збирається, як було сказано вище, із верстатного алюмінієвого профілю. В аналізі ТЗ було сказано, що каркас принтера повинен бути стягнутий

металевими пластинами, тоді в якості нижньої і верхньої панелі обираються сталеві пластини товщиною 2 мм, так як сталь володіє достатньою високою міцністю, теплопровідністю, що підвищить міцність конструкції і тепловіддачу. Розмір кожного профілю буде визначено далі.

Всі електронні компоненти встановлювалися у середині корпусу, як було сказано в дипломній роботі «Оптимізація електронних компонентів та програмного забезпечення на якісні показники друку» [17], а встановлення інших елементів та частин принтера були здійснені наступним чином:

– двигун за допомогою кріплення (рис. 2.2), яке було роздруковане на FDM 3D-принтері. В якості матеріалу виступає пластик Co-PET, так як пластик такого виду буде поглинати вібрації двигуна. Кріплення було закріплено на дві направляючі із верстатного алюмінієвого профілю, які виступають у якості основних лінійних направляючих (рис.2.3);

– для закріплення УФ світлодіода, було встановлено відрізки верстатного алюмінієвого профілю на відстані 50 мм від дна ванночки (рис.2.3 та 2.4). Дана відстань було обрана за рахунок товщини УФ світлодіода та відстані, яка повинна бути між УФ світлодіодом та екраном, як було сказано в дипломній роботі «Оптимізація електронних компонентів та програмного забезпечення на якісні показники друку» [17];

– підшипникова опора BK10 для гвинта КГП була закріплена жорстко з боку електродвигуна на дві направляючі із верстатного алюмінієвого профілю (рис. 2.4);

– підшипникова опора BF10 для гвинта КГП була закріплена жорстко з боку іншого кінця гвинта КГП на дві направляючі із верстатного алюмінієвого профілю (рис. 2.4);

– на кожній основній направляючій із верстатного алюмінієвого профілю встановлено допоміжна лінійна направляюча MGN12 × 300 мм з кареткою для забезпечення більш жорсткого закріплення каретки робочого стола і позбавлення люфту (рис. 2.4);

– каретка для робочого стола кріпиться до кареток лінійних направляючих та гайки КГП. Сама каретка зібрана з двох деталей:

1) виготовлена з алюмінієвої пластини марки Д16 ДСТУ 21631-76 товщиною 6 мм, так як цей матеріал (рис. 2.5): легкий, у порівнянні зі сталлю на 30 %, що забезпечить зниження загальної маси столика і каретки; володіє високою міцністю, що дасть уникнути прогинання каретки під масою столика під час експлуатації принтера;

2) другу деталь було надруковано на FDM 3D-принтері, так як ця деталь є складної форми, пластиком Co-PET (рис. 2.5).

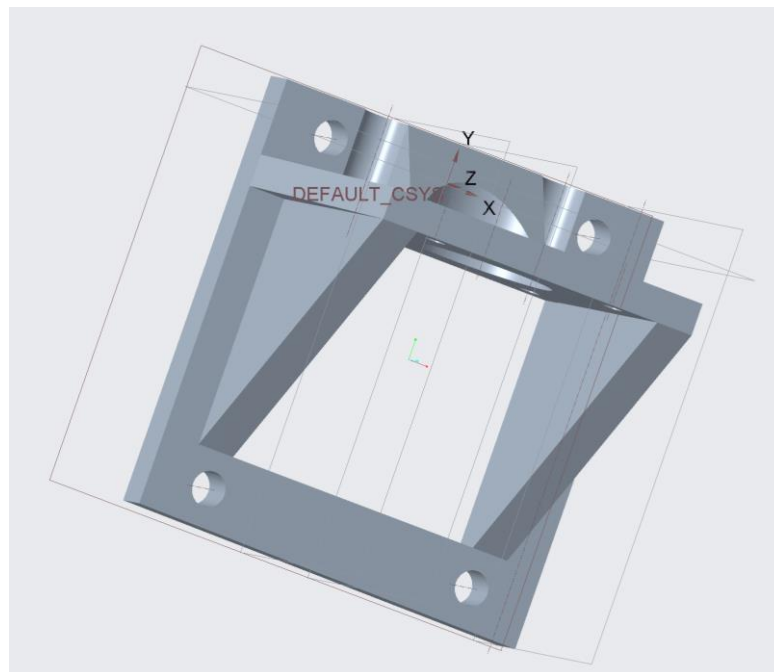


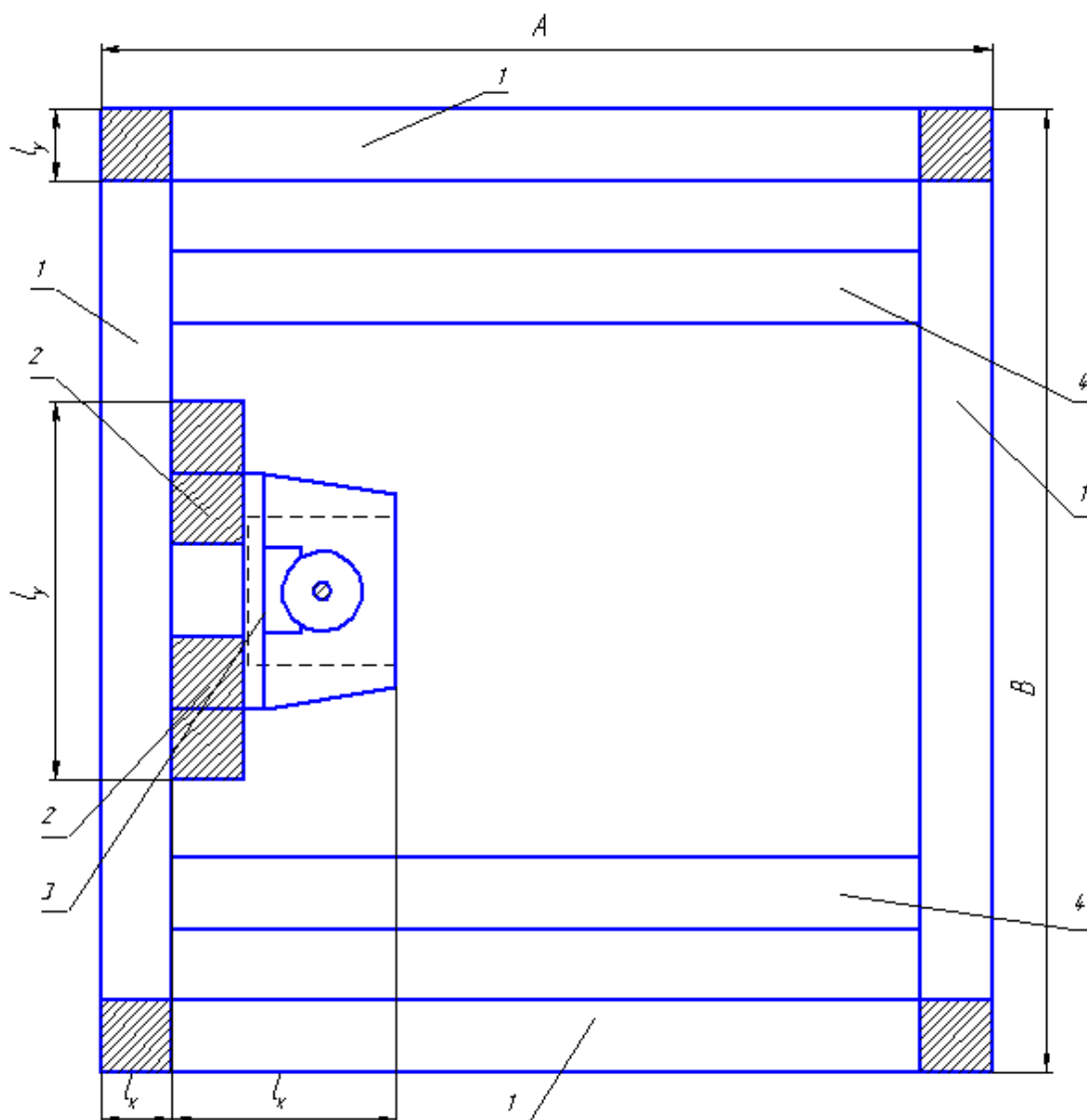
Рисунок 2.2 – Кріплення для двигуна

Співвідношення між розмірами блоку – L_x, L_y, L_z , розмірів вузлів, компонентів кріплення КГП і довжини робочого ходу столика з кареткою – l_x, l_y, l_z і площиною встановлення електричних компонентів, а саме $41,3 \text{ см}^2$ (п.2.1.2 табл. 2.1), – розраховується емпірично [18]:

$$L_x = 2 \times l_{x1} + l_{x2} + 147 \text{ (мм)};$$

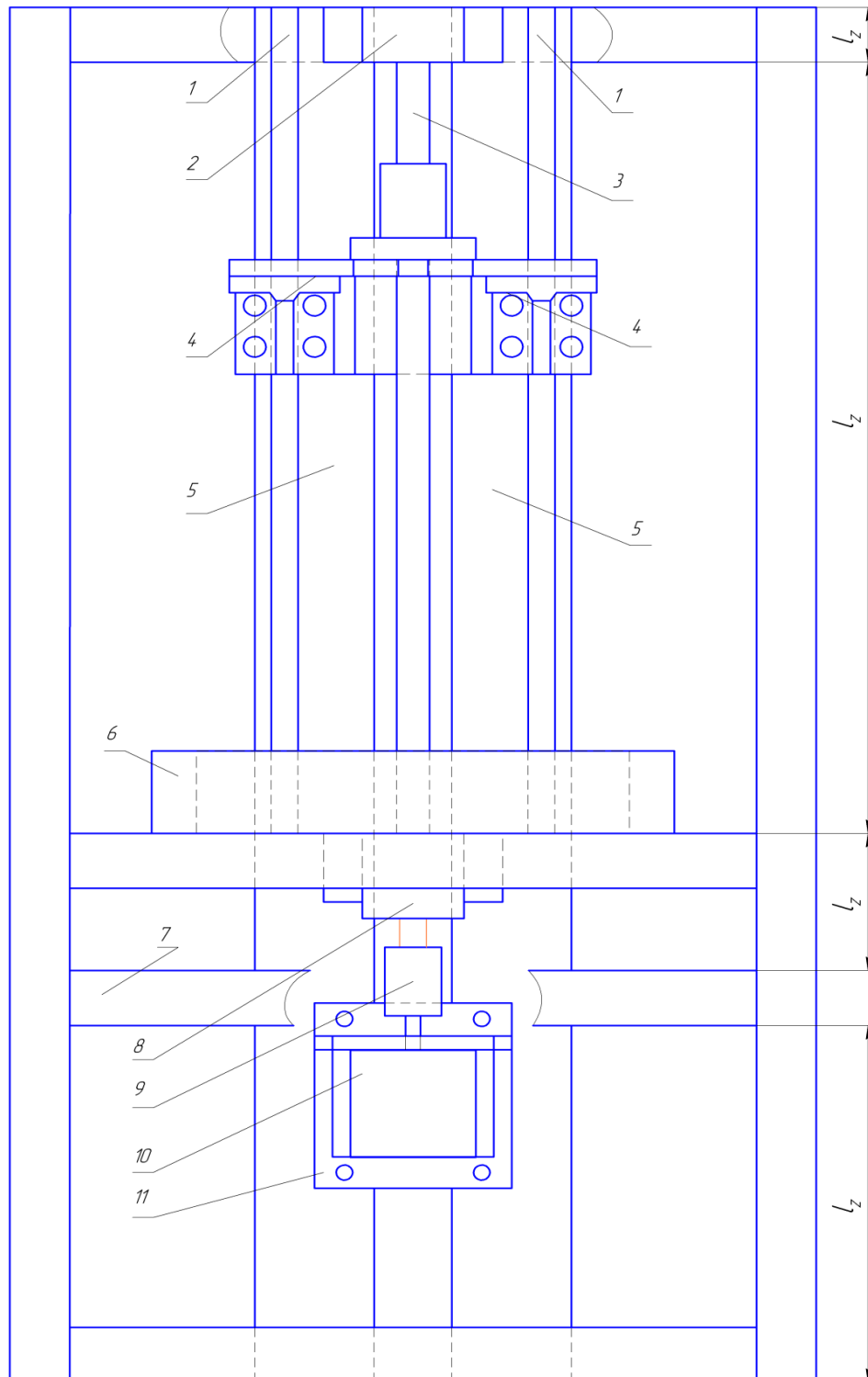
$$L_y = l_{y1} \times 2 + l_{y2} + 124 \text{ (мм)}; \quad (2.1)$$

$$L_z = l_{z1} + l_{z2} + l_{z3} \text{ (мм)}.$$



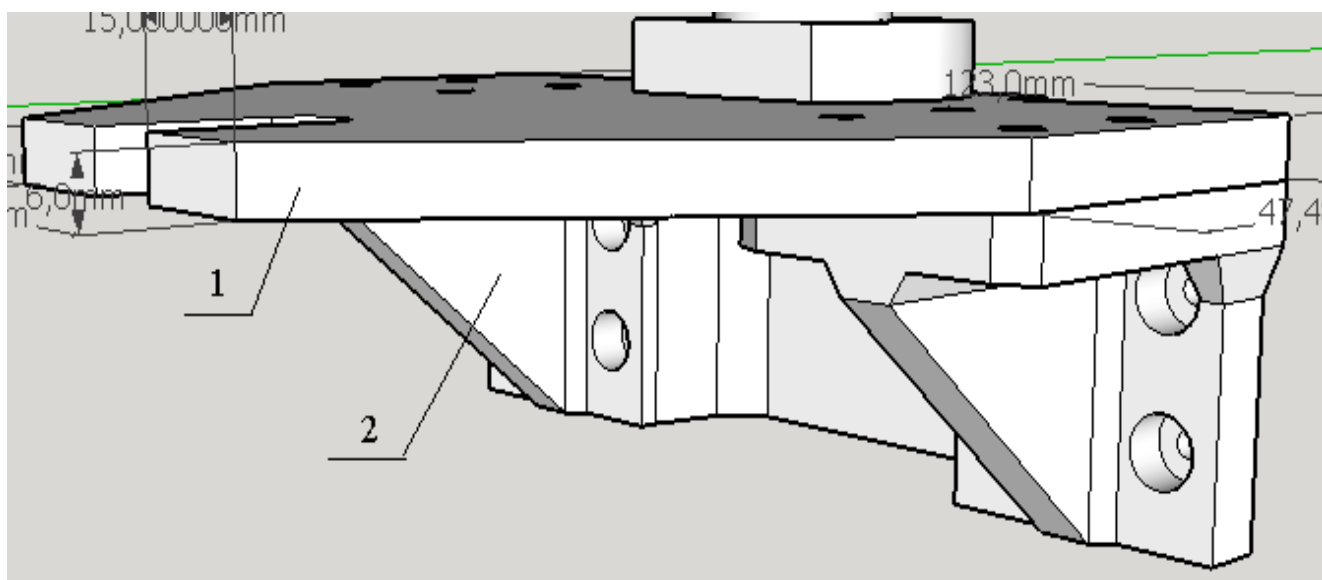
1 – верстатний алюмінієвий профіль; 2 – основні направляючі; 3 – кріплення для двигуна; 4 – профіль для кріплення УФ світлодіода

Рисунок 2.3 – Компоновка блока 3D-принтера



1 – додаткові лінійні направляючі; 2 – підшипникова опора ВФ10; 3 – КГП;
 каретка для столика; 5 – основні направляючі; 6 – ванночка; 7 – профіль для
 кріплення УФ світлодіода; 8 – підшипникова опора ВК10; 9 – муфта; 10 – двигун;
 11 – кріплення для двигуна

Рисунок 2.4 – Компоновка блока по осі Z



1 – деталь, яка виготовлена з алюмінію; 2 – деталь, яка виготовлена з Co-PEТ

Рисунок 2.5 – Каретка для столика

У вимогах ТЗ, габаритні розміри принтера повинні бути не більше 300 мм × 300 мм × 550 мм, тоді розмір верстатного алюмінієвого профілю обирається 20 мм × 20 мм, що є достатнім для конструкції приладу такого розміру, тоді $l_{x1} = l_{z2} = l_{y1} = 20$ мм [18].

Підставивши значення в формули (2.8), отримаємо габаритні розміри блоку:

$$L_x = 2 \times 20 + 63 + 147 = 250 \text{ (мм);}$$

$$L_y = 20 \times 2 + 106 + 124 = 270 \text{ (мм);}$$

$$L_z = 130 + 20 + 50 = 200 \text{ (мм).}$$

Отже, розміри блоку 270 мм × 250 мм × 200 мм. Далі розраховуються габаритні розміри принтеру враховуючи:

– товщину нижньої панелі, $d_{\text{НП}} = 2$ мм;

– товщину обшивки блоку. Для обшивки блоку обирається композитні панелі «Aluprom», чорного кольору, товщиною $d_{\text{обш}} = 3$ мм, так як панелі володіють, довговічністю, високою міцністю при помітній легкості та стійкі до корозії, завдяки спеціальній обробці і захисного покриття;

– товщину алюмінієвого профілю для монтажу композитних панелей, $d_{\text{проф}} = 2$ мм;

– розмір робочого ходу столика з кареткою $l_{z4} = 280$ мм. Даний розмір обирався так, щоб при знятті столика друкована деталь не поринула у ванночку з фото полімером, а також для збільшення робочої висоти;

– висоту верхньої кінцевої опори $l_{z5} = 20$ мм.

Розміри 3D-принтеру розраховуються за формулами:

$$A = L_x + 2 \times d_{\text{обш}} + 2 \times d_{\text{проф}};$$

$$B = L_y + 2 \times d_{\text{обш}} + 2 \times d_{\text{проф}}; \quad (2.2)$$

$$H = L_z + d_{\text{пп}} + l_{z4} + l_{z5}.$$

Підставивши значення в формули (2.2), отримаємо габаритні розміри 3D-принтера:

$$A = 270 + 2 \times 3 + 2 \times 2 = 280 \text{ (мм)};$$

$$B = 250 + 2 \times 3 + 2 \times 2 = 260 \text{ (мм)};$$

$$H = 200 + 2 + 280 + 20 = 502 \text{ (мм)}.$$

Отже, габаритні розміри 3D-принтера $280 \text{ мм} \times 260 \text{ мм} \times 502 \text{ мм}$, що задовольняє вимогам технічного завдання.

Визначившись з габаритними розмірами принтера, було розраховано кількість кусочків верстатного алюмінієвого профілю і розміри кожного із них для каркасу конструкції. Результат розрахунків занесені до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків розмірів верстатного алюмінієвого профілю

Розмір профілю, мм	Кількість, шт.
20 × 20 × 500	4
20 × 20 × 250	8
20 × 20 × 270	8

Було обрано розмір основних направляючих, а саме 20 мм × 40 мм (рис. 2.6): направляючі повинні витримати вагу всіх елементів, які будуть закріплені на них і враховувалось міцне закріплення кінцевих опор КГП.

Виходячи із габаритних розмірів принтера, довжина направляючих дорівнює 500 мм, із яких 200 мм буде закріплено у середині компонованого блоку, а інші кінці до верхньої частини каркасу конструкції.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд верстатного алюмінієвого профілю 20 мм × 40 мм

Каркас конструкції та направляючі вирішено скріплювати стандартними алюмінієвими куточкам для верстатного профілю, гвинтами M4 × 10 мм DIN 912 з циліндричною головкою і внутрішнім шестигранником, плоскими шайбами M4 DIN 125, граверами M4, Т-гайками M4 для конструкційного профілю. Кожна вершина каркасу скріплюється трьома алюмінієвими куточками (рис. 2.7) для підвищення міцності конструкції, а направляючі закріплюється по вісьмом точкам до середини верхньої і нижньої частини каркасу для того, щоб направляючі не змістились при друку принтера (рис. 2.8).



Рисунок 2.7 – Вид скріплення каркасу конструкції



Рисунок 2.8 – Вид скріплення направляючої

2.2 Розробка механіки принтера

В аналізі предметної області (п.1.3), для пересування робочого столика з кареткою, було обрано кулькову-гвинтову передачу, що складається з гвинта і гайки з нарізаними гвинтовими канавками криволінійного профілю, які слугують дрозками для шариків.

На першому етапі вибору КГП, було встановлені критерії працездатності, а саме:

- контактна статична міцність робочих поверхонь гвинта, гайки і шариків;
- опір контактної втоми робочих поверхонь;
- жорсткість передачі;
- статична стійкість;
- динамічна стійкість;
- міцність стрижня гвинта.

Були обрані та проаналізовані вхідні данні для вибору КГП, а саме:

- довжина не опорної частини гвинта повинна бути 280 мм, так як було вказано у п. 2.1, розмір робочого ходу дорівнює цьому значенню;
- вид конструкції – шліфований. Такі КГП – прецизійні вироби, які після нарізування різьблення і гарту піддаються шліфуванню. За рахунок цього забезпечується висока ступінь гладкості і передача характеризується підвищеною точністю;
- передача повинна мати вбудований підшипник, який забезпечить точне переміщення рухомого елемента, а саме столику;
- корпусне виконання – з двома гайками в циліндричному корпусі для підвищення надійності КГП, що має фланець для міцного закріплення каретки;
- клас точності П1, по ОСТ 2 РЗ1-4-88. Дана передача повинна мати нульовий осьовий люфт, так як люфт негативно впливають на точність і повторюваність принтера;
- технічні вимоги на основні деталі КГП повинні співпадати з вимогами у ОСТ 2 РЗ1-5-89;

– з метою усунення осьового зазору і точності переміщення, передача повинна бути зібрана з попереднім натягом. Преднатяг зменшує періодичні помилки кроку гвинта і стабілізує положення осі гайки щодо осі гвинта;

– для усунення усталостного викришування, пластичного деформування і зношування, що впливають на точність, швидкість переміщення КГП, повинно бути застосовано комплекс захисних заходів, в тому числі мастило, і захист гвинта, і рухомих елементів від пилу, вологи і механічних частинок.

Для передачі моменту обертання на КГП, було обрано посилений кроковий двигун NEMA 17HS4401 (рис. 2.9).

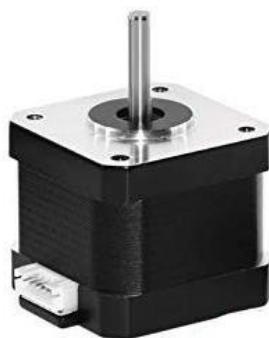


Рисунок 2.9 – Двигун NEMA 17HS4401

Двигун володіє наступними перевагами:

– кут кроку – $1,8^\circ$, що дасть точність позиціонування;

– робота в кроковому і напівкроковому режимах, що забезпечить пересування на відстань від 0,005 мкм;

– точність кроку $\pm 5\%$, що забезпечить точність пересування на задану відстань;

– обертаючий момент – 0,022 Н·м. Переводимо Н·м в кг·мм і отримуємо 2,24 кг·мм, що є достатнім для даного принтера, так як загальна маса столика, каретки і друкованої деталі не буде перевищувати 1,5 кг;

– утримуючий момент – 0,4 Н·м.

Також для вибору КГП, було розраховано шаг різьби за допомогою прецизійності, за формулою:

$$P = l_{\min} \times n = l_{\min} \times \frac{360^\circ}{\alpha_{\text{НК}}}, \quad (2.3)$$

де l_{\min} – мінімальна відстань, на яку повинний піднятися столик. Мінімальна відстань прирівнюється мінімальній товщині шару – 10 мкм;

n – кількість кроків двигуна за 1 оберт;

$\alpha_{\text{НК}}$ – кут кроку двигуна в напівкроковому режимі роботи [19].

Підставивши значення в формулу (2.3), отримали крок різьби КГП:

$$P = 0,01 \times \frac{360^\circ}{0,9^\circ} = 4 \text{ (мм)}.$$

Номінальний діаметр d_0 КГП обирався в залежності від довжини передачі, за формулою:

$$d_0 = \frac{4\% \times L}{100\%}, \quad (2.4)$$

де L – довжина не опорної частини гвинта [19].

Підставивши значення у формулу (2.4), отримали номінальний діаметр КГП:

$$d_0 = \frac{4\% \times 280}{100\%} = 11,2 \text{ (мм)}.$$

Для зменшення вартості КГП, номінальний діаметр прирівняли до близького розповсюдженого розміру, а саме до 12 мм.

Проаналізувавши встановлені критерії працездатності, вхідні параметри, розрахувавши крок різьби та номінальний діаметр КГП, було обрано передачу SFU-1204 350 мм. Дана КГП володіє наступними властивостями:

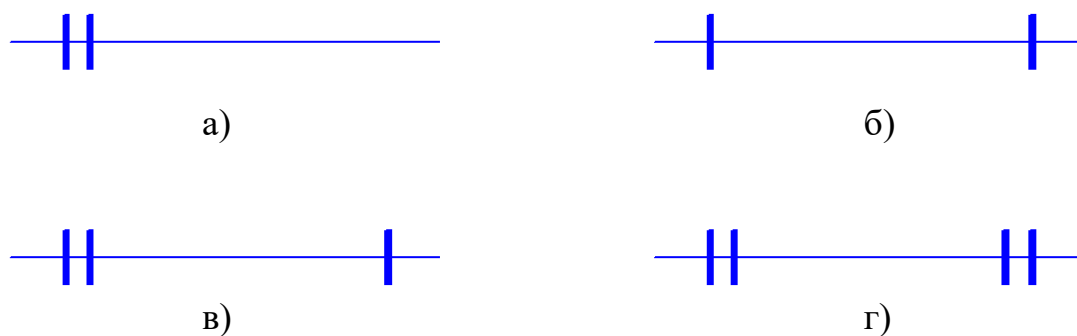
- одинарна КГП гайка з номінальним діаметром гвинта 12 мм і кроком різьби 4 мм;
- зовнішній діаметр гайки 22 мм, довжина гайки з фланцем 35 мм, фланець з шістьма отворами діаметром 4,8 мм, діаметр фланця 42 мм, товщина 8 мм, що дозволить міцно закріпити каретку не великих розмірів;
- діаметр шариків 2,5 мм. Зворотні канали закриті металевими заглушками з різьбленням М6;
- манжети гумові, підпружинені, що не дозволять висипанню шариків при роботі КГП.

Обравши основну направляючу, КГП і двигун, далі було проведено розрахунки і прийняті конструкторські рішення, що до кріплення КГП і двигуна до основної направляючої.

Існують чотири схеми закріплення КГП, а саме:

- схема 1 (рис. 2.10а). Одна опора сприймає осьове в обох напрямках і радіальне навантаження, друга опора відсутня: один кінець закріплений жорстко, другий – вільний;
- схема 2 (рис. 2.10б). Кожна з опор сприймає осьове в одному напрямку і радіальне навантаження: обидва кінця – опорні;
- схема 3 (рис. 2.10в). Одна опора сприймає осьове в обох напрямках і радіальне навантаження, друга тільки радіальне: один кінець закріплений жорстко, другий опорний;
- схема 4 (рис. 2.10г). Кожна з опор сприймає осьове в обох напрямках і радіальне навантаження: обидва кінця закріплені жорстко [19].

В даному принтері, закріплення КГП буде здійснюватися за схемою 3, так як дана схема з одностороннім закріпленням має переважне застосування в верстатобудуванні.



а) схема закріплення КГП 1; б) схема закріплення КГП 2; в) схема закріплення КГП 3; д) схема закріплення КГП 4

Рисунок 2.10 – Схеми закріплення КГП

2.3 Висновки до другого розділу

Проаналізувавши недоліки та переваги матеріалів, а саме фанери, сталі та верстатного алюмінієвого профілю, було обрано верстатний алюмінієвий профіль. Було розраховано загальні габаритні розміри фотополімерного 3D-принтера. Було вказано матеріали, з яких вироблялися механічні частини та частини конструкції. Було обрано діаметр гвинта КГП, а саме 12 мм, крок різьби 4 мм. Було обрано схему закріплення КГП, я саме одна опора сприймає осьове в обох напрямленнях і радіальне навантаження, друга тільки радіальне: один кінець закріплений жорстко, другий опорний.

3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Порівняння конструкцій фотополімерного 3D-принтера з різними конструкційними та механічними параметрами

Дана магістерська атестаційна робота є продовження бакалаврської атестаційної роботи з комплексної теми “Розробка конструкції фотополімерного 3D-принтера”, підтеми “Розробка механіки принтера”. Для обох робіт було застосовано один той же фотополімерний 3D-принтер, але з дещо різними конструкційними та механічними параметрами. Фотополімерний 3D-принтер, розроблений в ході бакалаврської роботи, складався з таких конструкційних та механічних елементів:

- каркас конструкції принтера збирався з верстатного алюмінієвого профілю 20 мм × 20 мм;
- мав одну основну направляючу з верстатного алюмінієвого профілю 20 мм × 40 мм;
- КГП;
- верхня і нижня опори BF10 і BK10 відповідно, для закріплення КГП;
- додаткова лінійна направляюча;
- каретка для столика, була виготовлена з Co-PET на FDM-принтері;
- фіксатор для закріплення верхньої опори, був виготовлений з Co-PET на FDM-принтері;
- кріплення для двигуна та нижньої опори, було виготовлено з Co-PET на FDM-принтері;
- кроковий двигун.

Загальний вид конструкції фотополімерного 3D-принтер, розроблений в ході написання бакалаврської роботи, є на рис. 3.1.

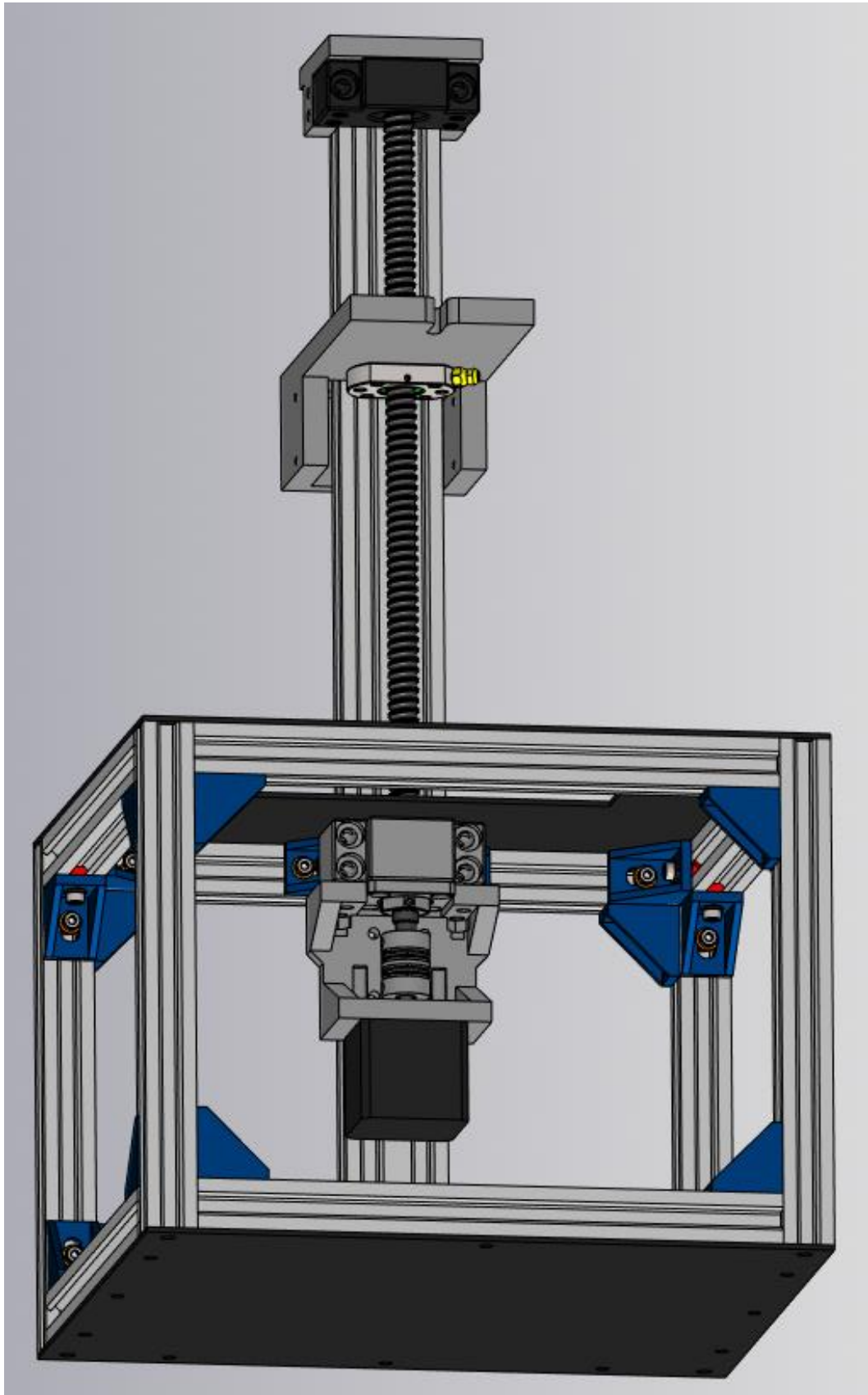
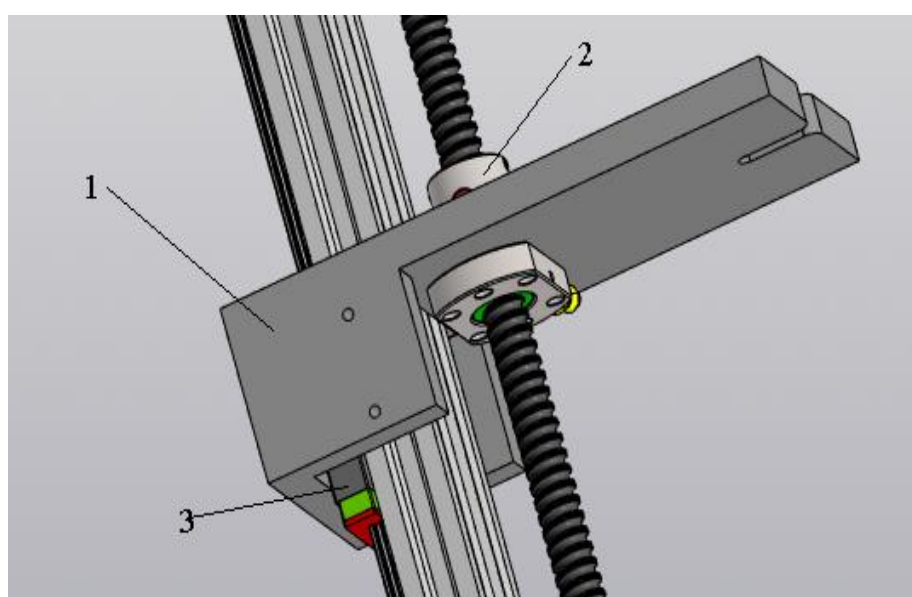


Рисунок 3.1 – 3D-модель конструкції фотополімерного 3D-принтер, розробленої в ході написання бакалаврської роботи

Як видно з рис. 3.1, всі компоненти механіки 3D-принтера, а саме КГП, верхня і нижня опор, додаткова лінійна направляюча, кріплення для двигуна та нижньої опори, двигун, фіксатор для верхньої опори, кріпляться до основної лінійної направляючої. Верхній кінець основної направляючої вільний та не закріплений – це приводить до невеликих коливань основної направляючої із-за вібрацій двигуна, що сприяє зміщенні слоїв при друці.

Каретка для столика була закріплена до каретки додаткової лінійки та фланця гайки КГП (рис. 3.2).



1 – каретка для столика; 2 – гайка КГП; 3 – каретка додаткової направляючої

Рисунок 3.2 – Закріплення каретки

При роботі принтера та друці деталей, згодом, було виявлено, що таке закріплення каретки приводило до неякісного друку. Так як каретка була надрукована з матеріалу Co-PEТ, то плече каретки від фланця гайки КГП до закріплення столика з часом роботи принтера зігнулось через вагу столика та друкованої деталі. Також через цю причину було втрачено кут 90° між столиком та доном ванночки. Вище приведені недоліки привели до неповної адгезії між

шарами і, тоді, друкована модель під час друку відривалась від столика і оставалась на дні ванночки.

Також на якість друку вплинув ефект “воблінгу” гвинта КГП. Цей ефект було спроваджено зсувом верхньої опори КГП в місцях закріплення до фіксатора верхньої опори, так як при роботі гвинта КГП гвинти закріплення опори під тиском розширяли отвори в фіксаторі верхньої опори КГП і утворювався люфт в цих місцях. Також умова, яка сприяла цьому ефекту, було закріплення каретки для столика до однієї каретки додаткової направляючої, тому що каретка направляючої мала свій невеликий люфт і при друці шару в 15 мкм мало вплив на друк. Із-за цих умов при друці моделі її шари були зміщенні відносно один одного, що приводило, згодом, до розриву моделі на частини.

У ході роботи принтера кріплення нижньої опори і двигуна теж підверглося деформації, що сприяло зсуву опори и привело до втрати співвісності між валом двигуна та гвинтом КГП, що є недопустимим для роботи 3D-принтера для високоточного друку.

Виходячи з недоліків конструкції принтера розробленої в ході написання бакалаврської роботи, які виявилися під час роботи 3D-принтера, було прийнято рішення провести його “апгрейт”. Загальний вид конструкції фотополімерного 3D-принтер розроблений в ході написання магістерської роботи є на рис. 3.3:

- було добавлено ще одну основну направляючу з додатковою направляючою, як було сказано в п.2.1. Додаткові направляючі було закріплено до передніх частин основних направляючих;

- опори КГП були закріплені до основних направляючих, як було сказано в п.2.1, що сприяло позбавлення ефекту “воблінг”;

- нове розроблене кріплення для двигуна було закріплено до основних направляючих, як було сказано в п.2.1;

- нова розроблена каретка для столика закріплюється в трьох місцях: до кареток додаткових направляючих та фланця гайки КГП, що сприяло позбавлення зсуву шарів друкованої моделі в процесі друку (рис. 3.4);

– закріплення верхніх кінців основних направляючих до каркасу конструкції, що сприяло повному позбавленню коливань.

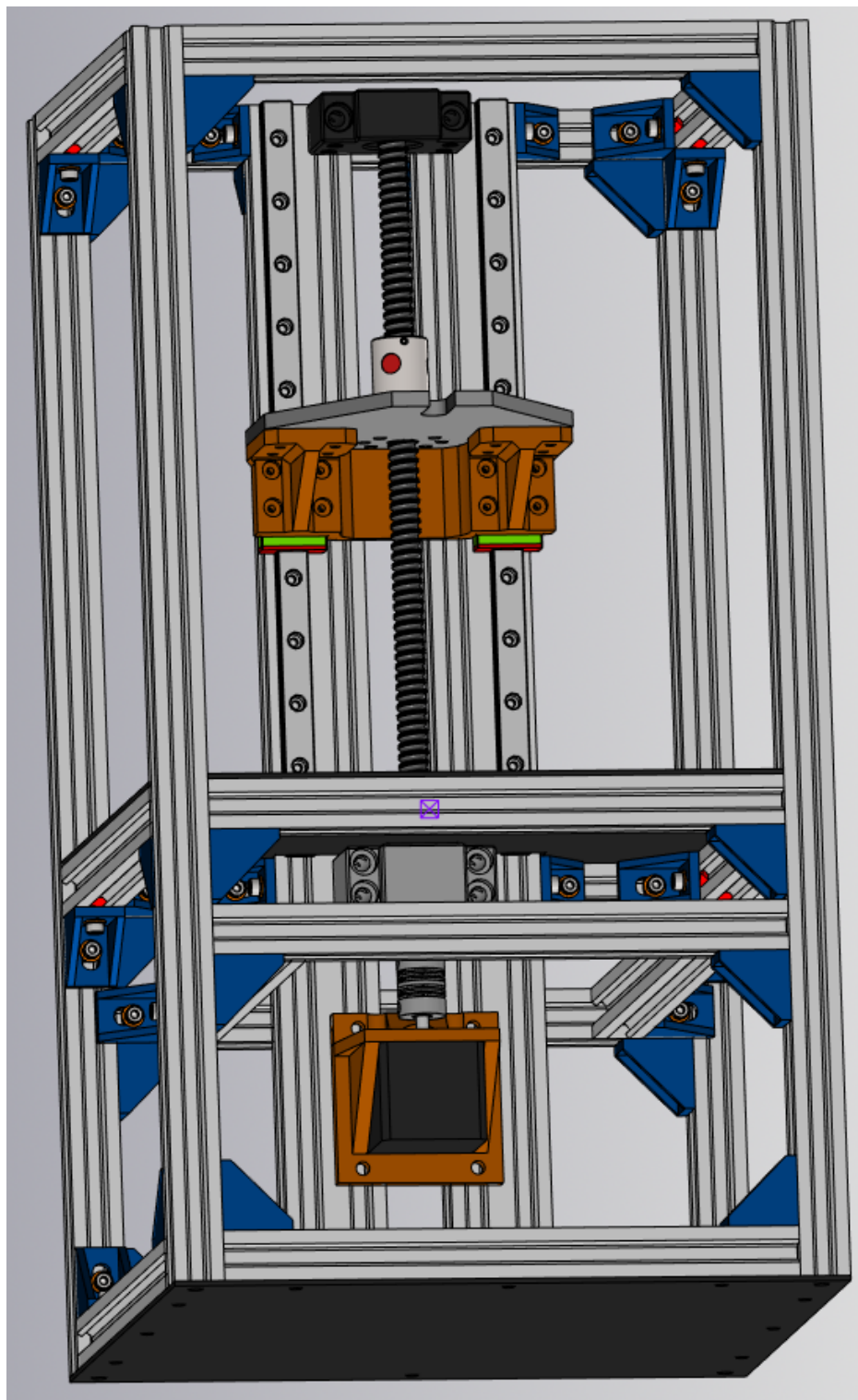
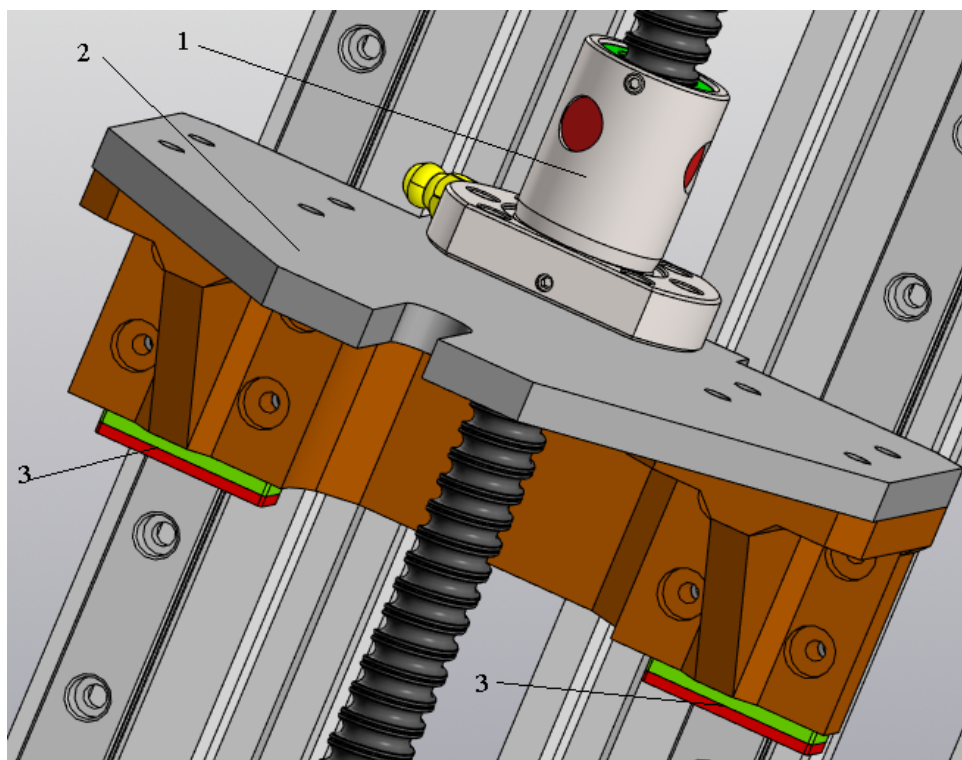


Рисунок 3.3 – 3D-модель конструкції фотополімерного 3D-принтера, розробленої в ході написання магістерської роботи



1 – гайка КГП; 2 – каретка для столика; 3 – каретка додаткової направляючої

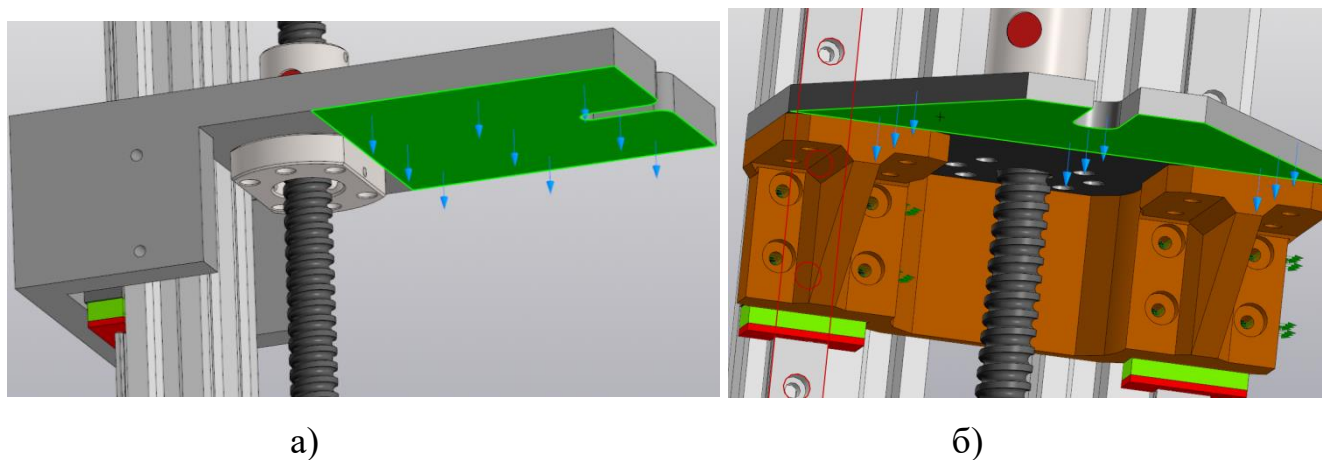
Рисунок 3.4 – Кріплення каретки для столика

Далі для порівняння вище вказаних двох конструкцій, а саме кареток для столику, було проведено дослідження в додатку APM FEM, призначеного для виконання експрес-розрахунку твердотільних об'єктів в системі КОМПАС-3D.

Для дослідження фотополімерного 3D-принтера кожної роботи було застосовано 3D-модель конструкції та було виконані наступні кроки:

- знаходження співпадаючих поверхні частин конструкції;
- вказування точок кріплення каретки, а саме до кареток додаткових направляючих та фланця гайки КГП;
- прикладання сили на плече каретки: в конструкції розробленої в ході написання бакалаврської роботи – це від місця закріплення столика до фланця гайки КГП (рис. 3.5,а), в конструкції розробленої в ході написання магістерської роботи – це від закріплення столика до нижньої частини каретки (рис. 3.5,б). В

якості навантаження виступає столик з моделлю, а саме маса столика 447 грам плюс маса деталі до одного кілограма;



- а) прикладання сили до каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи; б) прикладання сили до каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи

Рисунок 3.5 – Прикладання сили на плечі кареток

- вказування лінійного прискорення;
- поділення 3D-моделі конструкції на шари;
- побудова кінчної елементної сітки з максимальною ділиною сторони елемента 3 мм;
- статичний розрахунок з урахуванням параметрів, які були перчисленні вище;
- побудова карти результатів навантаження на плечі кареток з вказаним типом результатів “Напруження” і зрівнянням с допустимими напруженнями матеріалу каретки.

Для початку дослідження, в якості прикладеної сили було застосовано масу столика без додавання маси друкованої деталі. Карта результату для каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи приведено на рис. 3.6, а для каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи на рис. 3.7.

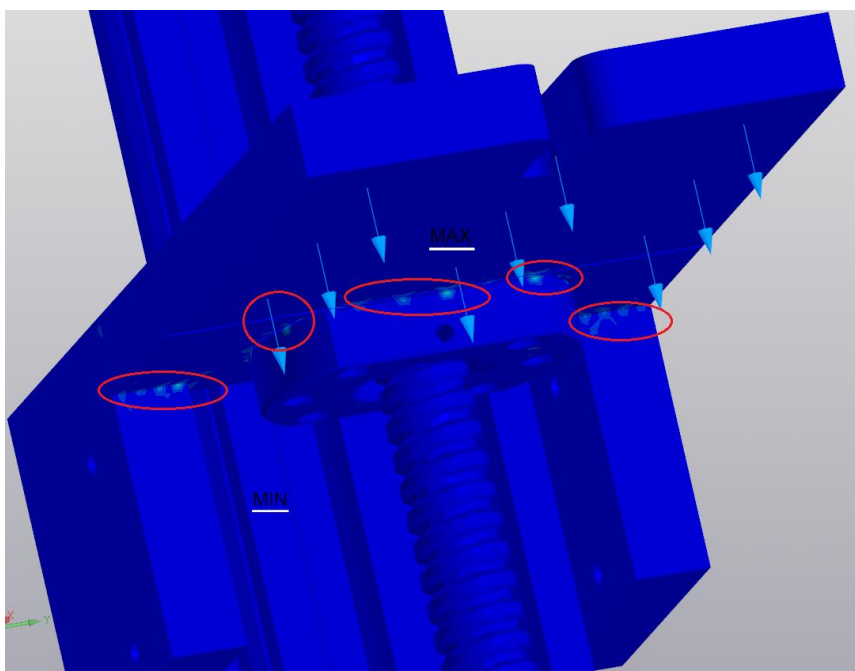


Рисунок 3.6 – Карта результату для каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи

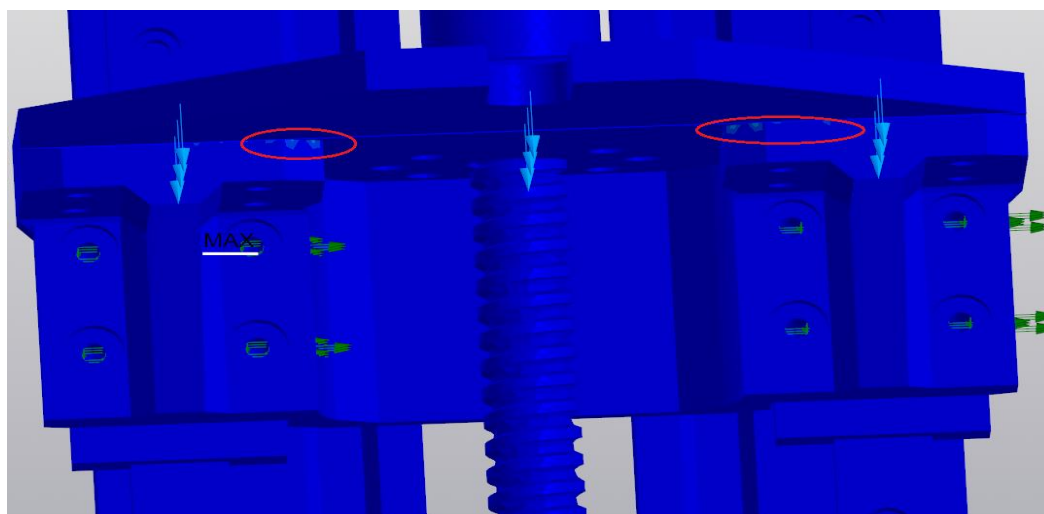


Рисунок 3.7 – Карта результату для каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи

На рис. 3.6 та рис. 3.7 виділені найбільше вразливі області червоним кольором – це місця максимального еквівалентного напруження кареток. Як видно з рисунків, каретка, розробленої в ході написання бакалаврської роботи,

має на порядок більш яскраво виділених місць напружень, ніж каретка, розробленої в ході написання магістерської роботи, так як каретка на рис. 3.6 виготовлена з Co-PEТ, а верхня деталь каретки на рис. 3.7 з алюмінію, як було вказано вище.

Далі додаючи масу деталі до столика, було проведено 20 досліджень для кожної каретки з кроком 50 грам. Результати досліджень зведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати дослідження

Маса, кг	Максимальне еквівалентне напруження каретки бакалаврської роботи, Мпа	Максимальне еквівалентне напруження каретки магістерської роботи, Мпа
0,447	6,94	0,92
0,497	9,55	1,02
0,547	12,08	1,12
0,597	14,47	1,32
0,647	17,14	1,42
0,697	19,67	1,54
0,747	21,70	1,73
0,797	24,32	1,92
0,847	26,58	2,11
0,897	28,60	2,22
0,947	31,03	2,35
0,997	33,93	2,52
1,047	36,97	2,64
1,097	39,60	2,74
1,147	41,86	2,90
1,197	44,69	3,07
1,247	47,80	3,18
1,297	50,71	3,28
1,347	52,72	3,49
1,397	55,36	3,64
1,447	57,26	3,82

Користуючись даними з табл. 3.1, було побудовано графік залежності максимального еквівалентного напруження від прикладеної сили на плечі кареток (рис. 3.8).

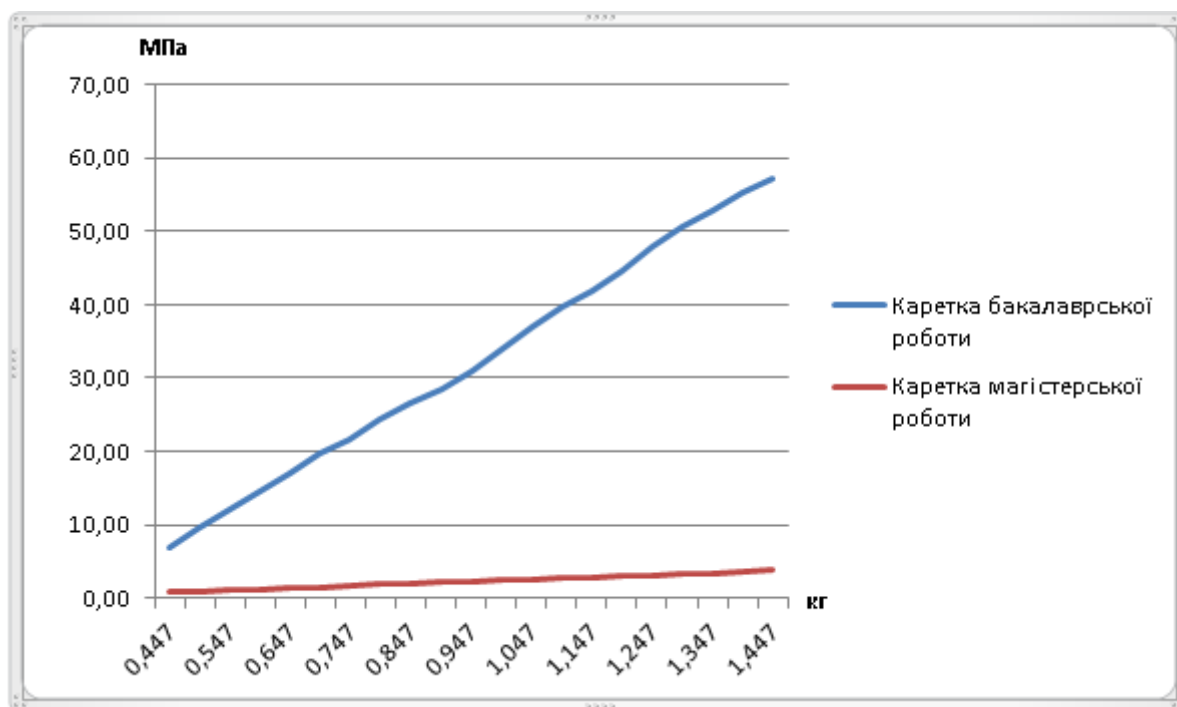


Рисунок 3.8 – Графік залежності максимального еквівалентного напруження від прикладеної сили на плечі кареток

При аналізі графіка (рис. 3.8) було виявлено, що напруження в місцях закріплення каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи, стрімко зростає з підвищенням маси, в той час як напруження в місці закріплення каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи, має найменше зростання.

Також було розраховано коефіцієнт запасу міцності, виходячи з отриманих даних, за формулою [20]:

$$n = \frac{\sigma_{\text{межа}}}{\sigma_{\text{max}}} \geq 1, \quad (3.1)$$

де $\sigma_{\text{межа}}$ – максимальне напруження елемента конструкції;

σ_{\max} – найбільше розрахункове напруження, що виникає в конструкції при експлуатаційному навантаженні.

Для каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи, в якості $\sigma_{\text{межа}}$ обирається максимальне напруження Со-РЕТ, а саме 85 МПа, а $\sigma_{\max} = 57,26$ МПа. Підставивши значення у формулу (3.1), отримаємо:

$$n = \frac{85}{57,26} = 1,48.$$

Отриманий коефіцієнт запасу міцності для каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи, задовольняє умову формули (3.1).

Для каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи, в якості $\sigma_{\text{межа}}$ обирається максимальне напруження алюмінію марки Д16 ДСТУ 21631-76, як було вказано в п. 2.1, а саме 250 МПа, а $\sigma_{\max} = 3,82$ МПа. Підставивши значення у формулу (3.1), отримаємо:

$$n = \frac{250}{3,82} = 65,45.$$

Отриманий коефіцієнт запасу міцності для каретки, розробленої в ході магістерської роботи, задовольняє умову формули (3.1).

За результатами розрахунків за формулою (3.1) видно, що запас міцності каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи, майже в 44 рази більше, ніж у каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи. Коефіцієнт запасу міцності каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи, вище одиниці, але значення розрахунку більше половини межі пружності, а це значить можлива поява пластичних деформацій. Так як навантаження буде повторюватися, тобто буде циклічним, то в областях, які виділені на рис. 3.6, приведе до пластичних деформацій, і згодом можуть з'явитися втомні тріщини, вони можуть збільшуватися, що з часом призведе до руйнування деталі.

3.2 Висновки до третього розділу

Проаналізувавши всі дані п.3.1, а саме результати з табл. 3.1, графік залежності на рис. 3.8 та результати, які були отримані за формулою (3.1), було підтверджено, що конструкція каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи, з недостатньою кількістю місць закріплення є ненадійною, що під час циклічної роботи може привести до утворювання втомних тріщин, що приведе до втрати кута 90° між столиком та дном ванночки, а згодом і до руйнування каретки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці в лабораторії

Аналіз умов праці проводиться для приміщення лабораторії: довжина 7 м, ширина 6,1 м, висота 3,2 м, площа вікон 3 м², споживана потужність обладнання 12 кВт. У приміщенні працює 6 осіб, розташовано 4 комп'ютера, розривна машина, токарний верстат, 3 лабораторних стола, 4 комп'ютерних стола, стіл овальний, шафа, TRADEX, OHASHI. Площа приміщення становить 47,2 м², обсяг – 151 м³. На одне робоче місце припадає 7,8 м² та 25,2 м³, що відповідає нормативному документу НПАОП 0.00-1.28-10.

Схематичне представлення системи «Л–М–С» дозволяє проаналізувати вплив шкідливих чинників на організм людини. Елементи системи можна розділити на наступні функціональні сегменти:

а) «Людина» є робочий виробництва:

1) Л1 – людина, яка управляє "машиною" для виконання основного завдання системи – виробництва продукту праці;

2) Л2 – людина, як біологічний об'єкт, який безпосередньо впливає на виробниче середовище (споживання кисню, тепло і вологовиділення);

3) Л3 – людина, яка розглядається з точки зору її психофізіологічного стану;

б) «Машина» є прилади в приміщенні:

1) М1 – машина, що виконує основну технологічну функцію;

2) М2 – машина, що виконує функції аварійного захисту – (прилади, які попереджають виникнення небезпечних факторів);

3) М3 – машина, яка впливає на стан виробничого середовища і людини (вплив, обумовлене шкідливими виробничими факторами);

в) «Середовище» є виробниче середовище;

обладнанням. Якщо ж обладнання, яке виконує ці функції справно, проводиться періодичний і постійний контроль його роботи, то людина буде впевнений у своїй безпеці в процесі праці;

– МЗ–ЛЗ. Вплив обладнання на психофізіологічний стан людини (на фізичний і психічний стан). В процесі роботи підвищений рівень шуму від обладнання викликає перенапруження слухових аналізаторів, нервові перенапруження. Перенапруження слухових аналізаторів може викликати приглухуватість. При розвитку різних захворювань у людини пропадає інтерес до процесу праці, з'являється дратівливість, зниження імунітету;

– ЛЗ–Л1. Вплив психофізіологічного стану людини на працездатність. При розвитку різних захворювань людина не в змозі повноцінно працювати, знижується працездатність, аж до її повної втрати. Коли людина знаходиться в роздратованому стані або коли спостерігається перенапруження аналізаторів або центральної нервової системи, працездатність падає;

– М1–М2. Вплив технологічного обладнання на функції аварійного захисту. Механічне або електричне пошкодження;

– М2–М1. Вплив функцій аварійного захисту на технологічне обладнання. При спрацьовуванні функції аварійного захисту технологічне обладнання відключається;

– МЗ–С. Вплив технологічного обладнання на виробничу середу. При технологічному процесі можуть змінюватися параметри мікроклімату;

– С–ЛЗ. Вплив середовища на психофізіологічний стан людини. Робота в приміщенні з несприятливими умовами викликає роздратування, нервові розлади, негативно впливає на працездатність;

– ПТ–Л1. Вплив предмета праці на працівника. Якщо НП не виходить, то працездатність людини може збільшитися, або навпаки – знизитися в результаті погіршення емоційного стану;

– М1–ПТ. Вплив технологічного обладнання на предмет праці;

– Л3–Л2. Вплив психофізіологічного стану людини на зміну інтенсивності протікання обмінних процесів в організмі. Перенапруження аналізаторів може викликати підвищення потовиділення, споживання кисню;

– Л2–С. Вплив людини як біологічного об'єкта на виробниче середовище. Підвищення потовиділення, споживання кисню може змінити параметри мікроклімату в приміщенні.

Згідно ДСТУТ 12.0.003-74 в даній системі «Л–М–С» мають місце фізичні і психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, хімічні та біологічні фактори відсутні.

Фізичні небезпечні і шкідливі фактори:

– підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;

– підвищений рівень шуму;

– недостатня освітленість робочої зони.

До психофізіологічних факторів належать:

– емоційні перевантаження;

– перенапруження зорових аналізаторів, розумові перенапруги.

Згідно проведеної аналізу умов праці було визначено домінуючий шкідливий виробничий фактор недостатня освітленість робочої зони.

4.2 Промислова безпека в лабораторії

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом згідно з НПАОП 40.1-1.21-98, приміщення лабораторія відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку. Електроживлення здійснюється від трифазної чотирьохдротового змінного струму з напругою 220/380 В, частотою 50 Гц, з глухо заземленої нейтраллю.

Відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 для електроустановок змінного струму напругою живлення до 1000 В з глухо заземленої нейтраллю

застосовується занулення, яке необхідно для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі непрямого дотику за рахунок зниження напруги корпусу щодо землі і швидкого відключення електроустановки від мережі.

4.3 Виробнича безпека в лабораторії

Згідно ДСН 3.3.6-042-99 робота в лабораторії з ПК по категорії робіт відноситься до легких (категорія I_a – легкі фізичні роботи з енерговитратами до 139 Вт або 120 ккал/ч). Робота ведеться сидячи, не вимагає систематичного фізичного напруження і переміщення важких предметів.

У робочій зоні приміщення згідно з ДСН 3.3.6.042-99 повинні бути встановлені оптимальні значення параметрів мікроклімату. Для категорії робіт I_a в приміщенні повинні підтримуватися наступні параметри мікроклімату:

- температура повітря від 22 °С до 24 °С в теплий період, від 23 °С до 25 °С в холодний період;
- відносна вологість повинна бути в межах від 40% до 60%;
- швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с. Для підтримки потрібної температури повітря в лабораторії рекомендується встановити кондиціонер;
- перепад температури повітря по висоті робочої зони при забезпеченні допустимих умов мікроклімату не повинен бути більше 3° С для всіх категорій робіт, а по горизонталі робочої зони та протягом робочої зміни – виходити за межі допустимих температур для даної категорії роботи, вказаних в табл. 4.1.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 в лабораторії застосовується суміщений тип освітлення, рекомендована освітленість від загального рівномірного штучного освітлення при роботі з монітором становить від 300 лк до 500 лк при використанні газорозрядних ламп білого кольору. Коефіцієнт природного освітлення – 1,5 %. Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності за формулою:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.1)$$

де W – питома потужність Вт/м²;

S – площа приміщення, $S = 47,2$ м².

Таблиця 4.1 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочих місцях – постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) на робочих місцях – постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період руху	Легка Іа	25	26	21	18	75	не більше 0,1
	Легка Іб	24	25	20	17	75	не більше 0,2
	Середньої важкості Іа	23	24	17	15	75	не більше 0,3
	Середньої важкості Іб	21	23	15	13	75	не більше 0,4
	Важка ІІІ	19	20	13	12	75	не більше 0,5
Теплий період року	Легка Іа	28	30	22	20	55 – при 28°С	0,2-0,1
	Легка Іб	28	30	21	19	60 – при 27°С	0,3-0,1
	Середньої важкості Іа	27	29	18	17	65 – при 26°С	0,4-0,2
	Середньої важкості Іб	27	29	15	15	70 – при 25°С	0,5-0,2
	Важка ІІІ	26	28	15	13	75 – при 24°С і нижче	0,6-0,5

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{\text{св}} \times n_{\text{св}}, \quad (4.2)$$

де $W_{\text{св}}$ – потужність одного світильника, $W_{\text{св}} = 72$ Вт;

$n_{\text{св}}$ – кількість світильників в приміщенні, $n_{\text{св}} = 9$.

$$W_{\Sigma} = 72 \times 9 = 648 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунок питомої потужності:

$$W = \frac{648}{47,2} = 13,7 \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Питомої потужність $13,7$ Вт/м² відповідає освітленість більше 300 лк, що задовольняє вимогам ДБН В.2.5.-28-2006.

Згідно ДСН 3.36.037-99 необхідно забезпечити рівень шуму в лабораторії не більше 50 дБ. Забезпечення необхідного рівня шуму досягається акустичної обробкою поверхонь лабораторії.

4.4 Висновки до четвертого розділу

Було проведено аналіз умов праці проводиться для приміщення лабораторії. Побудовано схематичне представлення системи «Л–М–С», що дозволяє проаналізувати вплив шкідливих чинників на організм людини. Було виявлено ступінь ураження електричним струмом. Були встановлені оптимальні параметри мікроклімату в приміщенні. Було розраховано суміщений тип освітлювання.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного аналізу процесів 3D-друку, розглянуто існуючі системи передач.

Проаналізував розглянуті переваги і недоліки кожної передачі, обрано передачу для пересування робочого стола, а саме КГП.

Дана передача має переваги в порівнянні з іншими:

- малі втрати на тертя при роботі КГП. ККД передачі досягає 0,9 і вище;
- висока несуча здатність при малих габаритах;
- низький коефіцієнт тертя спокою і висока кінематична чутливість (можливість отримання малих і точних переміщень);
- відсутність осьового і радіального зазорів (мертвого ходу);
- надійна робота в широкому діапазоні температур в вакуумі;
- малий знос робочих поверхонь гвинта і гайки, що забезпечує високу точність і рівномірність поступального руху.

В атестаційній магістерській роботі проводилися розрахунки конструкції принтера. Отримані результати повністю відповідають вимогам ТЗ:

- маса-габаритні розміри 280 мм × 260 мм × 502 мм, вага 7,2 кг не перевищують заявлені;
- для максимізації жорсткості конструкції, каркас принтера був стягнутий сальними пластинами, товщиною 2 мм;
- вибрано стандартні елементи для побудови принтера, такі як верстатний алюмінієвий профіль, КГП, кінцеві опори для КГП, лінійні направляючі з каретками. Відповідно до обраних елементів для точності позиціонування робочого столика, розроблено каретку для столика, кріплення двигуна.

Проаналізовано дані, які отримано завдяки експериментальним дослідженням над каретками, розроблених в ході написання бакалаврської та магістерської робіт, в додатку АРМ FEM, призначеного для виконання експрес-розрахунку твердотільних об'єктів в системі КОМПАС-3D, а саме:

– результати з таблиці результатів досліджень. Місця максимального еквівалентного напруження каретоки в ході написання бакалаврської роботи, має на порядок більш яскраво виділених місць напружень, ніж каретка, розробленої в ході написання магістерської роботи;

– графік залежності максимального еквівалентного напруження від прикладеної сили на плечі кареток. При аналізі графіка виявлено, що напруження в місцях закріплення каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи, стрімко зростає з підвищенням маси, в той час як напруження в місці закріплення каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи, має найменше зростання;

– результати, які отримані, в ході розрахунків, за формулою коефіцієнта запасу міцності. Запас міцності каретки, розробленої в ході написання магістерської роботи, майже в 44 рази більше, ніж у каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи.

Експериментально підтверджено, що конструкція каретки, розробленої в ході написання бакалаврської роботи, з недостатньою кількістю місць закріплення є ненадійною, що під час циклічної роботи може привести до утворення втомних тріщини, що приведе до втрати кута 90° між столиком та дном ванночки, а згодом і до руйнування каретки. Каретка, розроблена в ході написання магістерської роботи позбавлена цих недоліків.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов І. Ш., Олександров Ю. М., Андрусевич А. О, Чала О. О. Основи наукових досліджень: Навч. Посібник – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
2. 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.
3. 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.
4. Методичні вказівки до магістерської атестаційної роботи для студентів 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. – 49 с.
5. Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2018) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – Вип. 2. – 227 с.
6. Ремінні передачі [Електронний ресурс]; - Режим доступу http://cherch.ru/mechnicheskie_peredachi/remennie_peredachi.html - 21.09.2020 р. - Загл. с екрану.
7. Ремінні передачі [Електронний ресурс]; - Режим доступу http://k-a-t.ru/detali_mashin/21-dm_remen1/index.shtml - 21.09.2020 р. - Загл. с екрану.
8. Фрикційні передачі [Електронний ресурс]; - Режим доступу <http://www.teormach.ru/lect9.htm>; використання - 21.09.2020 р. - Загл. с екрану.
9. Ланцюгові передачі [Електронний ресурс]; - Режим доступу http://mmi-dmm.kpi.ua/images/pdf/Detali_Mash/08.PDF - 22.09.2020 р. - Загл. с екрану.

10. Зубчасті передачі [Електронний ресурс]; - Режим доступу <http://obrobka.pp.ua/1452-zubchast-peredach.html> - 22.09.2020 р. - Загл. с екрану.

11. Зубчасті передачі [Електронний ресурс]; - Режим доступу http://k-a-t.ru/detali_mashin/24-dm_zubchatye/index.shtml - 22.09.2020 р. - Загл. с екрану.

12. Передача гвинт-гайка [Електронний ресурс]; - Режим доступу <http://www.detalmach.ru/lect5.htm> - 22.09.2020 р. - Загл. с екрану.

13. ДСТУ 1515069. Виконання для різних кліматичних районів, категорії розміщення, умови експлуатації з певними температурами і вологістю. [Текст] – Введ. 1971-01-01. – К. Держстандарт України, 1971 – 59 с.

14. Невлюдов І. Ш. Основи виробництва електронних апаратів. Типові задачі : навч. посібник / І. Ш. Невлюдов. – Харків : СМІТ, 2009. – 400 с.

15. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень : підруч. для студ. ВНЗ, які навчаються за напрямом підготов. "Радіоелектронні апарати" / І. Ш. Невлюдов, В. О. Тимофєєв, В. М. Гурін, В. В. Євсєєв, С. С. Мілютіна. – Х. : Компанія СМІТ, 2013. – 289 с.

16. ДСТУ 7298:2013. Дизайн і ергономіка. Правила оцінювання естетичного рівня якості промислової продукції. [Текст] – Введ. 2013-10-14. – К. Держстандарт України, 2013 – 13 с.

17. Стрілець Р.О. Магістерська атестаційна робота «Оптимізація електронних компонентів та програмного забезпечення на якісні показники друку». – Харків: ХНУРЕ. – 2020. – 120 с.

18. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін “Основи конструювання ПЕА”, “Основи конструювання ЕЗ” для студентів усіх форм навчання спеціальностей 7.09003 – Побутова електронна апаратура та 7.09001 – Виробництво електронних засобів / Упоряд.: В. Я. Журавльов, О. І. Подгайко – Харків: ХНУРЕ, 2006. – 60 с.

19. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / Под ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 960 с.

20. Коэффициент запаса прочности [Электронный ресурс]; - Режим доступа https://studme.org/230326/tehnika/koeffitsient_zapasa_prochnosti_dopuskaemye_napryazheniya_raschety_prochnost_rastyazhenii_szhatii - 12.11.2020 г. - Загл. с экрана.