

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Автомобілі»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему «ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИБОРУ НЕМЕТАЛЕВИХ
МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЗМІВ ТРАНСМІСІЇ АВТОМОБІЛЯ
КАТЕГОРІЇ М1»

Виконав: студент II курсу, групи Т-119м

133 «Галузеве машинобудування»

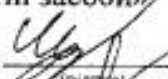
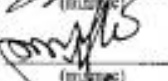
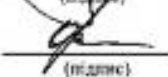
Освітня програма (спеціалізація)

«Колісні та гусеничні транспортні засоби»

Шевченко Т.Г.

Керівник доц., к.т.н. Кубіч В. І.

Рецензент Острогляд О. О.


(підпис)

(підпис)

(підпис)

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

Інститут, факультет Машинобудівний

Кафедра Автомобілі

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Колісні та гусеничні транспортні засоби
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


 Сосик А. Ю.
 « 16 » 12 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Шевченко Тарас Григорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Обґрунтування параметрів вибору неметалевих матеріалів для деталей механізмів трансмісії автомобіля категорії м1

керівник проєкту (роботи) доц., к.т.н. Кубіч В. І.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 06 » листопада 2020 року №312

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 8 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Куліса перемикач передач автомобіля Daewoo Lanos, ремонтний набір полімерних втулок куліси Daewoo Lanos.

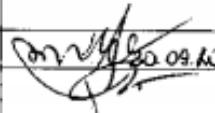
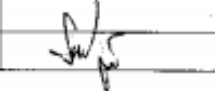
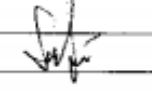
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- огляд наукової літератури за напрямком дослідження;
- експлуатаційно-технічна характеристика куліси перемикач передач;
- аналіз методу аддитивної технології;
- аналітичний розрахунок зношування шарового з'єднання;
- розробка заходів щодо визначення структур і властивостей виробів, отриманих 3D-друком;
- економічне обґрунтування роботи;
- охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

Презентація на аркушах формату А4.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
Дослідницький	к.т.н. доцент Кубіч В. І.		
Економічний	професор . Пожуєва Т.О. професор Левченко Н.М.		
Охорона праці	к.т.н. доцент Лазуткін М.І.		

7. Дата видачі завдання « 30 » вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Узгодження теми дослідження		
2	Здійснення аналізу літературних джерел Щодо обраного напрямку дослідження		
3	Проведення техніко - експлуатаційної характеристики об'єкта дослідження		
4	Аналіз методу аддитивної технології.		
5	Розрахунок зношування шарового з'єднання		
6	Розробка заходів щодо визначення структур і властивостей виробів, отриманих 3D-друком		
7	Економічне обґрунтування методу виготовлення зразків 3д друком		
8	Розробка заходів щодо охорони праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
9	Оформлення пояснювальної записки та представлення роботи до захисту		

Студент

Шевченко Т. Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

Кубіч В. І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 132 с., 36 рис., 25 табл., 122 джерел.

КУЛІСА, ТРАНСМІСІЯ, ПОЛІМЕР НЕЙЛОН, НАДІЙНІСТЬ,
КУЛЬОВА ОПОРА, ВТУЛКА, 3D-ПРИНТЕР, ЗНОС, МАШИНА ТЕРТЯ,
ТРИБОСПОЛУЧЕННЯ, ДОСЛІД, ЗРАЗОК, СОБІВАРТІСТЬ

В роботі вирішено науково-технічне завдання щодо поліпшення експлуатаційних властивостей кульової опори куліси автомобіля категорії М1 на підставі визначення параметрів вибору неметалевих матеріалів для її виготовлення.

Актуальність дослідження полягає у запропонуванні використання адитивних технологій для поліпшення надійності трибосполучення та удосконаленні конструкції полімерних виробів автомобіля.

Мета дослідження - поліпшення надійності роботи рухомого з'єднання шарніру куліси коробки перемикання передач з використанням полімерних втулок, виготовлених методом 3D друку.

Об'єкт дослідження – процес контактної взаємодії елементів кульової опори важеля перемикання передач.

Предмет дослідження – закономірності прояву зношування полімерних матеріалів від контактних дії тисків в зоні тертя.

Методи дослідження – системний аналіз для визначення проблемних питань та узагальненої оцінки отриманих даних; аналітичні розрахунки для визначення енергетичного, пружного, і середнього безрозмірного зносу; фізичне моделювання тертя та зношування запропонованих зразків полімерних матеріалів виготовлених за рахунок 3D друку.

Задачі дослідження:

- здійснення аналізу надійності полімерних елементів які застосовуються в приводі перемикавання передач;
- визначення векторів сил та їх розподіл на полімерну втулку шарніру важеля перемикавання передач при зміні передачі;
- оцінка параметрів моделі матеріалів, сировину та підходи до друку використаних при 3D друці;
- проведення аналітичних розрахунків зношування шарового з'єднання полімерна втулка – палець опори куліси перемикавання передач;
- виконати розробку заходів щодо визначення структур і властивостей виробів, отриманих 3D-друком;
- розрахувати собівартість виробу і визначити економічну доцільність використання 3D друку при виготовленні обраної деталі;
- розробити заходи технічної безпеки, на місцях проведення дослідницької роботи, а також з заходами забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці і пожежної безпеки.

Подальшим напрямком дослідження вважаю: визначення інтенсивності зносу полімерних зразків вироблених на 3D принтері; виготовлення натурних зразків на 3D принтері з обраного матеріалу.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАНЬ У ДОСЛІДЖЕННЯХ СПРЯМОВАНИХ НА ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРІВ В МЕХАНІЗМАХ АВТОМОБІЛІВ.....	11
1.1 Аналіз експлуатаційної надійності окремих елементів які застосовуються в приводі перемикавання передач.....	17
1.2 Аналіз експлуатаційної надійності окремих елементів які застосовуються в приводі перемикавання передач.....	19
1.3 Аналіз полімерів що застосовуються при виготовленні елементів трансмісії.....	23
1.4 Формулювання основних категорій наукового дослідження.....	25
1.5 Висновки до розділу 1.....	27
РОЗДІЛ 2 ТЕХНІКО–ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХВОСТОВИКА ШАРНІРА КУЛІСИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ.....	27
2.1 Розвиток аспектів використання полімерних матеріалів у вибраному вузлі.....	
2.2 Тип виготовлення вкладиша шарніру (куліси) Daewoo Lanos.....	29
2.3 Дослідження дій навантажень і сил в опорі важеля перемикавання передач.....	32
2.4 Уявлення про процес зношування полімерів і композитів на їх основі в залежності від типу впливу на матеріал в процесі тертя.....	35
2.5 Висновки до розділу 2	39

РОЗДІЛ 3 РОЗКРИТТЯ МЕТОДУ АДИТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЗМІВ АВТОМОБІЛЯ	
3.1 3D–друк. Технології 3D друку.....	40
3.2 Матеріали використовувані при 3D друку.....	40
3.3 Підходи до виготовлення деталей методом 3D–друку.....	46
3.4 Параметри оцінки фізичної моделі матеріалів використаних при 3D друці.....	50
3.5 Етапи організації 3D друку.....	54
3.6 Висновки до розділу 3.....	57
РОЗДІЛ 4 АНАЛІТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ЗНОШУВАННЯ КУЛЬОВОГО З’ЄДНАННЯ.....	60
4.1 Визначення інтенсивності зношування полімеру за формулою Ю. Н. Дроздова.....	61
4.2 Енергетичний знос та знос при пластичному контакті.....	70
4.3 Висновки до розділу 4.....	76
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУР І ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ, ОТРИМАНИХ 3D– ДРУКОМ	76
5.1 Методичне забезпечення експериментальних досліджень....	77
5.1.1 Обладнання для визначення механічних властивостей.....	77
5.1.2 Обладнання для визначення триботехнічних властивостей.	77
5.1.3 Обладнання для виготовлення модельних зразків.....	79
5.2Пропонування методики досліджень	84
5.3Порядок виконання дослідження.....	88
5.4 Розрахунок інтенсивності зносу зразків на базі дослідів.....	90
5.5 Висновки до розділу 5.....	95

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ 3Д ДРУКОМ.....	95
6.1 Маркетинговий аналіз проєкту	95
6.2 Організація проєкту	96
6.3 Фінансово економічний аналіз	98
6.4 Висновок до розділу 6	102
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	102
7.1 Аналіз потенційних небезпек.....	102
7.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	104
7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	104
7.4 Заходи з пожежної безпеки.....	112
7.5 Організація цивільного захисту на промисловому об'єкті.....	113
7.6 Висновок до розділу 7.....	117
ВИСНОВКИ.....	118
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	120

ВСТУП

Зараз є актуальним виготовлення полімерних запчастин адитивним методом (3D друку), на жаль мало серійне виробництво запчастин є сумнівним, бо на вітчизняному ринку багато шахраїв та неякісних товарів. Це дуже б'є по репутації 3D друку та довірі до нього.

Ідея котра розглядається в роботі – є аналіз, розрахунок та виявлення раціональності подальшого виготовлення полімерних дослідних зразків методом 3D друку, для встановлення їх характеристик під час роботи в вузлах тертя.

У зв'язку з розвитком автомобілебудування та поліпшення якості, надійності і технічних характеристик автомобіля, тема використання полімерів є не достатньо розглянутою. На сьогоднішній день полімери і композити з них займають провідну роль у виготовленні і заміні металевих елементів авто, що полегшує і прискорює процес виготовлення автомобілів, а так само здешевлює їх.

Полімерні матеріали є простим матеріалом для виготовлення легких, і в той же час міцних деталей, але опис надійності, у більшості виготовлених на сьогоднішній день запчастин з пластмаси – відсутня. Що підштовхує на дослідження, аналіз і опис даної теми.

Наявний у вітчизняному автомобілебудуванні досвід використання неметалевих матеріалів автомобіля, орієнтованих на використання нових рішень в конструкції вузлів тертя та навантажень, не отримав достатнього розвитку. Істотним стримуючим фактором для вітчизняного автомобілебудування є те, що недостатньо вивчені полімери в характерних і специфічних елементах автомобіля, наявні рекомендації щодо формування концепції розподілу і вибору полімерів, , але в ряді випадків використання неметалевих запчастин є суперечливим. Відсутні інженерні методи

розрахунку специфічних полімерних елементів, а також розрахунку коефіцієнта тертя у рухомих вузлах, та довговічності таких запчастин.

Актуальність науково-дослідних робіт в напрямку вивчення полімерів в трансмісії автомобіля, аналізу матеріалу, аналізу навантажень та сил які діють на вузол, а також технічних вимог до них, розробки інженерних методів розрахунку, що забезпечують необхідний технічний рівень на ранніх стадіях проєктування елементів, стає, очевидною.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАНЬ У ДОСЛІДЖЕННЯХ СПРЯМОВАНИХ НА ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРІВ В МЕХАНІЗМАХ АВТОМОБІЛІВ

Ключовою довгостроковою тенденцією в світовому автомобілебудуванні є курс на підвищення енергоефективності автомобілів, головним індикатором якої є питома витрата палива. Крім впровадження технічних інновацій, що стосуються економічності самих силових установок, одним з головних способів зниження питомої витрати палива є зменшення маси автомобіля. Використання полімерних матеріалів замість традиційних (метал, скло тощо) дозволяє домогтися радикального зниження маси деталей.

У масовому виробництві автомобілів заміні на полімери піддалися практично всі декоративні та оздоблювальні елементи, значна частина дрібних корпусних деталей тощо. По суті, використання, наприклад, сталі та алюмінію зберігається для несущих елементів, кузова, що рухаються і труться деталей, теплообмінних пристроїв і деталей, що працюють при підвищених температурах. Однак в екстремумі впровадження, наприклад, вуглепластикових композитів, дозволяє замінити ними і частина зовнішніх корпусних елементів (наприклад, капот).

Застосування полімерів крім того що працює на маркетингову привабливість зниження питомої витрати палива дозволяє виробникам істотно економити як за рахунок більш низьких цін на полімерну сировину в порівнянні з металами, склом, шкірою і натуральними тканинами, так і за рахунок значно нижчої собівартості обробки полімерів і виготовлення виробів і готових комплектуючих.

Тенденція до збільшення частки полімерних матеріалів в загальній вазі автомобіля почала набирати обертів досить давно. Так, за наявними оцінками, в 1984 році частка полімерів в загальній вазі середнього легкового автомобіля американського виробництва становила 8,5 %.

Сьогодні це 11% - 16% в залежності від типу кузова (рисунок 1.1) . Помічено, що частка полімерних матеріалів вище середнього рівня характерна для автомобілів малого класу і низького цінового сегмента.

Характерною особливістю автомобілів вітчизняних марок є досить низька частка полімерної продукції в загальній масі. В середньому вміст полімерів в легкових машинах вітчизняних марок поступається аналогічному значенню для моделей еквівалентних класів іноземних брендів на 4 %-7 % [1].

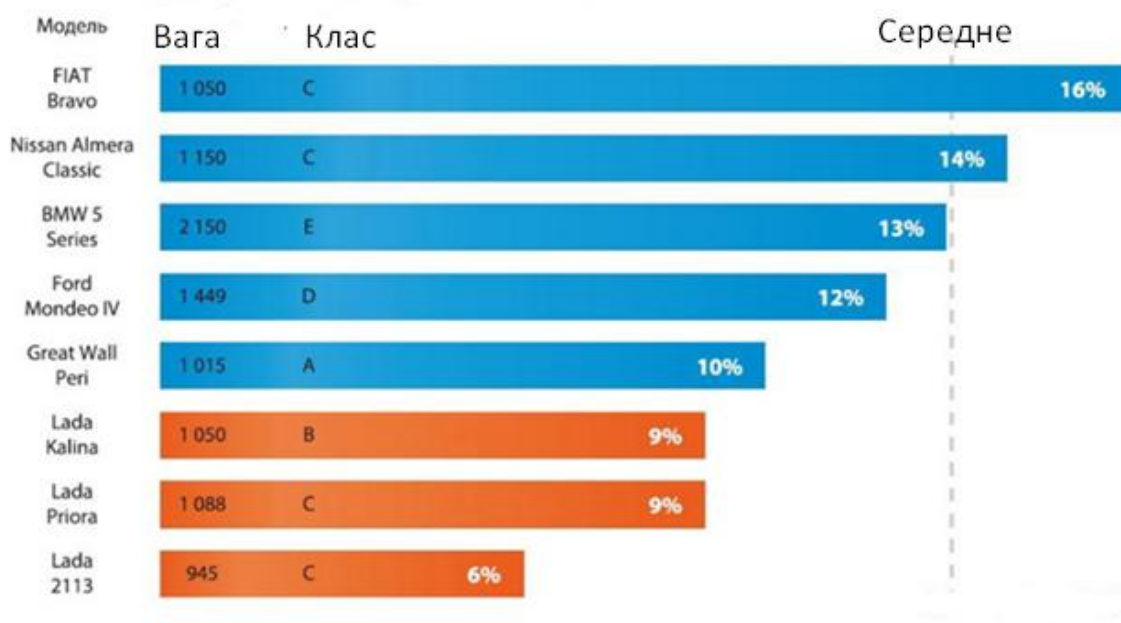


Рисунок 1.1 – Ваговий зміст полімерів у різних автомобілях [1]

Дана обставина, з технічного погляду, обумовлено двома основними факторами.

По-перше, низьку частку полімерних комплектуючих в умовно сучасних моделях російських марок (Lada Kalina, Lada Priora) можливо пояснити застосуванням досить консервативних, якщо не сказати архаїчних підходів, використаних при розробці цих моделей. Однак ясно, що при розробці нових вітчизняних автомобілів дизайнери та інженери змушені відштовхуватися від реалій локального ринку компонентів авто і технічних

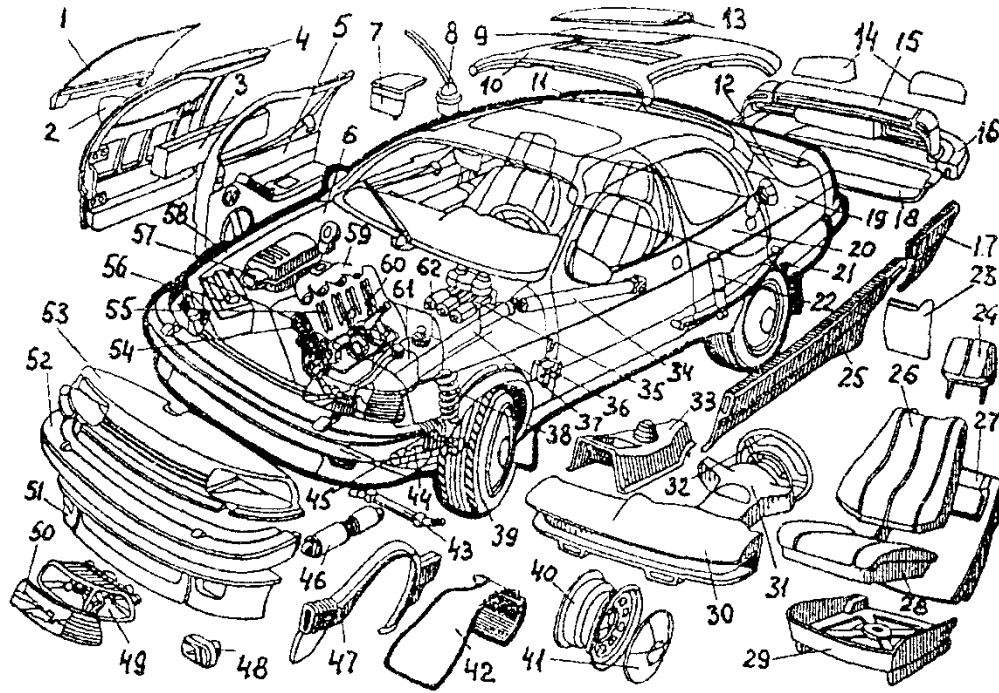
можливостей існуючих гравців: не можливо закладати в проєкт нового багатосерійного автомобіля використання деталей і матеріалів, які неможливо виготовити навіть у майбутньому. Тобто на низьку частку полімерів у вітчизняних моделях побічно впливає низький технологічний рівень розвитку індустрії пластикових компонентів авто. З іншого боку – і це другий чинник, виробникам компонентів автомобілів не вигідно брати в серійне виробництво ті чи інші полімерні деталі, якщо тираж таких деталей буде нижче якогось економічно виправданого мінімуму. Тобто індустрія локальних компонентів авто не отримує належного стимулу для розвитку в тому числі і тому, що вітчизняна автомобільна промисловість не виробляє достатньо багато автомобілів. В якомусь сенсі це замкнуте коло, розірвати яке можливо, з одного боку, переорієнтації вітчизняних виробників полімерних деталей та комплектуючих на поставку на заводи іноземних брендів, з іншого – постановкою в багатосерійне виробництво нових автомобілів російських марок, розроблених відповідно до найактуальнішим практикам проєктування в частині використання полімерних комплектуючих. Порівняння типового спектру видів полімерних матеріалів, що застосовуються при виробництві російської легковий моделі і іноземних (рисунок 1.2), вираженого у вигляді часток від загальної маси автомобіля, дозволяє судити про те, які саме види полімерів застосовуються недостатньо.



Рисунок 1.2– Структура застосовуваних полімерних матеріалів в частках від загальної маси автомобіля [1]

Дане порівняння показує в цілому очевидне більше або менше відставання за всіма видами полімерів. Характерними є два моменти. По-перше, в популярній російській моделі Lada Priora взагалі не застосовуються такі поширені в світовому автопромисловості матеріали, як полікарбонати і полібутилентерефталат. Це можливо пояснити тим, що дані види полімерів не виробляються вітчизняними нафтохімічними компаніями (ті полікарбонати, що виробляються, не володіють потрібними оптичними властивостями для використання в автомобілебудуванні) і виробництво компонентів з імпоротної сировини економічно привабливо. По-друге, в кілька разів відрізняється також частка використання поліетиленів, полівінілхлоридів і ABS-пластиків. Дана обставина можливо пояснити як відсутністю на внутрішньому ринку достатніх обсягів необхідних марок цих полімерів, так і технічною неготовністю російських виробників комплектуючих працювати з таким складним сировиною, як, наприклад, ABS-пластики [1].

Виходячи з рисунка 1.3 можливо зробити висновок що полімерні деталі діляться на: корпусні, декоративні та механічні. Основний відсоток складають корпусні і декоративні, через дешевизну і простоту виготовлення, а так само через малі механічних навантажень. Також використовують полімери і композити з яких виготовляють механічні елементи автомобіля, такі як: ресора (21), пружина підвіски (38), штовхачі двигуна з ніжним розподільним валом (55), впускних колектор (59) тощо. На підставі цього аналізування, проектування та дослідження механізмів які можуть бути виготовленні з полімерних матеріалів що застосовуються в трансмісії, ходовій та двигуні є актуальним і раціональним.



1 – скло дверей; 2 – дзеркало зовнішнє; 3 – брус пояса жорсткості; 4 – двері; 5 – внутрішня панель дверей; 6 – капот; 7 – внутрішнє дзеркало; 8 – склоочисник; 9 – прозора кришка вентиляційного люка; 10 дах; 11,51 – спойлери; 12 – кришка багажника; 13 – обтічник; 14 – задні ліхтарі; 15, 18 – деталі задньої панелі кузова; 16, 52 – бампери; 17, 25, 47 – проти-корозійні накладки; 19, 58 – крила; 20 – паливний бак; 21 – ресора підвіски; 22 – амортизатор підвіски; 23 – брудозахисний фартух; 24 – підголівник; 26 – спинка сидіння; 28 – подушка сидіння; 30 – панель приладів; 31 – кожух рульової колонки; 32 – рульове колесо; 33 – кожух тунелю статі; 34 – труба карданного валу; 35 – циліндри гідروприводів; 36 – петля дверей; 37 – картер зчеплення і коробки передач; 38 – пружина підвіски; 39 – шина; 40 – диск колеса; 41 – декоративний ковпак; 42 – проти-корозійний вкладиш крила; 43 – вал приводу переднього колеса; 44 – важіль незалежної підвіски коліс; 45 – стабілізатор поперечної стійкості; 46 – амортизатор бампера; 48 – протитуманні фари; 49 – блок-фара; 50 – розсіювач блок-фар; 53 – передня панель кузова; 54 – привід газорозподільного механізму; 55 – штовхачі двигуна з нижнім розподільним валом; 56 – корпус і кришка акумулятора; 57 – корпус повітряного фільтра; 59 – впускний колектор; 60 – шатуни; 61 – розширювальний бачок; 62 – бачок омивача

Рисунок 1.3 – Можливості застосування полімерних матеріалів в легковому автомобілі середнього класу [2]

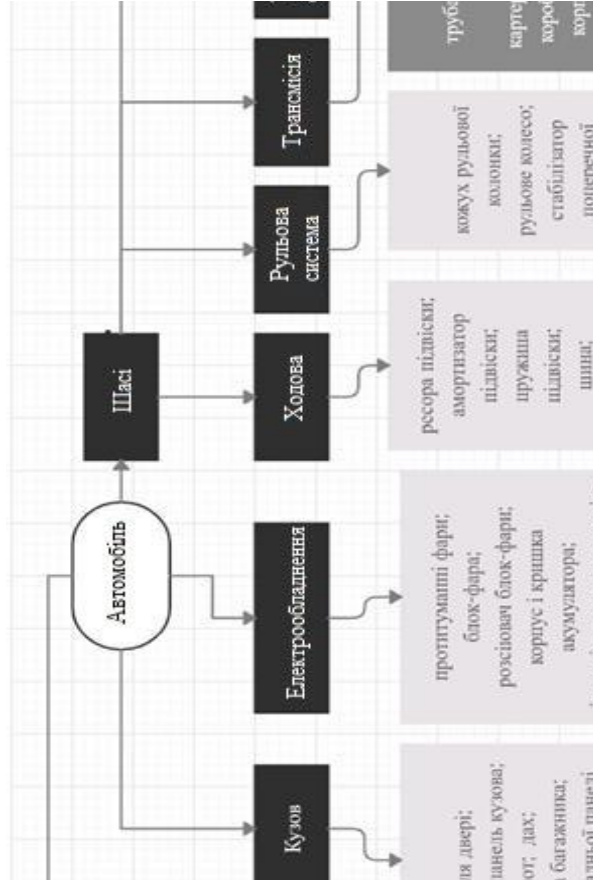


Рисунок 1.4 – Блок–схема елементів автомобіля з полімерів

Проаналізувавши і зробивши висновок щодо надійності автомобіля, а також надійності та довговічності його елементів, треба розглянути кожну із систем автомобіля. Але в більшій мірі – трансмісію, бо ця система приймає основні навантаження, а також має вагоме місце в безпеці пересування автомобіля. На рисунку 1.4 показані усі системи автомобіля, а також елементи які виготовляються з полімерів. Таким чином основні елементи трансмісії з полімерів – є корпус куліси, втулки, з'єднання куліси, картер зчеплення коробки передач а також труба карданного валу. Вважаю що з вищезазначених елементів є доцільним розглянути и проаналізувати саму кулісу и полімерні елементи які входять до її складу.

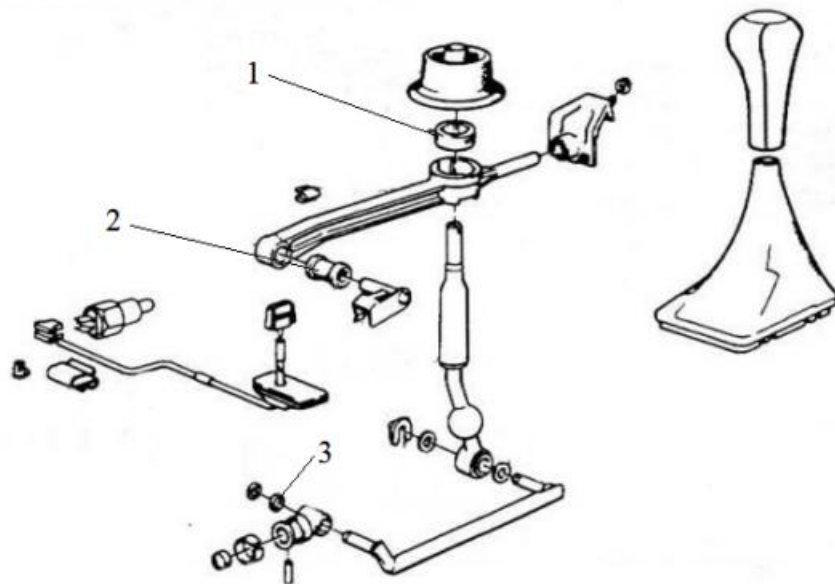
1.1 Аналіз експлуатаційної надійності окремих елементів котрі застосовуються в приводі перемикавання передач

Розглянувши вузли трансмісії автомобіля, можливо зробити висновок що вузол в якому найбільше всього деталей вироблених з полімерів – це, куліса перемикавання передач (даний елемент фахівці називають тягою приводу управління коробки передач).

Куліса коробки передач являє собою вузол з великою кількістю важелів. Він забезпечує зв'язок важеля коробки передач і штока вибору передач, який розташований в коробки передач. Як правило, цей вузол застосовують на автомобілях з переднім приводом. Крім того, куліса коробки передач знижує вібрації. Але для її належної роботи важливо вибрати надійні кріплення.

Йдеться про втулку куліси коробки передач. Для її вибору можливо використовувати каталожний номер відповідної запчастини, яку функцію пошуку деталей за спеціальними номерами автомобіля. Таку можливість нині представляють профільні інтернет магазини.

При правильно підбраною довжині тяг і супутніх механізмів забезпечується комфортне перемикання передач в момент переведення важеля в необхідне положення. Щоб пил не проникала в конструкцію, використовують манжети і пильовики. Вони здатні продовжити працездатність всього механізму [4]. Втулки краще виконувати з капролону або фторопласта, мідні ж і латунні втулки стираються набагато швидше [5]. Адже такі вироби можливо застосовувати навіть в агресивних середовищах. Конструкційний пластик ідеально підійде для виготовлення деталей механізмів і машин. Ці матеріали спосіб протистояти тертю і механічним навантаженням.



1 – втулка кріплення шарніра; 2 – втулки кріплення тяги (важіль); 3 – втулка кріплення тяги (обойма перемикання коробки передач)

Рисунок 1.5 – Полімерні елементи куліси BMW e34 [6]

При цьому куліса в коробці передач може зношуватися досить швидко, так як перемикання, на відміну від автоматичної коробки передач, передбачає постійну роботу з важелем коробки передач. Зазвичай термін служби складає близько 100 тис. км – 150 тис. км. Проте відмови можуть виникнути раніше [7]. Заявлений термін служби може становити від 150 тис.

км до 300 тис. км. Наприклад заявлений термін служби куліси Daewoo Sens – 150 тис. км – 200 тис. км.

Знос куліси пов'язаний саме з тертям в з'єднанні пластикових втулок з металевими шарнірами. Це сприяє швидкому зносу елементів і виходу їх з робочого стану (на прикладі Daewoo Sens), в результаті чого – складності з включенням передач, та відмови.

Так, встановлено, що підвищений знос комплектуючих коробки передач викликано наступними причинами [8]. До них відносяться наступні:

- природне підвищене тертя в шарнірах;
- несправності коробки передач, низький рівень масла – викликає;
- утруднене включення передач і підсилює знос;
- відсутність мастила у вузлах куліси;
- попадання в шарнір пилу і бруду, пов'язане з пошкодженням пиловловлювача;
- попередньо настроєні не якісний ремонтні комплекти лаштунки;
- неправильне регулювання куліси при встановленні або заміні.

1.2 Аналіз полімерів що застосовуються при виготовленні елементів трансмісії

Полімери широко використовуються в якості фрикційних і антифрикційних матеріалів, для чого їх властивості регулюють шляхом введення в композит спеціальних добавок.

Полімерні матеріали відрізняються від інших матеріалів відносно швидким руйнуванням поверхневого шару при терті, причому руйнування протікає тим інтенсивніше чим вище температура матеріалу.

Полімери, що володіють високими антифрикційними властивостями, такі як політетрафторетилен, поліамід, поліетилен, полиформальдегид і інші,

можуть використовуватися в вузлах тертя. Коефіцієнти тертя яких вказані в таблиці 1.1 [9].

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти тертя антифрикційних полімерних матеріалів

Полімер	Коефіцієнт тертя
Політетрафторетилен (ПТФЭ)	0,1–0,15
Полиетилен (ПЭ)	0,1–0,15
Полікарбонат (РС)	0,3
Поліпропилен (ПП)	0,3–0,4
Поліамід (ПА)	0,1–0,2
Поліформальдегід (ПОМ)	0,3

Найчастіше для виготовлення деталей, що працюють у вузлах тертя, використовують полімерні композиційні матеріали, до складу яких введені спеціальні наповнювачі, що володіють здатністю знижувати коефіцієнт тертя. Як правило, ці наповнювачі мають шарувату структуру. До них відносяться графіт, дисульфід молібдену, дисульфід вольфраму та ін. які вказані у таблиці 1.2. Зміст антифрикційних наповнювачів в полімерному композиційному матеріалі становить 2–10 % за масою і при такій кількості мало впливає на інші властивості полімеру. Іноді при створенні полімерних композитів з антифрикційними властивостями в них, поряд з вищевказаними наповнювачами, вводять металеві порошки для збільшення теплопровідності матеріалу і поліпшення відведення тепла із зони тертя [9].

Таблиця 1.2 – Коефіцієнт тертя по сталі антифрикційних наповнювачів

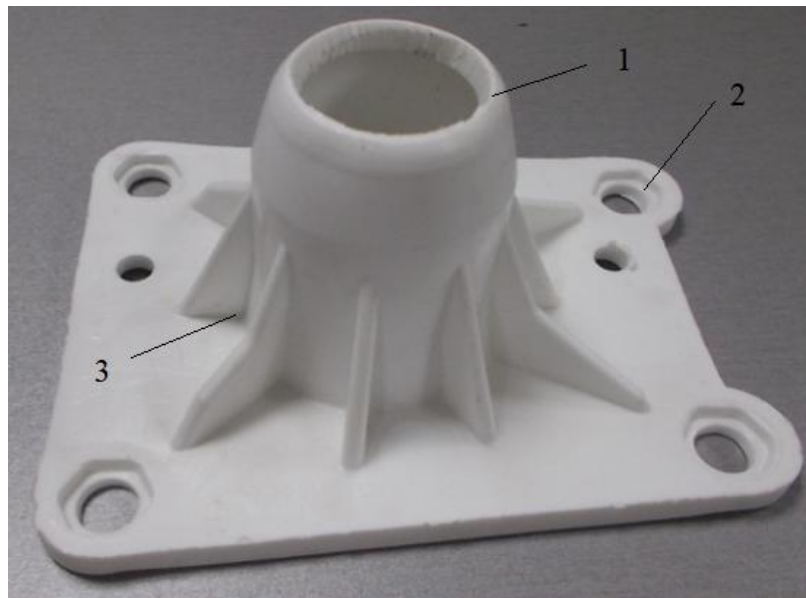
Наповнювач	Коефіцієнт тертя
1	2
Графит (С)	0,04–0,06

Продовження таблиці 1.2

1	2
Сульфид молибдена(IV) (MoS ₂)	0,02–0,03
Дисульфид вольфрама (WS ₂)	0,06
Диселенид молибдена (MoSe ₂)	0,02
Селенид вольфрама(IV) (WSe ₂)	0,02
Нитрид бора (BN)	0,07–0,4

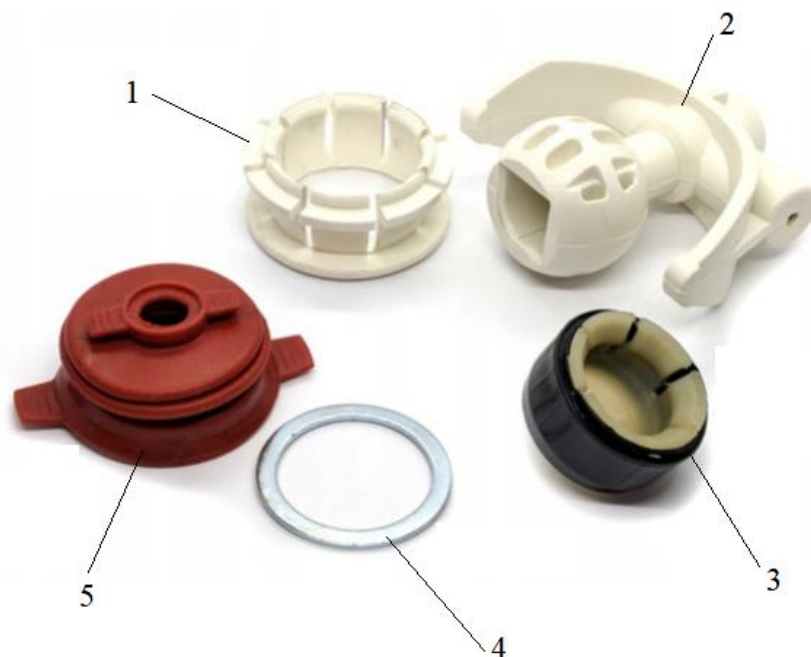
При заміні металу на пластмасу в ряді випадків завдяки відмінностям у властивостях цих матеріалів змінюються умови роботи деталі. Так, зуби пластмасовою шестерні на відміну від металевої мають більшу за розміром пляма контакту внаслідок меншої жорсткості і більшої податливості полімеру. А це, в свою чергу, призводить до підвищення її зносостійкості. Якщо врахувати, що пластмасова шестерня не вимагає мастила і працює безшумно, то стануть очевидними переваги виготовлення шестерень з пластмас, наприклад, з текстоліту або наповненого склом поліаміду замість застосовувалися раніше металевих [10].

Так само полімери застосовуються для виготовлення елементів трансмісії легкових автомобілів, а саме для виготовлення запчастин елементів тертя в вузлі коробки передач. Найчастіше в приводі перемикачів коробки передач (куліса), також корпусні елементи теж виконані з полімерів що зменшує їх вагу та собівартість. Деякі з них приведені на рисунках 1.6 і 1.7.



1 – місце злому від важеля перемикання передач; 2 – місця злому від кріплення(4 місця); 3 – місце злому від кутових сил прикладених до важеля перемикання передач

Рисунок 1.6 – Місця зломів корпусу куліси ЗАЗ «Таврія»



1 – опора кульового пальця ручки перемикання передач; 2 – кульовий палець ручки перемикання передач; 3 – втулка тяги; 4 – кільце;
5 – пиловловлювач

Рисунок 1.7 – Ремонт-комплект кульової опори важеля перемикання передач
AUDI VW Passat V 88 [85]

Таким чином, сучасна наука про полімери дозволяє конструювати на їх основі матеріали із заданими властивостями, що відрізняються на декілька порядків. Досягається це шляхом створення композиційних матеріалів з використанням різних інгредієнтів. Сучасні досягнення матеріалознавства, інформаційних технологій, наявність об'ємних баз даних дозволяють автоматизувати проектування полімерних композитів [9].

1.3 Аналіз способів підвищення надійності опори куліси, що надана у патентній інформації

Пошук та обробка патентної інформації щодо розгляду запропонованих технічних рішень відносно розвитку (вдосконалення) конструкції тяги приводу управління коробки передач дав можливість визначити наступні деклараційні документи.

Визначений перелік питань, що в них розглядався дав можливість сформулювати наступні напрями, за якими здійснюється вдосконалення конструкції, це:

- зміна матеріалу втулки шарніра куліси [11, 12];
- зміна твердості поверхні втулки шарніра куліси [13];
- зміна конструкції втулки шарніра куліси [12, 14].

При цьому, за першим напрямком досягається наступна мета збільшення надійності шарніру і спрощення його виготовлення технологічними методами

При цьому авторами запропоновано наступне [11]:

Як матеріал вкладиша може бути використаний порошок CuO , який при потраплянні вологи може збільшувати свій обсяг на 10 % – 15 % і має до того ж гладку структуру частинок, його складових (що не володіє абразивними властивостями) [11].

Вкладиш шарніра складається з полімерного матеріалу, здатного пружно деформуватися щонайменше в області цієї опуклості. За рахунок

особливої форми і вибору відповідного пружного матеріалу, наприклад поліоксиметілена, поліаміду, поліфеніленсульфіда або поліфталаміда [12].

Вкладиш виготовляють з полімерного матеріалу. Температурний коефіцієнт лінійного розширення полімерів, що застосовуються в якості вкладишів кульових опор приймає значення з діапазону від $72 \cdot 10^{-61}$ К до $550 \cdot 10^{-61}$ К [13].

За іншим напрямком досягається наступна мета – досягти більш рівномірного розподілу навантаження при дії осьових навантажень на палець шарніру.

При цьому авторами запропоновано:

Наступне. Діаметр пальця в місці сполучення з головкою становить величину 48% від діаметра кульової головки. Максимальна товщина вкладиша становить величину 14.8 % від діаметра кульової головки.

Досвідчена відпрацювання заявленої опори показала, що найбільш ефективно технічний результат досягається, коли область з меншою твердістю розташована на серединній поверхні кульової головки. Однак технічний результат також досягається, коли область з меншою твердістю розташована на полюсній поверхні кульової головки [13].

За третім напрямком досягається наступна мета – підвищення надійності коливань в різних площинах та рівномірного розподілу навантаження на з'єднання.

При цьому авторами запропоновано нас:

Підвищення надійності з'єднання відбувається за рахунок виключення паза, а також зменшення установочного розміру за рахунок скорочення кількості деталей в шарнірних пристроях і зменшення габаритних розмірів деталей [14].

Крім того, на зверненої від кулі зовнішньої поверхні вкладиша переважно виконати кілька проходять в поздовжньому напрямку ребрових ділянок для фіксації від провертання. Це перешкоджає проворачиванню вкладиша в корпусі [12].

1.4 Формулювання основних категорій наукового дослідження

З розглянутої вище інформації випливає, що з роками прогресу в автомобілебудуванні все більше використовують полімерні матеріали. Це супроводжується розвитком і насиченням ринку полімерними виробами для сучасних авто. Але на цей час є багато підробок а також виробів з неправильним вибором матеріалу. Ці фактори негативно впливають на зносостійкість та довговічність всього вузла в цілому.

Головні характеристики елементів трансмісії це:

- надійність;
- довговічність;
- ремонтпридатність;
- взаємозамінність;
- рентабельність.

Ці характеристики підводять до того, що вузол або окремі його елементи повинні бути надійними і витривалими до зносу. Також це відноситься до полімерних матеріалів. По–перше, елемент повинен бути міцним і витримувати прикладені до нього навантаження. По–друге, якісні характеристики матеріалу повинні відповідати його місцю і характеру використання. По–третє, собівартість не повинна бути меншою за срок його експлуатації.

Цього можливо спробувати добитися використавши адитивні технології вироблення полімерних елементів. Бо їх характеристики виготовлення та матеріали можливо змінювати не роблячи великих витрат на підприємство.

На підставі здійсненого аналізу стану досліджень у використанні неметалевих матеріалів у трансмісії автомобілів мною сформульовані наступні категорії наукового магістерського дослідження.

Актуальність дослідження полягає у запропонуванні використання адитивних технологій для поліпшення надійності трибосполучення та удосконаленні конструкції полімерних виробів автомобіля.

Мета дослідження поліпшення надійності роботи рухомого з'єднання шарніру куліси коробки перемикання передач з використанням полімерних втулок, виготовлених методом 3D друку.

Об'єкт дослідження— процес контактної взаємодії елементів кульової опори важеля перемикання передач.

Предмет дослідження— закономірності прояву зношування полімерних матеріалів від контактних дії тисків в зоні тертя.

Методи дослідження— системний аналіз для визначення проблемних питань та узагальненої оцінки отриманих даних; аналітичні розрахунки для визначення енергетичного, пружного, і середнього безрозмірного зносу; фізичне моделювання тертя та зношування запропонованих зразків полімерних матеріалів виготовлених за рахунок 3D друку.

Задачі дослідження:

Здійснення аналізу надійності полімерних елементів які застосовуються в приводі перемикання передач

Визначення векторів сил та їх розподіл на полімерну втулку шарніру важеля перемикання передач при зміні передачі;

Оцінка параметрів моделі матеріалів, сировину та підходи до друку використаних при 3D друці

Проведення аналітичних розрахунків зношування кульового з'єднання полімерна втулка – палець опори куліси перемикання передач.

Виконати розробку заходів щодо визначення структур і властивостей виробів, отриманих 3D-друком.

Розрахувати собівартість виробу і визначити економічну доцільність використання 3D друку при виготовленні обраної деталі.

Розробити заходи технічної безпеки, на місцях проведення дослідницької роботи, а також з заходами забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці і пожежної безпеки.

Подальшим напрямком дослідження вважаю: визначення інтенсивності зносу полімерних зразків вироблених на 3D принтері; Виготовлення натурних зразків на 3D принтері з обраного матеріалу.

1.5 Висновки до розділу 1

Аналіз літератури і джерел показує що на данному етапі використання полімерів у сучасних авто, полімери займають 16 % від усієї маси автомобіля. Але в вітчизняних це значення станове 6 % - 8 % . Це є вагомою причиною дослідження та визначення техніко–експлуатаційних характеристик полімерів, що застосовується у деталях, та вузлах автомобіля.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНІКО–ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХВОСТОВИКА ШАРНІРА КУЛІСИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

2.1 Розвиток аспектів використання полімерних матеріалів у механізмах перемикавання передач

Конструкція куліси коробки передач нічим не регламентується, кожен виробник може робити її такою, якою вважає за необхідне в залежності від конкретної компоновки машини і розташування коробки передач та інших елементів трансмісії [15]. Була розглянута і обрана куліса автомобіля типу М1, який є поширеним на території України – а саме Daewoo Lanos Також цей тип куліс може використовуватися на таких автомобілях як: Chevrolet Lacetti, Chevrolet Aveo і лінійки автомобілів марки Daewoo.

Рухи водія передає привід перемикання передач 1 (рисунок 2.1) через вал механізму перемикання передач 2 – на хвостовик шарніра 9, який з'єднаний за рахунок шарнірного з'єднання з важелем 10 який кріпиться до корпусу вісью важеля 8. При русі, вал хвостовика здійснює зворотно поступальні рухи, тим самим впливаючи на тягу 16 яка безпосередньо передає рух на карданний шарнір 4, який з'єднаний механізмом вибору передач коробки [16]. Основним елементом є кульовий шарнір куліси коробки передач. За основу рисунку кульового з'єднання було використано рисунок пресування шарнірного пальця у полімерну втулку.

Кульовий шарнір містить кульову головку хвостовика 9 і розміщений вкладиш шарніра 18 (рисунок 2.2) з сферически внутрішніми поверхнями. Вкладиш виконаний з прорізом під кільце ущільнювача 19. Так само зі зворотного боку є корона–образне кріплення для заглушки шарніра 20. У середині шарніра є графітне мастило УСсА (10–15г).



1 – зацеп вкладиша під виїмку корпусу; 2 – зацеп на поверхні корпусу;

3 – заглушки шарніра

Рисунок 2.2 – Вкладиш шарніру куліси Daewoo Lanos [16]

2.2 Способи виготовлення вкладиша шарніру (куліси) Daewoo Lanos

При виготовленні полімерної втулки (вкладиша) куліси коробки передач Daewoo Lanos використовують матеріал – поліамід 6 або його аналоги [86].

Основні способи виготовлення полімерного вкладиша:

- гаряче штампування;
- лиття під тиском.

Основним методом виготовлення вкладишів є лиття під тиском – процес, під час якого матеріал переводиться в в'язко–текучий стан і потім впорскується під тиском в форму, де відбувається оформлення виробу.

Способи лиття під тиском виробляють штучні вироби масою від часток грама до десятків кілограмів. Цей спосіб є найбільш поширеним в переробці більшості промислових термопластів. Крім того, литтям під тиском виробляють вироби армовані, гібридні, порожнисті, багатобарвні, з пінних пластиків та інших [17].

До основних переваг лиття під тиском відносяться:

- універсальність за видами пластиків що перероблюються;
- висока продуктивність;
- висока якість вихідних виробів;
- можливість виготовлення деталей досить складної конфігурації або тонкостінних виробів;
- відсутність додаткової обробки кінцевого продукту (за винятком операції видалення літників);
- повна автоматизація процесу.

Недоліки способу:

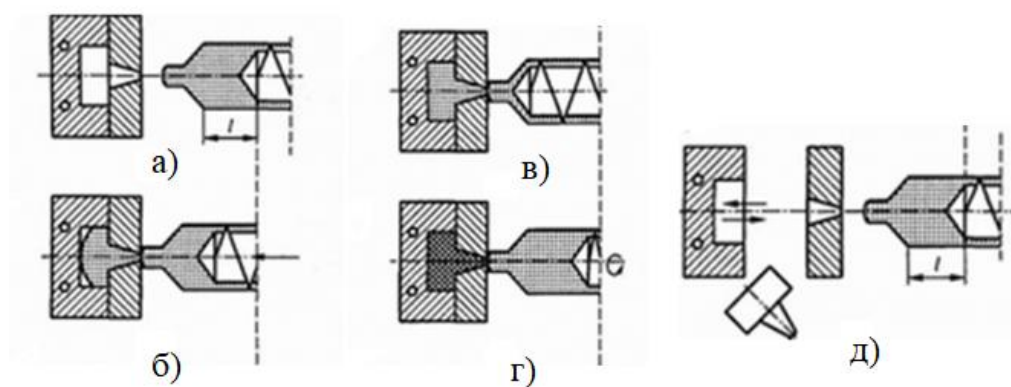
- ливарні машини є складними і дорогими пристроями, насиченими сучасними технічними рішеннями;
- застосування термопласти–автоматів для реалізації конкретного технологічного процесу вимагає кваліфікованого технічно–економічного обґрунтування.

Розплав полімеру готується і накопичується в матеріальному циліндрі литтєвої машини (в даному випадку – черв'ячного типу) до подальшої подачі в зімкнуту форму (рисунок 2.3, а).

Потім матеріальний циліндр змикається з вузлом форми, а пластифікатор (в нашому випадку – нерухомий черв'як) в процесі осьового руху переміщує розплав в форму (рисунок 2.3, б). В результаті чого форма заповнюється розплавом полімерного матеріалу, а пластифікатор зміщується в крайнє ліве (рисунок 2.3, в) положення (позиція в).

Далі розплав в формі застигає (або міцніє– в разі реактопластов) з утворенням міцного виробу (рисунок 2.3, г). Матеріальний циліндр продовжує залишатися в зімкнутому з системою форми положенні. У цій ситуації черв'як починає обертатися із заданою швидкістю, готує і транспортує розплав в передню зону матеріального циліндра і при цьому відсувається назад. В кінці накопичення необхідного обсягу розплаву обертання черв'яка припиняється. Він займає вихідне положення.

Після завершення процесу затвердіння пластмаси форма розмикається, і виріб видаляється з неї (рисунок 2.3 д). Для полегшення знімання виробу матеріальний циліндр може до цього моменту відсунутися від вузла форми. Далі цикл лиття під тиском повторюється [17].



а) – дозування матеріалу і завантаження його в циліндр; б) – пластифікація матеріалу; в) – вприскування матеріалу в зімнуту форму і витримка його під тиском; г) – охолодження виробу у формі; д) – розсування форми і видалення виробу з неї

Рисунок 2.3 – Принципова схема процесу лиття під тиском [17]

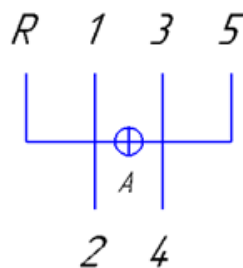
Але обладнання для лиття під тиском коштує дуже дорого, і потребує його вивчення і технічного підходу. Це штовхає на пошук більш дешевого і простого способу виготовлення полімерних втулок.

Альтернативою є використання адитивної технології, яка може надрукувати декілька зразків за невеликий час, і потребує менших витрат на саме обладнання а також його вивчення. Також – 3D друк дає можливість іспитів з матеріалом(зміни матеріалу, щільності, а також його куту друку), та зміною звичайної конструкції на більш удосконалену.

2.3 Дослідження дій навантажень і сил в опорі важеля перемикавання передач

Модель навантажень шарнірів приводу управління механізмом перемикавання передач Daewoo Lanos на даний час відсутня, тому виходячи з аналізу з'єднання, можливо зробити висновок що механізм відчуває на собі зворотно–поступальні та кутові навантаження.

Виходячи з цього можливо змодельовати розподіл сил на шарнір при включенні передачі. Для простоти розуміння створена схема перемикачів передач (рисунок 2.4), на якому зображено розташування передач автомобіля Daewoo Lanos. Окружність позначена буквою «А» – це позиція важеля перемикачів передач. На рисунок він займає нейтральне положення.



1 – перша передача ; 2 – друга передача; 3 – третя передача ; 4 – четверта передача; 5 – п'ята передача; R – задній хід

Рисунок 2.4– Принципова схема вибору швидкостей коробки передач

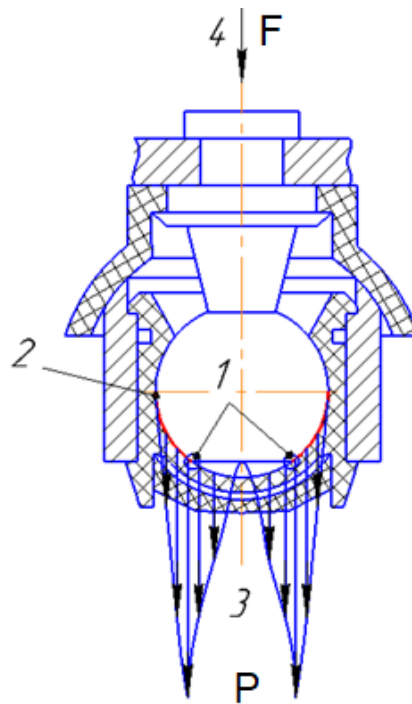
Для визначення напружень будується тривіально проста схема кульового з'єднання, що складається з:

- хвостовика шарніра;
- полімерної втулки;
- пальця шарніра важеля;

Між хвостовиком і пальцем шарніра присутня втулка, яка безпосередньо сприймає навантаження. У кожному з пунктів показаний шлях пересування важеля перемикання передач з нейтрального положення у положення відповідної передачі. Червоним виділені зони контакту (30°), в яких відбувається тертя з втулкою (рисунок 2.5).

Виходячи з цього більш всього сил припадає на п'яту і задню передачу. Але, беручи за основу кількість і інтенсивність вмикань, найбільш вразливими – є перша друга а також третя передача, бо вони найчастіше використовуються в місті. Це призводить до зношення 3х основних місць в полімерному шарнірі, які можливо відмітити.

Але виходячи з аналізу та побудови ця схема є не повною, бо сила прикладена до місця контакту є не одинична, також на втулку діє сила зминання. Яка знаходиться з протилежної сторони відносно дії на палець. Це дуже видно на рисунку 2.6. В силу форми головки, навантаження від неї на вкладиш передається нерівномірно по поверхні контакту головки і вкладиша. Максимальне зусилля від головки на вкладиш діє там, де кут між дотичною до поверхні головки і вектором сили дорівнює 90° . Але в даній голівці шарніра присутній торець для змащення, тим самим зменшуючи площину навантаження і надає місце мастилу.



- 1 – плями гострого контакту кульової головки шарніра;
 2 – площа контакту кульової головки; 3 – розподіл тиску головка–вкладиш;
 4 – тиск на кульову головку; F – вертикальний тиск прикладений до кульової опори, H ; P – розподіл тиску від опори на полімер в зоні контакту, H

Рисунок 2.6 – Зусилля від кульової головки на втулку при взаємодії

Виходячи з рисунку 2.6 наведена пляма контакту розподілена по площі дотику кульової опори і полімерної втулки. Таким чином при силі, вектор якої прикладений вертикально (F), буде відбуватися зминання шару полімерної втулки в місцях дотику торця кулі (1). Це є причиною руйнування полімерної структури і швидкому зносу самої втулки.

2.4 Методи оцінки зносу полімерів і композитів на їх основі в залежності від тертя

Одним з основоположників теорії зносостійкості пластмас є С. Б. Ратнер і співавтори пов'язують зносостійкість пластмас з комплексом інших механічних властивостей матеріалів [19, 24]. Виходячи з найбільш загальних

міркувань, без детального розгляду механізму руйнування поверхневого шару стирається матеріалу і відділення частинок, С. Б. Ратнер [19] запропонував формулу, яка показує роль механічних характеристик матеріалу, які визначають в основному його зносостійкість, при цьому автор вказує на якісний характер пропонованої формули [19]:

$$\text{---}, \quad (2.1)$$

де V – знос по наждачному паперу, г/м^3 ;

μ – коефіцієнт тертя;

H – твердість, МПа;

σ – межа міцності при розтягуванні МПа;

ε – відносне подовження, %.

Автор визначає знос як руйнування матеріалу на поверхні тертя. Зазвичай вважається, що зносостійкість матеріалу тим вище, чим вище його твердість і міцність – чим твердіше зношуються тіло, тим менше впроваджуються в нього виступи жорсткого контртіла, і чим міцніше матеріал, тим важче його зруйнувати. Важливою особливістю формули є врахування ролі розривного подовження, що характеризує еластичність матеріалу при руйнуванні. Автором відзначається [19], що акт зносу як відділення контактують частинок від матеріалу який зносився, відбувається тоді, коли створюється контртіло подовження перевищує розривне подовження матеріалу в умовах поверхневого розтягування, і підвищення розривного подовження матеріалу грає фундаментальну роль в підвищенні його зносостійкості. У різних пластиків гранична деформованість різниться у багато разів. Підвищення температури, при якій зменшується міцність і твердість пластмас, збільшує їх розривне подовження.

Аналізуючи запропоновану формулу, С. Б. Ратнер робить висновок, що при цьому можливо очікувати не тільки падіння зносостійкості, але і є збільшення при різкому зростанні відносного подовження.

Kenneth G. Budinski [20] порівнював безліч матеріалів по зносостійкості на напів закріплених абразиві. Всі зразки досліджувалися на пластичну деформацію композиту при втисненні кульки діаметром 6 мм до фіксованої глибини в 1,25 мм; при цьому вважалося, що саме пластична деформація матеріалу допомагає виорювало борозни на поверхні стирання композитів. В результаті він запропонував свою емпіричну формулу визначення зносостійкості:

$$, \quad (2.2)$$

де W – швидкість стирання, $\text{мм}^3/\text{год}$;

μ – коефіцієнт тертя піску по пластиковій поверхні (режим полу закріпленого абразиву), МПа;

S_e – площа під кривою в координатах «деформація при втисненні кульки – об'ємний знос», мм^2 .

Автори самі вказують на не ідеально кореляції експериментально певної зносостійкості досліджених матеріалів з результатами, отриманими розрахунком за пропонованою формулою. А. А. Сеппа є співавторами [21] намагалися зв'язати моделі зносу Ратнера і Budinski, підкреслюючи, що моделі, запропоновані цими вченими зробили крок вперед до розуміння механізмів зносу і їх зв'язку між властивостями матеріалів і швидкістю зношування.

Існує досить багато і інших моделей, результати застосування яких зіставляються з моделлю Ратнера. Так свою формулу прогнозування зносостійкості в умовах системи полімер–метал дає Horst Czichos [21]. Знос по металу він визначав як абразивний знос, так як в системі крім контакту двох тіл були присутні продукти зносу, які і виступали в ролі абразиву. Знос він визначав як:

$$, \quad (2.3)$$

де W – абразивний знос, г/м^3 ;

A_r – площа контакту абразивного тіла з поверхнею полімеру, мм^2 ;

S – дистанція зносу, мм ;

K – ймовірність утворення частинок сміття при зносі.

Після уточнення всіх умов абразивного зносу формула представлена у вигляді:

$$\text{---}, \quad (2.4)$$

де W – абразивний знос, г/м^3 ;

F_n – навантаження N ;

S – дистанція, мм ;

f – коефіцієнт тертя, МПа ;

σ_y – напруга при розриві, МПа .

При однакових умовах експерименту навантаженням і дистанцією можливо знехтувати, і тоді знос буде залежати всього лише від коефіцієнта тертя і напруги при розриві, що не зовсім показує повні фізико–механічні характеристики композитів. В роботі [22] досліджували механізм з двох тіл зносу по абразиву наждачного паперу. Застосовували абразивну папір з різним розміром зерна, твердістю і природою самих абразивних зерен. Знос проводили за стандартною схемою полімерний стовп – наждачний папір. Ймовірність утворення мікротріщин при терті по наждачним папері автори позначили Ω . Цей фактор в основному включає в себе вплив розміру абразивних зерен; тобто чим більше абразив на наждачним папері, тим вище Ω . Узагальнена формула зносу Фрідріха і Кафки виглядає наступним чином:

$$\text{---}, \quad (2.5)$$

де W – абразивний знос, г/м^3 ;

H – загальна твердість композиту, МПа ;

G – енергія руйнування.

На сьогоднішній день модель не отримала особливого поширення. У роботах Н. Sin, N. Saka, N. P. Suh. [23] розглядали вплив розміру зерен абразиву на зносостійкість поліметилметакрилата. Автори використовували схему зносу типу палець–диск з жорстко закріпленими карбідокремнієвих абразивом. Вимірювання були проведені при різних тангенціальних швидкостях і навантаженні на зразок.

Коефіцієнт тертя збільшувався приблизно на 20 % при збільшенні розміру зерен абразиву шкурки з 10 мкм до 100 мкм, але при подальшому збільшенні розміру зерен абразиву залишався практично незмінним. Також спостерігали збільшення зносу з ростом абразивності і номінального тиску на зразок. Причому знос збільшувався до деякої критичної точки абразиву і, далі, величина зносу залишається майже незмінною. Дана критична точка відповідає діаметру зерен абразиву 80 мкм. для всіх досліджених поверхонь.

Автори [25] привели коротку вичавку теорій абразивного зносу і в підсумку прийшли до висновку, що, кореляція між зносом і механічними властивостями неможлива при багатопрохідних умовах через поєднання властивостей матеріалу, які впливають на поверхню абразиву, забиваючи його частинками зносу. У двухфазном абразивному зносі при однопрохідних умовах та трифазні абразивному об'ємному зносі автори знайшли кореляцію, що вказує на все три фактора: ζ – міцність на розрив, ε – відносне подовження, H – твердість композитів, і шлях тертя грали вирішальну роль в поведінці зносу окремих композитів.

2.5 Висновок до розділу 2

Розглянуто принципову схему куліси коробки передач Daewoo Lanos та обрано полімерний елемент для подальшого дослідження. Проаналізовано та накреслено спрощені схеми навантажень на полімерну втулку шарніру перемикачів передач, де вказані гострі плями зминання при взаємодії шарніру з втулкою при вертикальному тиску.

Висвітлено метод виготовлення полімерних виробів і запропоновано новий метод – 3D друк.

Описано методи оцінки зносу полімерів, в залежності від тертя, що є підґрунтям для аналітичних розрахунків у розділі 4.

РОЗДІЛ 3 РОЗКРИТТЯ МЕТОДУ АДИТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЗМІВ АВТОМОБІЛЯ

3.1 3D–друк. Технології 3D друку

3D–друк або адитивне виробництво – це метод виготовлення виробів на основі моделі автоматизованого проєктування шляхом пошарового сплаву матеріалу [26–28]. Перевага даної технології полягає в можливості виготовлення виробів зі складною геометрією максимально автономно і з високою точністю. Виготовлення деталей не вимагає будь-якої складної інструментальної оснащення, такий як ливарна форма. В даний час метод адитивного виробництва набуває все більшого значення в порівнянні з традиційними технологіями [27–29]. Використовувані для друку матеріали – це полімери (в основному термопласти), метали і інші менш поширені. Свій початок аддитивное виробництво бере в 1987 році і пов'язане зі стереолітографією (SLA) і компанією 3D Systems.

У промислових галузях технології адитивного виробництва використовуються, з одного боку, для створення прототипів і дослідних моделей, з іншого – в якості готових до використання виробів в області автомобілебудування, аерокосмічній і оборонній промисловості, будівництва тощо. Однак вироби кінцевого споживання, виготовлені за технологіям адитивного виробництва, мають обмеження по кількості виробленого продукту і його властивостями, що не дозволяє повністю замінити традиційні

методи виробництва виробів. У Соціокультурний застосування адитивних технологій включає в себе їх використання в освіті, мистецтві та в побуті.

В останні роки промислові компанії активно виводили різні технології 3D друку на комерційний ринок. Нижче представлені найбільш часто використовувані процеси.

SLA (stereolithography), процес відомий як стереолітографія – друк за допомогою фотополімерних смол. Технологія полягає в пошаровому нарощуванні матеріалу з використанням процесу фотополімеризації. Машина складається з чотирьох основних частин: басейну, заповненого рідкою смолою (фотополімер), платформи і поршня, який може опускати платформу в басейн, ультрафіолетового лазера і системи комп'ютерного сканування (рисунок 3.1) [30–35].

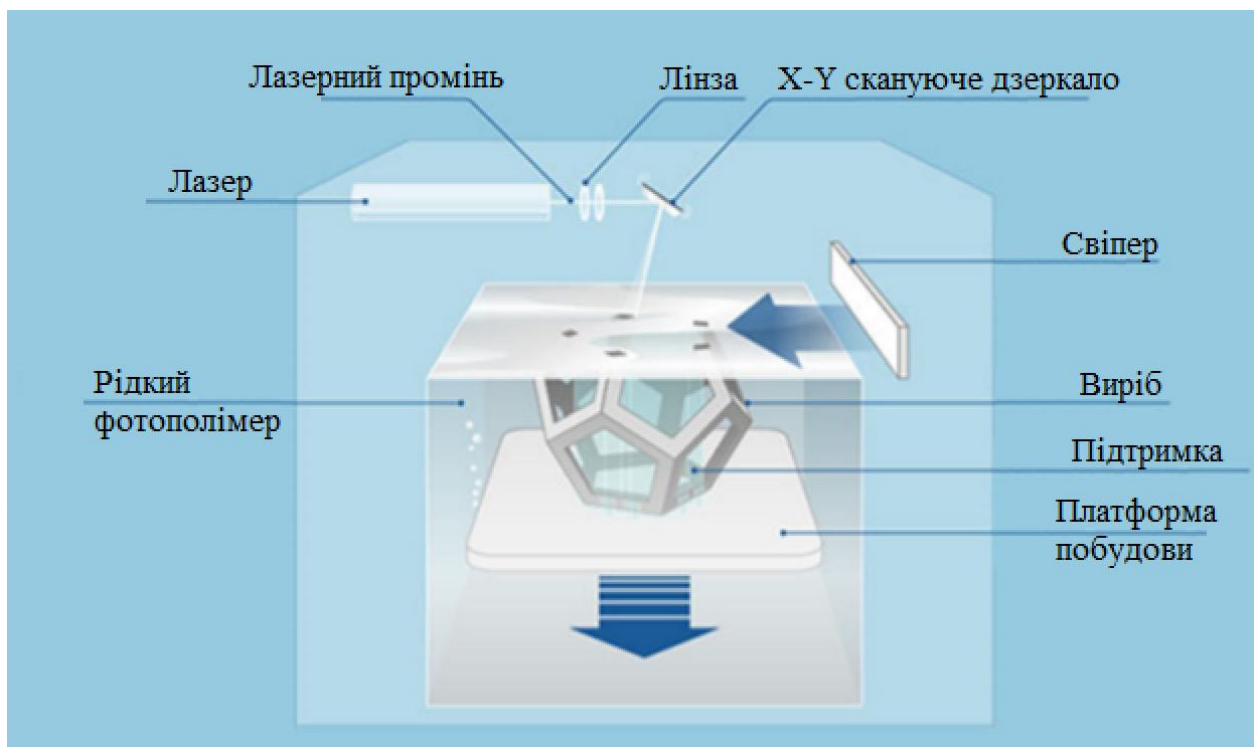


Рисунок 3.1 – Схема SLA друку [37]

Процес друку полягає в затвердінні рідкої смоли за допомогою лазерного променя. Лазерний промінь, спрямований в басейн зі смолою, відстежує поперечний переріз моделі і отримує остаточну геометрію [38, 39].

Моделі, розроблені з використанням цієї технології, точні, легкі й довговічні. Однак надруковані за даною технологією вироби є крихкими і не витримують високих навантажень. Крім того, не затверділий матеріал в SLA є токсичним, і принтер потребує вентиляції. Якщо потрібна заміна матеріалу, залишок смоли з резервуара повинен бути повністю вилучений, а це збільшує кількість процедур і роботи по обслуговуванню.

FDM (Fused–Deposition Modeling) – друк методом пошарового нанесення розплавленої полімерної нитки. Широко використовується технологія 3D–друку, в якій виріб будується шар за шаром шляхом екструзії термопластичного полімеру через сопло на платформу (рисунок 3.2) [40–46]. Головка друку може включати одне або два (в разі якщо друк йде двома матеріалами) термічно активних сопла, через які і проходить нитка, нагріваючись і витікаючи на платформу. Тиск забезпечується роликami подачі нитки. І сопло, і платформа контролюються комп'ютером. Вироби формуються знизу–вгору, шар за шаром [38, 47]. Матеріал зв'язується з шаром знизу і твердне за допомогою термічного сплаву. Друге сопло при його наявності використовується для друку другим матеріалом, який використовується як матеріал підтримок, тобто матеріал, з якого формуються опори, що не дають верхніх шарів «провисати» при побудові вироби, який потім видаляється механічно, або розчиняється, або для друку основним матеріалом, але іншого кольору.

MJM (Multi–JetModeling) технологія подібна друку на стандартному принтері. При цьому використовується головка друку, яка може наносити на платформу або фото сталу полімерну смолу, або воскові матеріали шар за шаром [49–52]. Кожен шар розпорошується в рідкому стані, твердіє, утворюючи полімерну або воскову деталь (рисунок 3.3). Залежно від типу машини використовується холодне повітря для затвердіння матеріалу або ультрафіолетові лампи. Ці машини здатні швидко друкувати, розпорошуючи матеріал з більш ніж 100 дрібних отворів подачі для нанесення шару фотополімера або воску [1, 33].

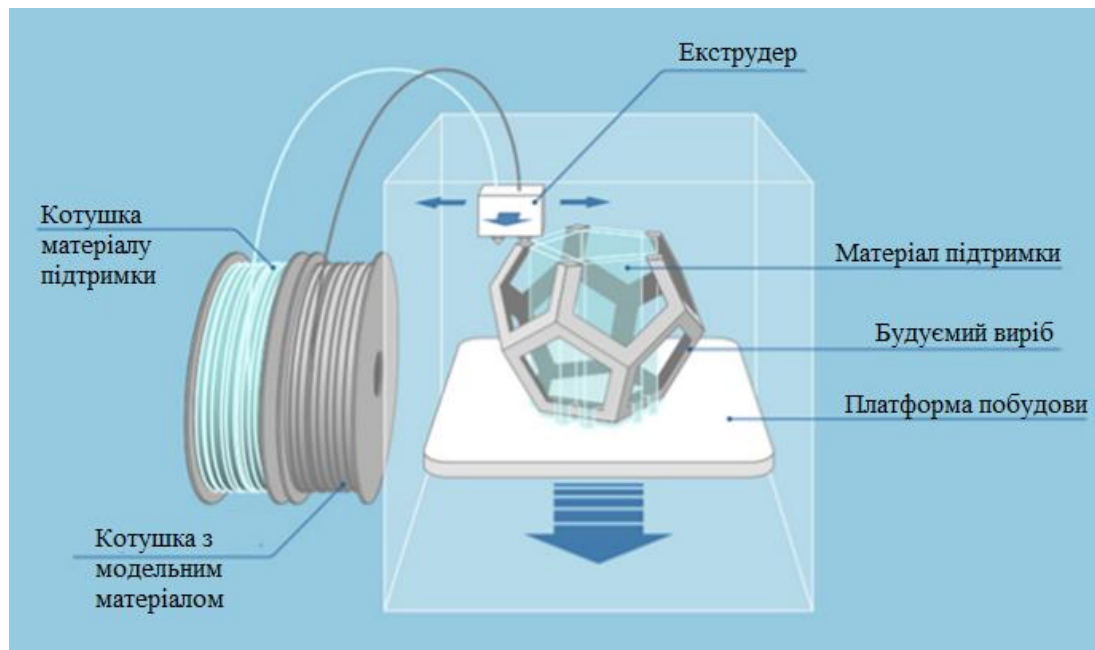


Рисунок 3.2 – Схема FDM друку [48]

Ця технологія має перевагу друку багатокомпонентних і багатобарвних деталей. Однак точність друку недостатньо висока, матеріали обмежені. Крім того, фотополімери недовговічні і не так ефективні, як інші полімери.

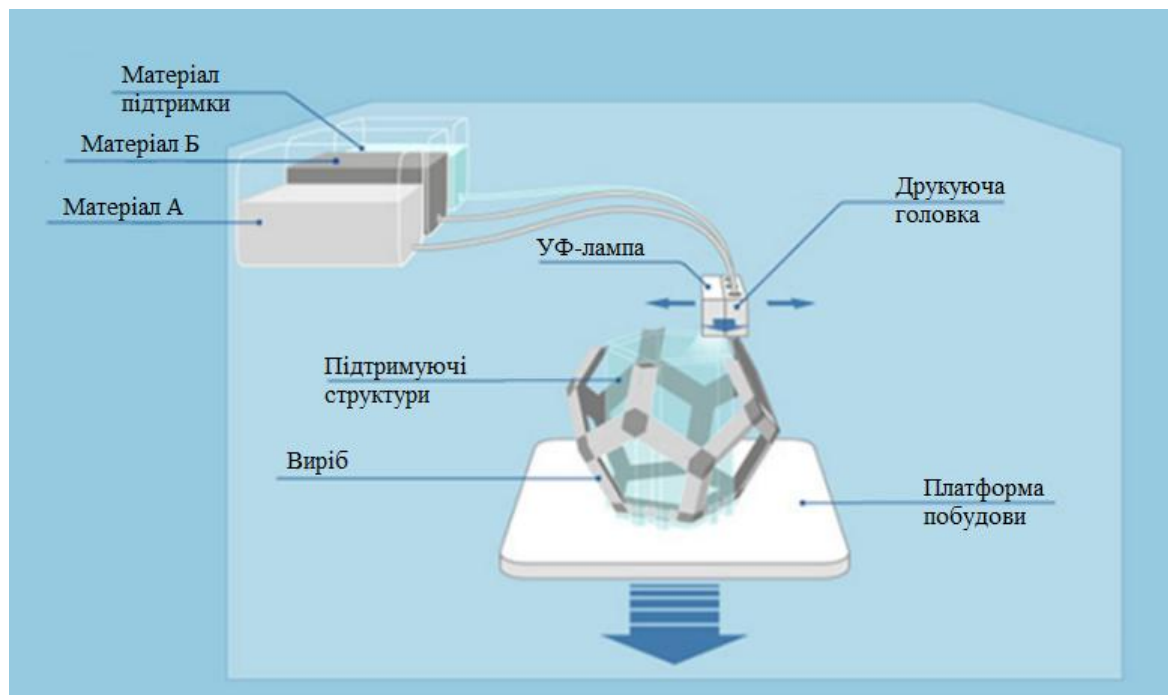


Рисунок 3.3 – Схема MJM друку [54]

SLS (Selective Laser Sintering) – селективне лазерне спікання. Використовується потужний лазер для плавлення дрібних частинок полімеру, кераміки або скла. Лазер нагріває порошок і з'єднує його з попереднім шаром [55–65]. При виготовленні деталі з використанням SLS деталь оточений не спеченого порошком, тому для технології SLS не потрібно окремого допоміжного матеріалу підтримки, як при інших процесах адитивного виробництва, таких як SLA і FDM [48, 66]. Як показано на рисунку 3.4, є два поршні, один з яких йде вгору, щоб подавати порошок, який розрівнюється роликком. Інший поршень рухає платформу побудови вниз на висоту одного шару після кожного спікання матеріалу. Оскільки матеріал знаходиться в формі порошку, вартість матеріалу в цьому випадку нижче. Однак вартість обладнання для технології SLS значно вище, а швидкість друку істотно нижче в порівнянні з іншими методами адитивного виробництва.

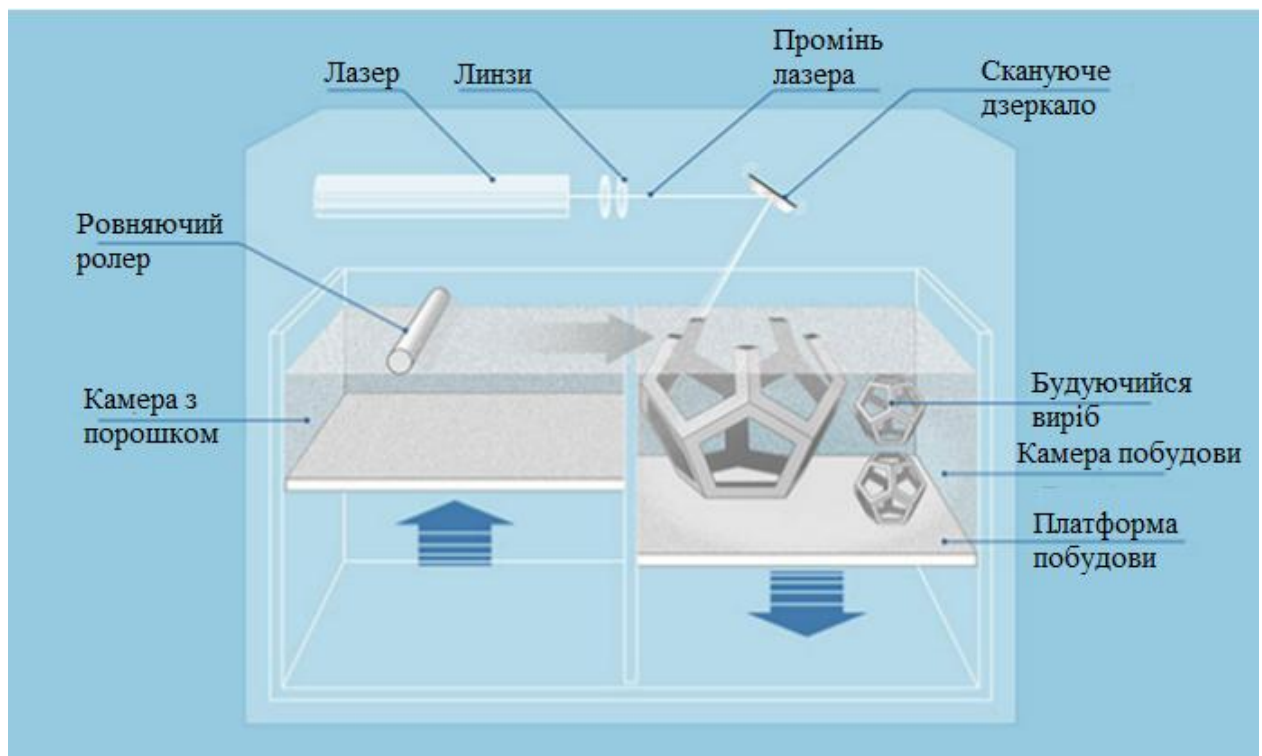


Рисунок 3.4 – Схема SLS друку [67]

Існує безліч технологій адитивного виробництва (рисунк 3.5), але всі вони є варіаціями основних, перерахованих вище. Порівнюючи технології 3D- друку, можливо зробити висновок, що технологія FDM є найбільш оптимальною по співвідношенню можливостей та доступності. Її перевагами є гнучкість в роботі з широким спектром матеріалів і волокон, а також економічна ціна на обладнання, відповідно, промислове впровадження розробок і матеріалів для даної технології буде проходити значно простіше, що підвищує значущість даної роботи. Інші технології мають свої сильні і слабкі сторони. Наприклад, з використанням SLA виходять вироби з високою деталізацією, але з низькими механічними властивостями в порівнянні з FDM. Вибір матеріалу істотно обмежений фотополімерами, також бак для смоли SLA повинен періодично змінюватися, дані процедури обслуговування є дорогими. Схожі проблеми і з іншими технологіями. Однак обслуговування принтерів FDM просте і рідкісне, катушки з полімерної ниткою коштують дешевше, ніж інші матеріали. Все більше і більше областей, таких як прототипування, автомобілебудування, аерокосмічна промисловість і медицина, використовують процес FDM для виготовлення деталей.

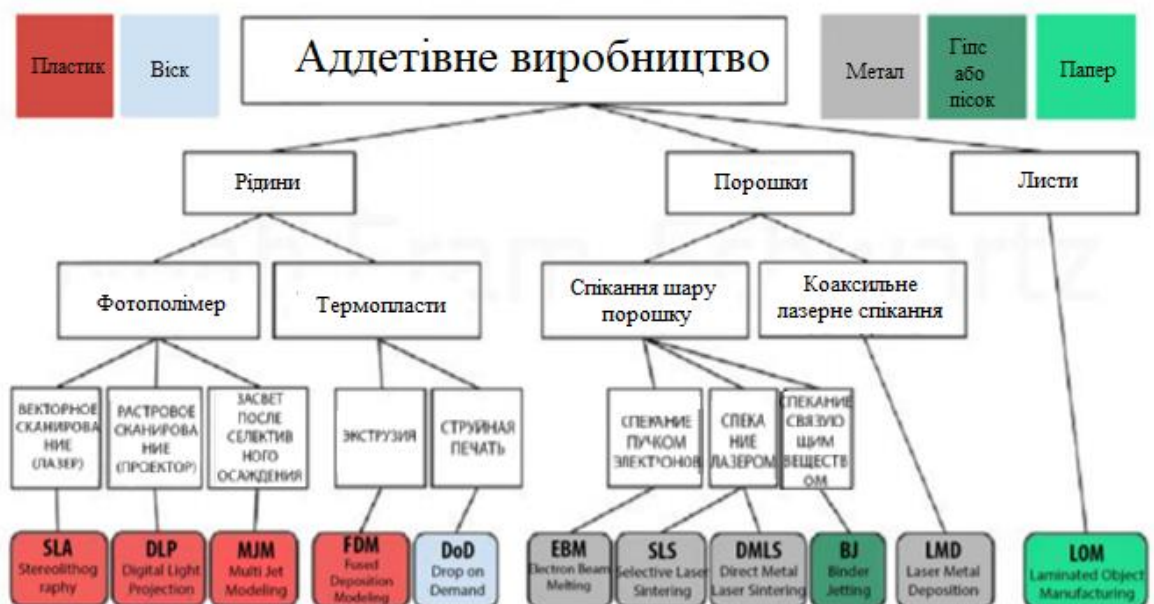


Рисунок 3.5 – Види технологій адитивного виробництва [68]

3.2 Матеріали використовувані при 3D друку

Найбільш поширені термопласти, використовувані для FDM: PLA, ABS, PC, PA, PEI і суміші цих термопластів [47]. Кожен матеріал має свої особливості, позитивні і негативні сторони. Властивості виробів з цих матеріалів відрізняються при використанні FDM процесу в порівнянні з іншими процесами переробки, такими як лиття під тиском, екструзія, ламінування і т.д. Зазвичай механічні властивості надрукованих матеріалів нижче, ніж у ливарних.

Полілактид (PLA) є одним з найбільш використовуваних матеріалів для технології FDM. Це біологічно розкладний термопластик, вироблений з відновлюваної сировини, такого як кукурудзяний крохмаль або цукрову тростину. Він має більш низьку температуру теплової деформації, ніж інші термопластик, а також більш низьку температуру склування. Ці властивості роблять PLA простим для 3D-друку. Температура друку складає від 190 до 230 °C, що нижче, ніж у інших термопластів.

PLA – це жорсткий пластик, він важче, ніж ABS, але при вигині він більш крихкий. Оксман і співавтори [69] пропонували поліпшити властивості матеріалу шляхом армування волокнами. Найбільш поширені області застосування PLA: упаковка для харчових продуктів, пляшки, пластикові плівки, біологічно розкладні медичні прилади і домашні гаджети. Його не можливо використовувати в умовах високих температур через низьку теплової стійкості. У таблиці 3.1 наведені деякі властивості PLA.

Таблиця 3.1 – Властивості полілактиду для FDM друку

Показник	Чисельні значення
1	2
Ударна в'язкість по Шарпі, [кДж/м ²]	5,62

Продовження таблиці 3.1

1	2
Модуль пружності при згині, [ГПа]	3,04
Міцність при згині, [МПа]	94,2
Модуль пружності при розтягуванні вздовж шарів, [ГПа]	3,07
Міцність при розтягуванні вздовж шарів, [МПа]	31,2
Щільність, [г/см ³]	1,25
Температура експлуатації [°C]	від -20 до +40

Акрилонитрил–бутадієн–стирол (ABS) більш ударостійкий, ніж PLA, але поступається йому по жорсткості. Найпоширенішим застосуванням для ABS є різні автомобільні деталі, такі як автомобільні бампери, мотоциклетні шоломи і музичні інструменти. На відміну від PLA, ABS потрібно друкувати на підігрівачі платформі для забезпечення належного рівня адгезії до підкладки і обов'язково з наявністю вентиляції, так як при нагріванні він виділяє 21 токсичні речовини. Крім того, деталі з ABS більш гнучкі, пластичні і не ламаються при вигині під тиском. Однак механічні характеристики виробів з ABS, отриманих методом FDM друку, відрізняються від виробів, отриманих методом лиття під тиском. Майкл Дауд і ін. [70] вивчали вплив параметрів друку на механічні властивості. Це дослідження показує, що механічні властивості ABS, отриманого литтям під тиском, як правило, перевершують властивості надрукованих зразків, і різні режими друку дають різні результати. Виявлено, що кращі механічні властивості ABS досягаються при вугіллі раstra, що дорівнює 45°. При використанні цього кута деталь може досягати майже 91 % міцності на розтягнення і 86 % міцності на вигин відлитих виробів. У таблиці 3.2 наведені властивості ABS від провідної російської компанії–виробника матеріалів для 3D друку.

Таблиця 3.2 – Властивості ABS– пластика для FDM друку

Показник	Чисельні значення
Ударна в'язкість по Шарпі, [кДж/м ²]	180,14
Модуль пружності при згині, [ГПа]	2,14
Міцність при згині, [МПа]	65,4
Модуль пружності при розтягуванні вздовж шарів, [ГПа]	2,34
Міцність при розтягуванні вздовж шарів, [МПа]	19,7
Щільність, [г/см ³]	1,05
Температура експлуатації [°C]	від –40 до +80

Полікарбонат (PC) є термопласт з карбонатної групою в хімічній структурі і використовується як ударостійкий матеріал. Він також може гнутися при низьких температурах без розлому. PC жорсткіше, ніж ABS, і широко застосовується в таких областях машинобудування, як автомобілебудування, аерокосмічна промисловість, медичне обладнання та т. Д. Вироби з PC, надруковані методом FDM, мають різні властивості в залежності від режимів друку. Джейсон Кантрелл і співавтори [71] провели кілька експериментів з використанням зразків полікарбонату, виготовлених FDM методом в декількох режимах друку, і виявили, що модуль пружності при обертанні зразків збільшується від режимів 0 / 90° до + 45 / –45°. З цієї причини, щоб уникнути анізотропії і досягти таких же властивостей, як у ливарних виробів, необхідно надрукувати його під кутом 45°. Крім того, PC має відносно високе значення теплостійкості, його можливо використовувати в умовах високих температур. Однак температура друку вище, ніж у інших термопластів, представлених раніше, що висуває великі вимоги до обладнання по друку. У таблиці 3.3 наведені властивості PC.

Таблиця 3.3 – Властивості полікарбонату для FDM друку

Показник	Чисельні значення
Ударна в'язкість по Ізоду с надрізом, [кДж/м ²]	73
Модуль пружності при згині, [ГПа]	2
Міцність при згині, [МПа]	89
Модуль пружності при розтягуванні вздовж шарів, [ГПа]	1,944
Міцність при розтягуванні вздовж шарів, [МПа]	57
Щільність, [г/см ³]	1,2
Температура експлуатації [°C]	від -100 до +125

Поліамід (РА) – термопласт, який все частіше використовується в якості матеріалу для 3D-друку. Цей полімер, на відміну від ABS і PLA, менш крихкий, більш гнучкий, довговічний і міцний. РА має високу межшарову адгезію, що призводить до більш високій якості поверхні надрукованих деталей [72]. Поліамід як литого матеріалу застосовується в багатьох галузях завдяки своїми механічними властивостями. Поліамід використовується не тільки в FDM друку, але і в інших методах у вигляді порошку, причому не тільки в чистому вигляді. «Markforged» – компанія, яка розробила кілька 3D-принтерів для друку з поліаміду з армуючими волокнами [73]. Деталі, надруковані за допомогою РА і вуглеволокна від «Markforged», більш жорсткі і міцні, ніж чиста матриця поліаміду, і знаходять все більш широке застосування в різних областях. У таблиці 3.4 представлені деякі властивості поліаміду для 3D-друку.

Всі перераховані вище матеріали мають широко поширену практику друку FDM методом і свої області застосування: ABS і PLA використовуються в навчально-освітніх цілях, прототіпуванні, а також при друку деталей, на які не діятиме значне навантаження при експлуатації.

Таблиця 3.4 – Властивості поліаміду для FDM друку

Показник	Чисельні значення
Ударна в'язкість по Ізоду с надрізом, [кДж/м ²]	53
Модуль пружності при згині, [ГПа]	1,276
Міцність при згині, [МПа]	67
Модуль пружності при розтягуванні вздовж шарів, [ГПа]	1,282
Міцність при розтягуванні вздовж шарів, [МПа]	46
Щільність, [г/см ³]	1,15
Температура експлуатації [°C]	от -60 °C до +110 °C

До деталей з PC і PA пред'являють підвищені вимоги, вони є більш дорогими і використовуються для більш відповідальних завдань. Наприклад, полікарбонат використовується для друку допоміжного медичного обладнання, однак він має хімічну чутливість до УФ-випромінювання і руйнується під впливом нафтопродуктів [74], що значно обмежує сфери його застосування. Поліамід ж має високу ступінь усадки при друці, що спотворює первісну геометрію виробу. Для зменшення цього ефекту істотно обмежують швидкість друку, що негативно позначається на продуктивності, проте повністю позбутися від усадки не вдається.

3.3 Підходи до виготовлення деталей методом 3D-друку

3D-друк ще кілька років тому використовувалася тільки для швидкого прототипування макетів, але зараз все частіше застосовується в серійному виробництві деталей в різних галузях промисловості: суднобудуванні, авіакосмічній галузі, транспортному машинобудуванні, оборонно-промисловому комплексі. Використання 3D-друку дозволяє знизити вартість

деталей і призводить до скорочення термінів виготовлення. Обидва ці фактори представляють прикладний інтерес для промислових підприємств в умовах високої конкуренції. Крім того, адитивні технології дозволяють створювати деталі, виготовлення яких традиційними методами виробництва практично неможливо з технологічних або економічних причин [75].

Виготовлені на 3D-принтері деталі мають передбачений термін служби, протягом якого повинна бути забезпечена їх механічна міцність і надійність. Забезпечення довговічності деталей є найважливішим завданням конструкторів і інженерів. Традиційним методом аналізу міцності є метод скінчених елементів (МСЕ), що лежить в основі всіх сучасних програмних продуктів в області комп'ютерної інженерії, таких як ANSYS, LS-DYNA або Nastran. Застосування сучасних CAE-систем для аналізу міцності виготовлених на 3D-принтері деталей є складним завданням внаслідок необхідності вибору коректної математичної моделі для опису фізично-механічних властивостей матеріалу.

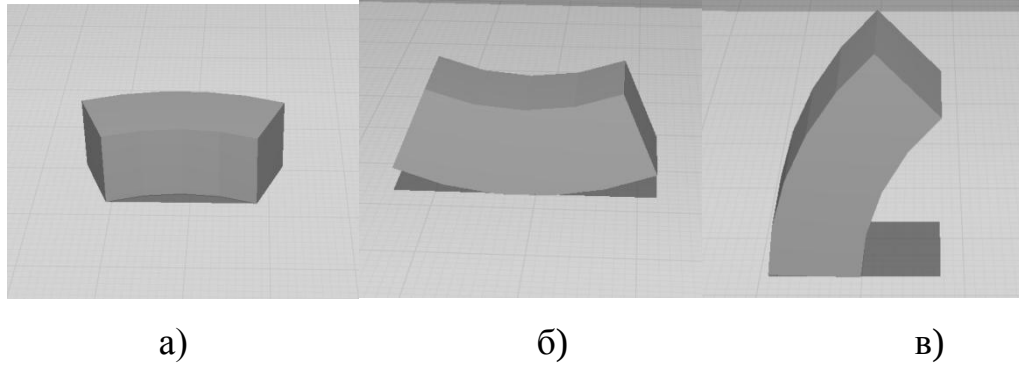
Нанесення послідовних шарів матеріалу при використанні методу пошарового наплавлення веде до утворення багаторівневої фізичної структури матеріалу деталі. Внаслідок цього при створенні математичної моделі матеріалу необхідно врахувати наступні фактори:

- анізотропія властивостей;
- напрямок руху інструмента;
- товщина шару;
- дефекти.

Анізотропія властивостей. Надруковані деталі методом пошарового наплавлення мають різні механічні властивості в різних напрямках. Ця особливість спостерігається і в багатошарових композитах, для моделювання яких застосовується теорія шаруватих матеріалів.

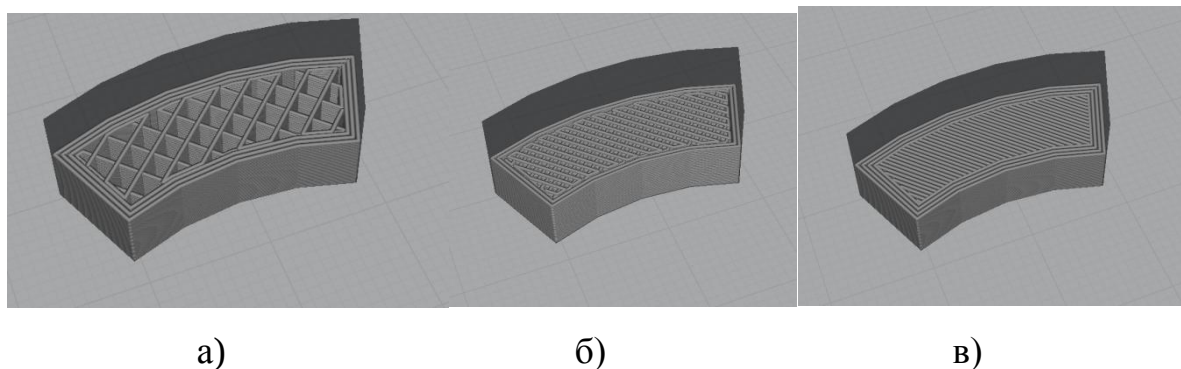
Напрямок руху інструмента. На додаток до нерівномірності властивостей деталі по товщині внаслідок його шаруватої структури, існує суттєва нерівномірність властивостей і в рамках кожного нарощеного шару,

викликана особливостями траєкторії інструменту (рисунок 3.6). Нерівномірність властивостей визначається товщиною нитки укладається матеріалу, відстанню між нитками, кутами укладання матеріалу.



а) – на боку; б) – на дузі; в) – на торці

Рисунок 3.6 – Позиціонування при 3D друку

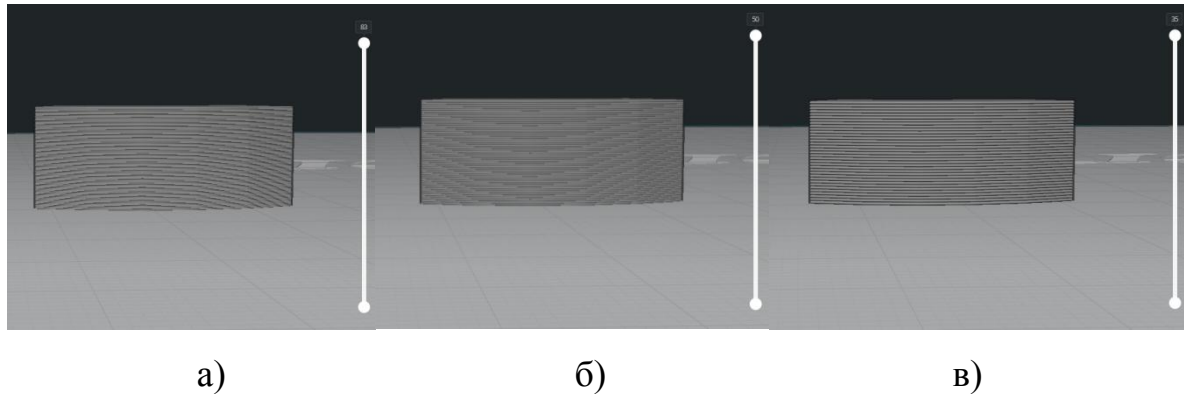


а) – 20 % заповнення; б) – 50 % заповнення; в) – 100 % заповнення

Рисунок 3.7 – Щільність заповнення 3D моделі

Товщина шару. При використанні методу пошарового наплавлення товщина шару (рисунок 3.8) може варіюватися в межах від 120 до 330 мікрон. Використання більш товстих шарів забезпечує більш міцну деталь.

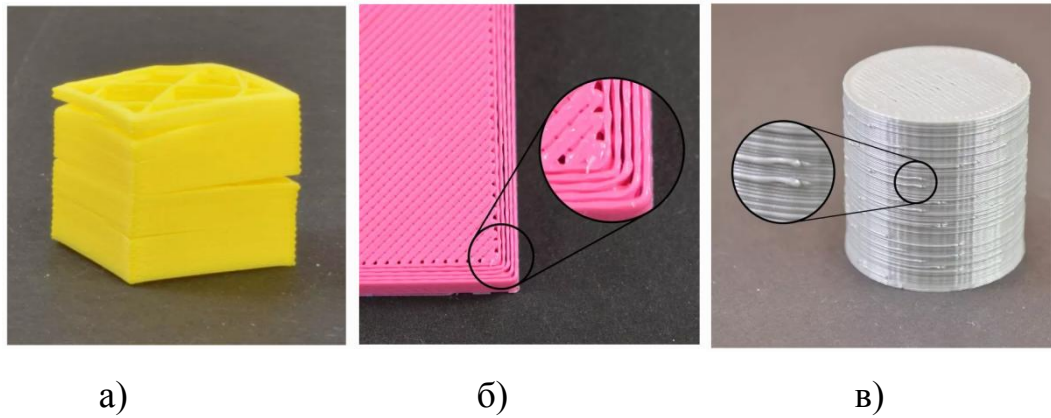
Тонкі шари використовуються для деталей складної форми або коли вимоги до гладкості поверхні превалюють над вимогами по міцності деталі.



а) – товщина шару 0,12 мм ; б) – товщина шару 0,2 мм;
в) – товщина шару 0,32 мм

Рисунок 3.8 – Товщина шару 3D моделі

Дефекти. Як і в будь-якому виробничому процесі настройки інструменту, властивості вихідного матеріалу, зовнішні умови і інші чинники можуть призвести до порушення нормальної роботи в деталі. При цьому зазвичай подібні дефекти не враховуються в рамках простих математичних моделей матеріалу. Деякі види дефектів, що виникають через геометричних обмежень методу пошарового наплавлення, можуть вплинути на освіту і поширення тріщин. можливо виділити два види дефектів – поверхневі і внутрішні. Поверхневі дефекти (рисунок 3.9) зазвичай викликані технологією процесу і виникають на кордоні двох шарів або особливостями геометрії – недостатньо гладким описом геометрії в вихідному STL-файлі, на основі якого проводиться 3D-друк. Внутрішні дефекти являють собою порожнини і раковини, що виникають внаслідок співвідношення кривизни укладання і товщини ниток вихідного матеріалу.



а) – розшарування; б) – недоекструзія; в) – натікання

Рисунок 3.9 – Дефекти 3D друку [76]

Таким чином, для коректного опису механічної поведінки деталей, виготовлених методом пошарового наплавлення, необхідно врахувати перераховані вище фактори в математичну модель матеріалу. Це можливо зробити на базі одного з декількох підходів.

3.4 Параметри оцінки фізичної моделі матеріалів використаних при 3D друці

Для коректного опису механічної поведінки деталей, виготовлених методом пошарового наплавлення, необхідно врахувати фактори при розрахунку математичної моделі матеріалу. Це можливо зробити беручи за основу такі підходи:

- консервативна оцінка;
- ортотропні властивості;
- теорія шаруватих композитів;
- багаторівневе моделювання.

Консервативна оцінка. Найбільш простий спосіб моделювання – описати матеріал як ізотропний з використанням найбільш консервативного

значення механічних властивостей, отриманих шляхом їх експериментального вимірювання в різних напрямках. Вибір значень може бути здійснений виходячи з необхідності забезпечення консервативного значення того чи іншого параметра. Наприклад, вибір найменшого з можливих модулів пружності при контролі максимального прогину або відхилення деталі від вихідної форми при дії навантаження. Дане спрощення має ряд істотних недоліків [75]:

- отримані властивості матеріалу дають оцінку тільки для конкретних параметрів виготовлення, товщини укладання і траєкторії руху інструменту при виготовленні тестового зразка;

- метод не дозволяє використовувати інформацію про орієнтацію ниток вихідного матеріалу і технології процесу для оптимізації дизайну і властивостей кінцевої деталі;

- оцінка можливості освіти і розвитку дефектів в рамках даного методу не передбачена.

Ортотропні властивості. Істотним поліпшенням є використання моделі матеріалу, яка передбачає завдання різних механічних властивостей в різних напрямках, а саме за трьома взаємно перпендикулярних осях (осях ортотропії). В цьому випадку дослідникові необхідно задати 9 незалежних пружних параметрів в кожному з трьох напрямків: модулі Юнга E , коефіцієнти Пуассона ν і модулі зсуву G . Ці параметри можуть бути визначені експериментально, взяті з довідника або надані виробником матеріалу. Крім необхідності пошуку коефіцієнтів матеріалу, даний метод не позбавлений недоліків попереднього, а саме: залежність результату від обраних параметрів технологічного процесу, відсутність обліку дефектів. Ортотропія механічних властивостей не передбачає явного обліку шаруватої структури матеріалу. Це не дає можливості в результаті моделювання врахувати ефекти, що виникають при взаємодії шарів при дії високих і складних навантажень.

Теорія шаруватих композитів. В процесі виготовлення деталей методом пошарового наплавлення утворюється структура матеріалу багато в чому схожа зі структурою шаруватих композитів. Матеріал являє собою набір шарів, що складаються з ниток, покладених в одному напрямку в рамках кожного шару. Різниця полягає в відсутності сполучного матеріалу (матриці) – при послідовному наплавленні нитки «приварюються» до сусідніх і формують так звану «мезо–структуру». Використання теорії шаруватих композитів для опису виробів, виготовлених методом послідовного наплавлення, дозволяє врахувати значення кутів укладання ниток вихідного матеріалу, провести оптимізацію процесу і знизити число фізичних експериментів.

Багаторівневе моделювання. Одним з обмежень теорії шаруватих композитів є неможливість обліку та аналізу інформації всередині шару. Кожен шар може містити особливості та недосконалість геометрії, які можуть вплинути на поширення дефектів і тріщин, що може привести до послідовного руйнування конструкцій при дії високих навантажень. Сучасні програмні пакети в поєднанні з методами усереднення (гомогенізації) властивостей і технології субмоделювання дозволяють будувати багаторівневі чисельні моделі матеріалів зі складною структурою. Серединність властивості шару можуть бути отримані на основі аналізу осередку періодичності або представницького елемента обсягу, а окремі дефекти можуть бути вивчені на основі рішення «макро–завдання» для деталі і субмоделі з детальним описом геометрії укладається нитки і дефекту. Недоліками даного підходу є необхідність пошуку даних про мікроструктурі шару і властивості нитки, а також складність його застосування без відповідної математичної підготовки.

На даний момент використання ортотропних пружних властивостей є найбільш просто реалізованим способом, що дає ключову інформацію про поведінку виготовленої на 3D–принтері кінцевої деталі під дією механічного навантаження. Отримані в результаті подібного розрахунку дані можливо

порівнювати з даними розрахунку аналогічної деталі, виготовленої альтернативним методом, наприклад, литтям пластмаси під тиском. Розвиток адитивних технологій 3D-друку визначає в найближчі роки необхідність удосконалення підходів до моделювання, переходу до багаторівневої аналізу деталей і матеріалів, що потребують розробки методик і поширення найкращих практик моделювання в інженерному товаристві [75].

3.5 Етапи організації 3D друку

Алгоритм виготовлення деталей за допомогою 3D друку для всіх його видів є приблизно однаковим і варіюється лише на етапах підготовки до друку, друку безпосередньо та пост обробки отриманих деталей.

можливо виділити шість основних етапів [87]:

- виготовлення 3D моделі. На даному етапі дуже важливо правильно обрати і налаштувати програмне забезпечення з допомогою якого виконується проєктування моделі. Адже наступні етапи вимагають певний формат збереження 3D моделі і її високий рівень дискретизації. Наприклад програмне забезпечення SolidWorks дозволяє зберігати отримані моделі із набагато більшим ступенем дискретизації ніж Компас [88];

- підготовка моделі до друку. Слайсинг моделі з використанням спеціалізованого програмне забезпечення. На даному етапі необхідно зробити ряд важливих рішень (таких як вид заповнення, його щільність, товщина стінок, швидкість друку та інші) котрі насамперед впливають на кінцеві характеристики моделі, час друку та витрату матеріалу, а отже і на вартість виготовлення деталі;

- вибір оптимальних режимів роботи 3D принтера відповідно до вибраного матеріалу (температура сопла, стола, швидкість друку тощо). Цей етап є досить важливим, адже найбільш суттєво впливає на якість отриманих деталей;

- підготовка принтера до друку (очистка стола, сопла, нанесення клеєної основи);
- друк деталі. Цей процес є автоматизованим, проте враховуючи, що в більшості моделей 3D принтерів відсутній зворотній зв'язок в системі сопло–деталь. Для попередження надмірної витрати матеріалу через брак в середині процесу за друком рекомендується спостерігати;
- пост обробка деталі. Даний етап є останнім в отриманні деталі, адже саме тут виправляються неточності і недоліки друку, розробляються утворені рухомі нероз'ємні з'єднання, прибираються зайві елементи без котрих друк деталі був би не можливий (підтримки, підкладка, тощо.).

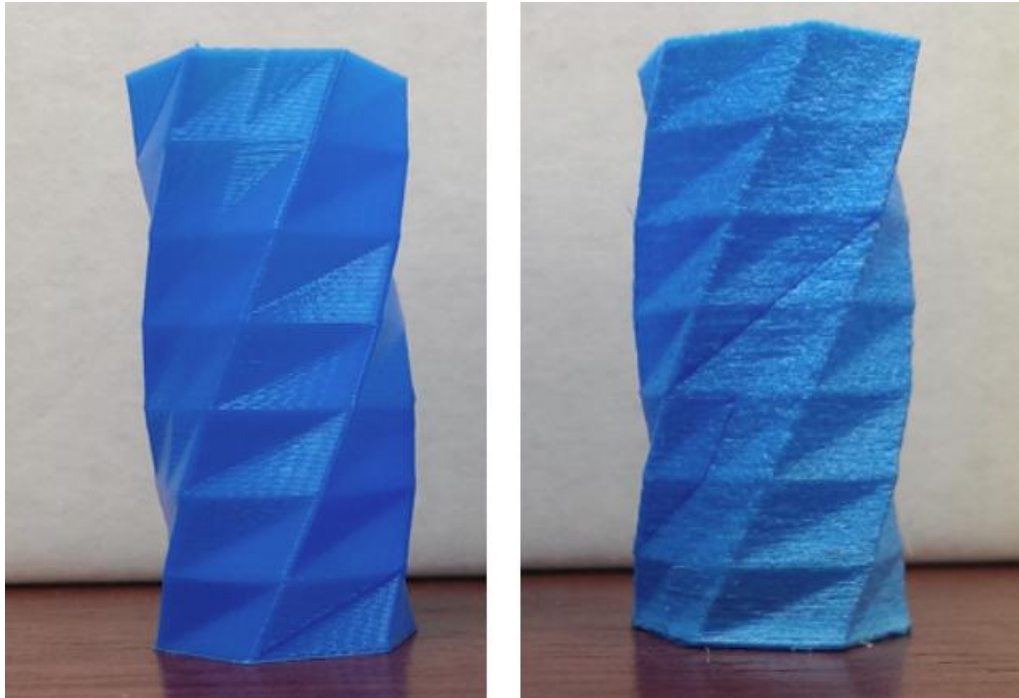
На кожному з цих етапів можливо допустити помилки, що в результаті призведуть до не виправного браку деталі. Деякі з помилок можливо відстежити до початку друку за допомогою програмне забезпечення для 3D друку або методом візуального огляду принтера, інші, нажаль, лише в процесі або в результаті друку. Причини браку можливо розділити на чотири види: програмні помилки, помилки побудови або перетворення моделі; помилки у виборі оптимального режиму роботи; помилки при пост обробці деталі; помилки у налагодженні і підготовці принтера (позиція сопла, плавність його переміщення, жорсткість конструкції, точність позиції тощо.). Найбільш суттєві недоліки можливо отримати на етапах підготовки моделі до друку і виборі оптимальних режимів друку. У більшості випадків пересічні користувачі не задумуються про причину виникнення проблеми, й витрачають значну кількість часу на обробку отриманої деталі. Також варто відзначити ряд проблем, що виникають через не дотримання умов друку або зберігання самого матеріалу.

Нейлон (Поліамід) – повинен зберігатися в сухому місці в герметичній упаковці бажано з використанням осушувача. Так як при не виконанні цих умов, враховуючи, що нейлон у вигляді твердого прутка високо гігроскопічний, водяні пари накопичуються у матеріалі. Під час друку при

нагріванні до температури

— °C вода починає

випаровуватись і заважати нормальному друку деталі викликаючи проблеми з екструзією (місцями вона буде надмірною, місцями навпаки недостатньою (рисунок 3.10) [89]. Що в свою чергу призводить до проблем друку описаних вище.



а)

б)

а) – друк сухим нейлоном; б) – друк вогким нейлоном

Рисунок 3.10 – Моделі при 3Ддруці нейлоном

Для високо-температурних полімерів важливо використовувати захисні кожухи для принтера, адже вони досить чутливі до навколишнього середовища. Якщо буде різке охолодження певної зони друку наступний шар може «не лягти» на поточний або виникнуть інші недоліки друку. Пошук джерела проблеми в такому випадку зазвичай займає багато часу і матеріальних ресурсів (витрати матеріалу), в реаліях сучасного світу одним із

головних ресурсів будь-якої людини чи підприємства є час, що витрачається на роботу. Відповідно чим менший час затрачено на певний вид робіт тим більше часу можливо витратити на інші етапи проекту або залишок часу витратити на виготовлення більшої кількості продукції.

Саме тому оптимізація процесів такого типу є важливою задачею не тільки для науки, а й для виробництв в цілому. В залежності від технології друку пост обробку отриманої деталі можливо проводити вручну (за допомогою ручних інструментів і пристосувань типу наждачного паперу, дремеля, шабера тощо.) або з певним ступенем автоматизації (з використанням станків та устаткування з ЧПЗ).

Часто також використовують різні речовини, що взаємодіють з основним матеріалом деталі. Таким чином обробка деталі з пластику слабким розчином кислоти або клею, можливо досягти глянцевої поверхні.

3.6 Висновки до розділу 3

Найбільш раціональною технологією друку деталей трансмісії є – FDM друк. Найбільш відповідним полімером є – нейлон, він може використовуватися в вузлах тертя і витримувати прикладені до нього навантаження, також його вартість в рази менша за вартість полікарбонату.

Для повного аналізу потрібно розрахувати і порівняти декілька полімерів. Це покаже сенс наступних досліджень що до використання адитивної технології як аналог виготовленню полімерних деталей і запчастин для вузлів автомобіля.

РОЗДІЛ 4 АНАЛІТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ЗНОШУВАННЯ КУЛЬОВОГО З'ЄДНАННЯ

4.1 Визначення інтенсивності зношування полімеру за формулою Ю. Н. Дроздова

Для визначення інтенсивності зношування сполучення з полімерним вкладишем Ю. Н. Дроздовим запропонована детерміністична основа середньої безрозмірною інтенсивності зношування в формі [77]:

$$, \quad (4.1)$$

де $K = 4,0 \cdot 10^{-6}$ – інтегральний коефіцієнт, що враховує вплив шорсткості сферичної поверхні пальця, фізико–механічні властивості і інші чинники,
– розглядається у формулах (4.2); (4.3); (4.5); (4.8) відповідно.

Деформаційний критерій, що характеризує напружений стан полімеру має вигляд і записується до таблиці 4.1:

$$\Phi_1 = pE_1^{-1} \quad (4.2)$$

де p – контактний тиск в локальній зоні Па ;

E_1^{-1} – модуль пружності стали кульового пальця. Використовувана сталь для кульової опори – сталь 40Х. Модуль пружності = $2.14 \cdot 10^5$ МПа [90].

Таблиця 4.1 – Деформаційний критерій при різному контактному тиску у відповідності з виразом (4.2)

Деформаційний критерій	Тиск p , Па				
	50	100	150	200	250
Φ_1	10.7	21.4	32.1	42.8	53.5

Інваріант, що описує термофлуктуаційну природу руйнування полімеру, енергетичний бар'єр руйнування хімічних зв'язків, властивий композиційному матеріалу, дані розрахунку заносяться до таблиці 4.2:

$$\Phi_2 = u_g (R_0 \cdot T_g)^{-1}, \quad (4.3)$$

де R_0 – універсальна газова постійна, $R_0 = 8.31$ Дж/Моль;

$$(4.4)$$

u_g – енергія активації руйнування полімеру при T_g , яка має вигляд:
де T – температура, °К.

T_g – температура склування полімеру, °К

Таблиця 4.2 – Інваріант природи руйнування полімеріву відповідності з виразом (4.3)

Полімер	Параметр		Φ_2
	$T_g, ^\circ\text{C}$	u_g	
Поліактид (PLA)	63	1.3	0.026
Акрилонитрил–бутадиєн–стирол (ABS)	105	3.2	0.036
Нейлон (PA)	60	9.38	0.18
Поликарбонат (PC)	161	0.31	0.002
Полиметилакрилат (PMMP)	70	59.4	0.102
Полиетилентерефталат (PET)	67	28.07	0.05

Комплекс, що моделює зв'язок в'язко пружних властивостей полімеру тривалістю процесу його деформування і аналогічний за структурою

відомому критерію Дебори, вноситься до таблиці 4.4, та розраховується за формулою:

$$\tau_g = \frac{V_0}{\beta \cdot v} \cdot R_1, \quad (4.5)$$

де τ_g – час релаксації напружень полімеру;

V_0 – швидкість ковзання точки поверхні головки пальця, м/с;

β – кут гойдання в площині YOZ і XOZ, приймаємо $\beta = 0,52 \text{ rad}$;

v – швидкість гойдання пальця, приймаємо $v = 0,02 \text{ м/с}$;

R_1 – радіус сферичної головки пальця, приймаємо $R_1 = 25 \text{ мм}$.

Виходячи з наведених даних, можливо розрахувати швидкість ковзання точки поверхні головки за формулою:

$$V_0 = 6.98 \cdot 10^{-2} \cdot \beta \cdot v \cdot R_1, \quad (4.6)$$

$$V_0 = 6.98 \cdot 10^{-2} \cdot 0,52 \cdot 0,02 \cdot 0,025 = 0,18 \cdot 10^{-4},$$

Час релаксації напружень τ_g полімеру розраховується за формулою та вноситься до таблиці 4.3:

$$\tau_g = \frac{V_0}{\beta \cdot v} \cdot R_1, \quad (4.7)$$

де k – постійна Больцмана. $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

– постійна величина коливання атомів. сек.

Таблиця 4.3 – Час релаксації полімерів у відповідності

Полімер	α_g	τ_g
Поліактид (PLA)	13.98	0.029
Акрилонитрил–бутадиен–стирол (ABS)	3.2	0.021
Нейлон(РА)	9.38	0.0096
Поликарбонат (РС)	0.31	0.010
Полиметилакрилат(РММР)	5.94	0.17
Полиэтилентерефталат (РЕТ)	22.38	0.896

Таблиця 4.4– Зв'язок в'язко–пружних властивостей полімеру з тривалістю процесу його деформації у відповідності з виразом (4.5)

Полімер	τ_g 10^{-23}	10^{-10}
Поліактид (PLA)	0.029	13.05
Акрилонитрил–бутадиен–стирол (ABS)	0.021	9.45
Нейлон(РА)	0.0096	4.32
Поликарбонат (РС)	0.010	4.5
Полиметилакрилат(РММР)	0.177	7.9
Полиэтилентерефталат (РЕТ)	0.896	0.004

Температурний симплекс, значення вносяться до таблиці 4.5 а розраховується за формулою:

$$, \quad (4.8)$$

де T_0 – об'ємна температура трибосполучень без урахування саморозігріву від тертя, °K, має вигляд:

$$\text{---}, \quad (4.9)$$

де ρ – щільність полімеру. г/см³

– теплоємність полімеру Дж/(кг·K).

– температура в зоні контакту сполучення 298,15 °K

Таблиця 4.5 – Температурний симплекс відповідності з виразом (4.8)

Полімер	кг/м ³ · 10 ³	КДж/(кг·°C)	°K	
Поліактид (PLA)	1300	1.68	0.068	4.2
Акрилонитрил–бутадиєн–стирол (ABS)	1050	1.7	0.083	8.7
Нейлон (PA)	1140	1.3	0.10	6
Поликарбонат (PC)	1200	1.1	0.11	17.71
Полиметилакрилат (PMMA)	1190	1.4	0.089	5.34
Полиетилентерефталат (PET)	1300	1.03	0.081	5.42

Виходячи з цього ми можемо провести розрахунок інтенсивності зносу з різними показниками тиску, що діє на зону шару опори важеля перемикання передач, а також записати вихідні данні до таблиці 4.6:

Таблиця 4.6– Інтенсивність зношування у відповідності з виразом (4.1)

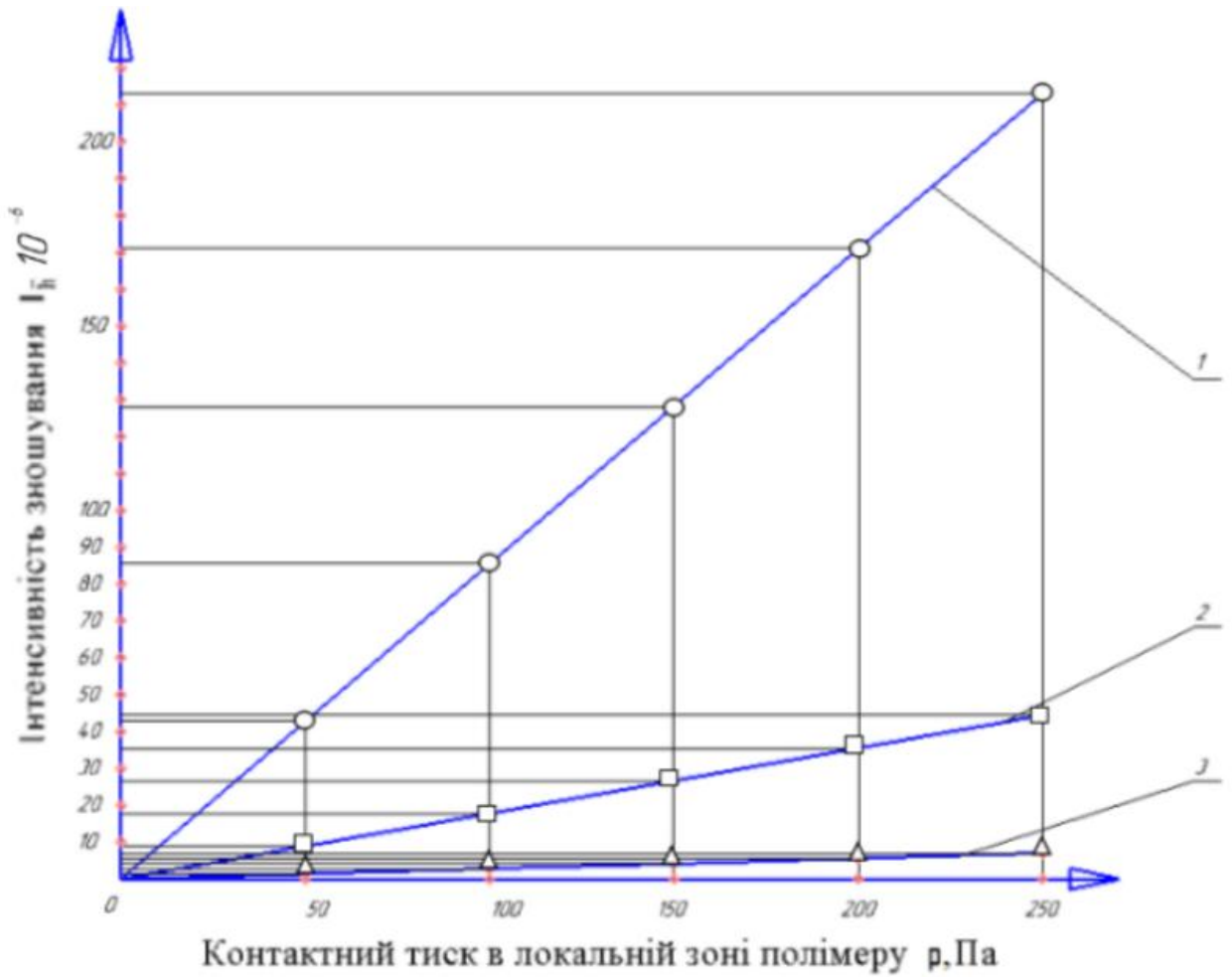
Полімер		Φ_2			10^{-6}
1	2	3	4	5	6
Поліактид (PLA)	10.7	0.026	13.05	4.2	42.7
	21.4				85.5
	32.1				128.2
	42.8				171
	53.5				213
Акрилонитрил– бутадиен–стирол (ABS)	10.7	0.036	9.45	8.7	8.87
	21.4				17.75
	32.1				26.63
	42.8				35.51
	53.5				44.39
Нейлон (PA)	10.7	0.18	4.32	6	1.39
	21.4				2.8
	32.1				4.1
	42.8				5.6
	53.5				7.0
Поликарбонат (PC)	10.7	0.002	4.5	17.71	4.8
	21.4				9.5
	32.1				14.3
	42.8				19.1
	53.5				23

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6
Полиметилакрилат (PMMP)	10.7	0.102	7.9	5.34	0.1
	21.4				2.5
	32.1				3.8
	42.8				5.1
	53.5				6.4
Полиетилентерефталат (PET)	10.7	0.05	0.4	5.42	3.2
	21.4				6.5
	32.1				9.7
	42.8				13.6
	53.5				16.3

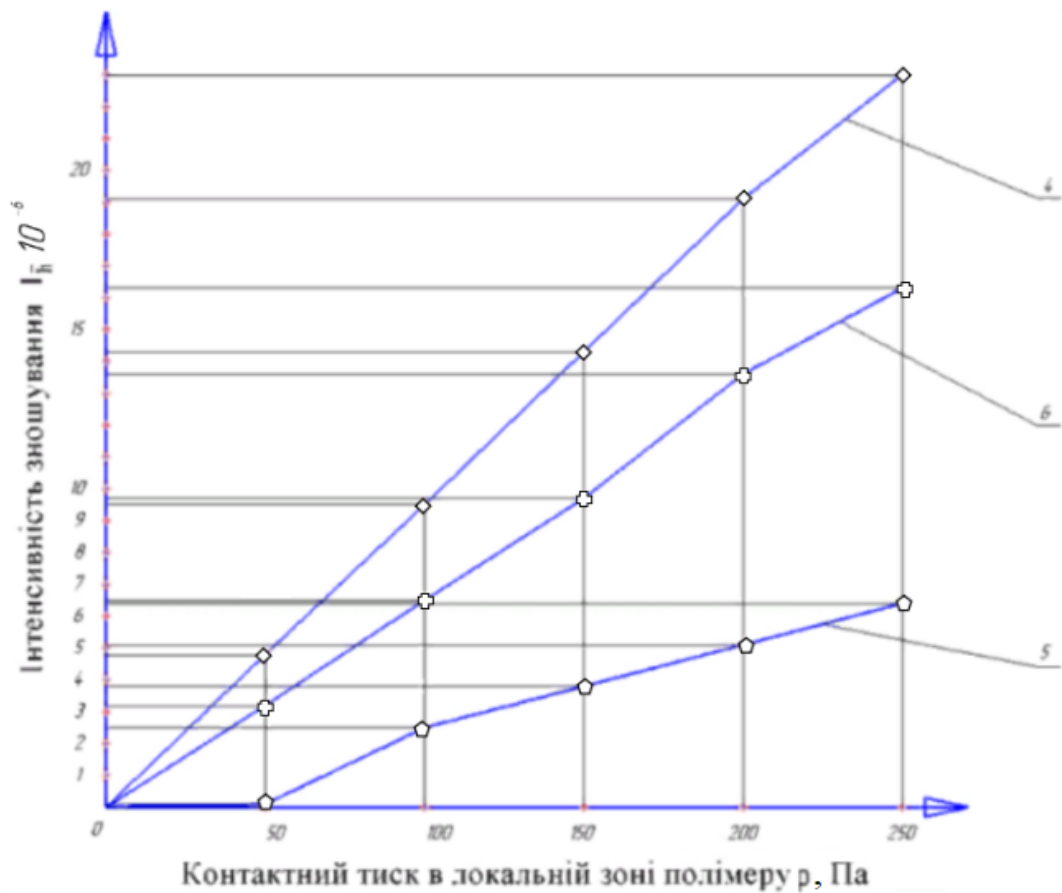
На основі таблиці 4.6, є доцільним збудувати графік зносу полімеру від прикладених навантажень. Таким чином буде видно кращі матеріали для виготовлення експериментальних зразків. Однак ці розрахунки є теоретичними, і мають багато похибок – а саме зміну міцності при терті, бо полімери мають низьку температуру розм'якшення, що змінює їх властивості та збільшує деформацію.

Доцільно використовувати полімери з високим коефіцієнтом розм'якшення і плавлення. Також однією з похибок є енергія активації руйнування полімеру при температурі силування полімеру. Ця енергія різна для кожного полімеру відповідно.



1 – поліактид; 2 – Акрилонитрил–бутадиєн–стирол; 3 – нейлон

Рисунок 4.1 – Інтенсивність зносу при різному локальному тиску у кульовому з'єднанні першої групи полімерів



4 – полікарбонат; 5 – поліметилакрилат; 6 – поліетилентерефталат

Рисунок 4.2– Інтенсивність зносу при різному локальному тиску у кульовому з'єднанні другої групи полімерів

Аналіз отриманих даних, наведених на рисунках 4.1 та 4.2 дає можливість зробити висновок, що більш придатними до зносу є :

- нейлон (3);
- поліметилакрилат (5)
- поліетилентерефталат (6)

У вказаних полімерів інтенсивність зносу менша за всі зразки, що вказує на їх придатність як матеріал для полімерних втулок і можливість використання у вибраному вузлі. Однак формули розрахунків були використанні для однорідних пластмас що штовхає на подальші дослідження.

де τ – питома сила тертя. При низькій напрузі $\tau =$, Па ;

W_m – робота тертя, Па·м². Розраховується за формулою 4.14, значення вносяться до таблиці 4.7.

$V_{\text{изн}}$ – обсяг зношеного матеріалу, визначається за формулою:

$$V_{\text{изн}} = \frac{4}{3} \pi (R_{\text{шар}}^3 - R_{\text{вт}}^3), \quad (4.12)$$

де $V_{\text{шар}}$ – об'єм сферичної поверхні зношених втулки, м³;

$V_{\text{вт}}$ – об'єм кулі кульового пальця, м³.

$$R_{\text{шар}} = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{W_m}{\tau}}, \quad R_{\text{вт}} = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{W_m}{\tau}}, \quad (4.13)$$

де $R_{\text{шар}}^2$ – радіус кулі кульового пальця. Приймаємо $R_{\text{шар}}^2 = 0,025$ м;

$R_{\text{вт}}^2$ – радіус сферичної поверхні зношеної втулки кульової опори.

Приймаємо $R_{\text{вт}}^2 = 0,0265$ м.

Ці данні дають можливість розрахувати обсяг зношеного матеріалу:

Робота тертя W має вигляд:

$$W = F_{\text{тр}} \cdot R \cdot \varphi, \quad (4.14)$$

де $F_{\text{тр}}$ – Сила тертя, Па ;

φ – кут шляху тертя, rad. Прийнято – 0,52 rad;

R – радіус кульової опори, м. Прийнято – 25мм;

Таблиця 4.7 – Робота тертя сполучення у відповідності з виразом (4.14)

Полімер	$W_m \text{ Па} \cdot \text{м}^2$				
РА	0,10	0,19	0,29	0,39	0,48
РММР	0,22	0,45	0,68	0,91	1,13
РЕТ	0,14	0,28	0,42	0,57	0,71

Для визначення сили тертя () використовуємо формулу (4.15) і записуємо значення до таблиці 4.12:

$$\vec{F} = f \cdot p_a, \quad (4.15)$$

де f – коефіцієнт тертя;

p_a – сила нормального тиску, Па;

Таблиця 4.8– Сила тертя полімерів при різноманітному тиску

Полімер	f	$p_a, \text{ Па}$				
		$p_a=50$	$p_a=100$	$p_a=150$	$p_a=200$	$p_a=250$
РА	0.15	7,5	15	22,5	30	37,5
РММР	0.35	17,5	35	52,5	70	87,5
РЕТ	0.22	11	22	33	44	55

Якщо прийняти, що по закінченні n_k^* циклів взаємодії поверхонь руйнування піддається весь деформується обсяг поверхневого шару

$V_d \approx V_{\text{изн}}$, можливо показати наступну взаємозв'язок:

$$, \quad (4.16)$$

Звідси можливо висловити інтенсивність зношування:

$$\text{---} \quad \text{---}, \quad (4.17)$$

Уточнення вираження (4.17) з урахуванням втрат енергії на нагрів матеріалу і різниці між середньою і дійсною щільністю енергії руйнування призводять до значного ускладнення розрахункової моделі через неможливість точної аналітичної оцінки уявної щільності енергії, що вимагає додаткових великих досліджень. Однак в цих моделях не був врахований той факт, що в процесі деформації активуються самоорганізуються дисипативні процеси, в результаті яких перед руйнуванням в деформується матеріалі замість очікуваного хаосу і деградації спостерігаються високо впорядкованості структури, тобто з системи безперервно «відкачується» ентропія, утворена під час накопичення дефектів [78–81].

Спираючись на вираз (4.17) і основне фактори зносу, варто використовувати іншу формулу розрахунку зносу матеріалу. Формула розрахунку для пружних матеріалів що сприяє більшому розкриттю зносу сполучення. Спираючись на більш глибокі характеристики дослідного матеріалу, формула зносу має вигляд [82]:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}}, \quad (4.18)$$

де σ_s — межа плинності, МПа;

v — параметр кривої опорної поверхні, $v = 2,3$ [83];

τ — питома сила тертя, Н;

δ — розривне подовження, МПа;

t — коефіцієнт втоми, ($t = 2 - 3$) приймаємо $t = 2$ [84];

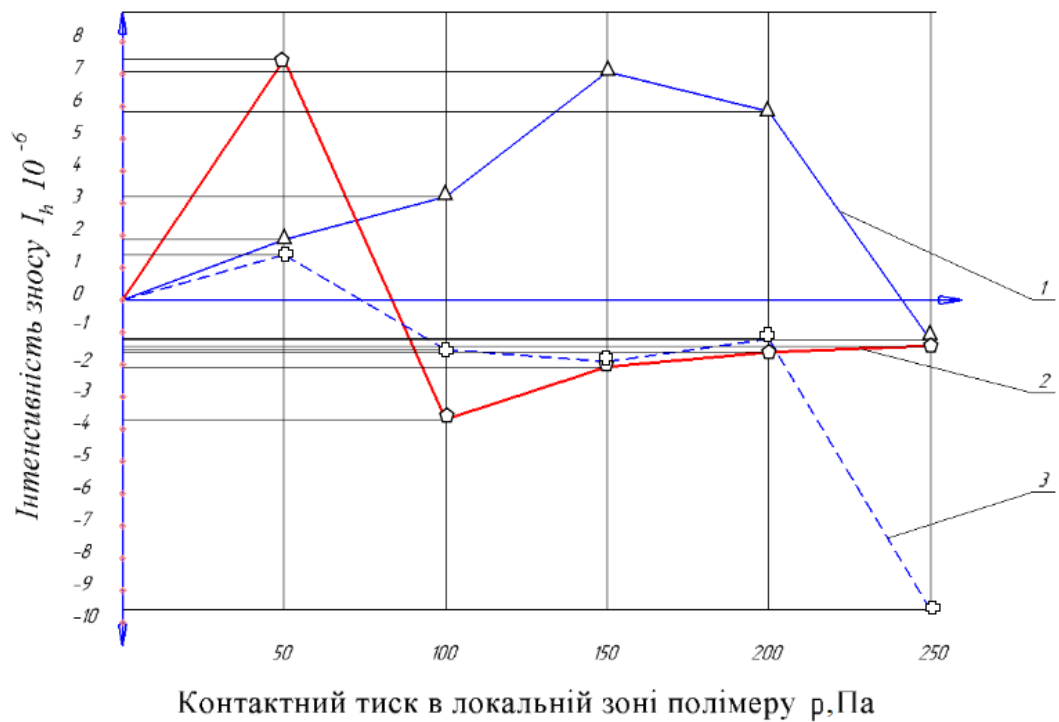
НВ — твердість по Бринеллю, МПа.

Дані та розрахунки для пружного зносу, внесені до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9– Інтенсивність пластичного зносу

Полімер	σ_s , МПа	δ , МПа	НВ, МПа	, 10^{-6}				
				τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
РА	78	62	120	1,87	3,2	7,07	5,84	-1,24
РММР	55	60	210	7,45	-3,7	-2,07	-1,62	-1,42
РЕТ	52	90	170	1,4	-1,54	-1,92	-1,21	-9,6

Виходячи з таблиці 4.9 можливо побудувати гістограму залежності пружного зносу від прикладеного тиску в зону контакту. Але ці розрахунки теж мають похибки, бо не враховується тепловиділення. Це є основною проблемою використання полімерів у сполученнях тертя, межа плинності і силування повинні бути більше номінальної температури яка створюється при терті деталей виготовлених з полімерів або композитів на їх основі.



1 – нейлон; 2 – поліметилакрилат; 3 – поліетилентерефталат

Рисунок – 4.3 Інтенсивність зносу пластичного контакту при різному локальному тиску

Виходячи з схеми (рисунок 4.3) можливо зробити висновок, що у деяких полімерів при розрахунку питома сила тертя перевищує межу текучості, що сприяє переходу полімеру в інший стан, що змінює його властивості і характеристики при використанні, як робочого сполучення в вузлі перемикання передач. Однак треба виявити і дослідити які саме щільності заповнення та товщина стінки досліджує мого об'єкта – є кращими у вузлі тертя. А також який розмір шару є актуальним а також найкращім і з найменшим коефіцієнтом притирання. Або використання оброблених зразків термічно, або хімічно.

Це штовхає на експеримент триботехнічних властивостей і зносу полімерного композита для подальшого розвитку і висновків в цьому питанні.

4.3 Висновки до розділу 4

Проведені розрахунки інтенсивності зношування вказують знос на явний відгук с зовнішніми факторами.

Це є теоретичним підґрунтям зносу полімеру по сталі.

Розрахунки вказали на необхідність керування структурою полімерного композиту, а саме змінення щільність шару і різні об'ємні наповнення. Це характерно коригує його фактичні показники, тому що шари будуть реагувати на напруження інакше, а також температура склування може змінити його технічні характеристики під час взаємодії.

Розрахунок полімерів показує що найбільш кращім матеріалом із обраних є – нейлон. Розрахунок показує тільки теоретично можливе поводження полімеру у сполученні, це свідчить що триботехнічний дослід є основою для подальшого дослідження і виявлення характеристик зразків надрукованих на 3D принтері.

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУР І ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ, ОТРИМАНИХ 3D–ДРУКОМ

Деталі, отримані завдяки FDM технології міцні, пружні, мають набір фізичних характеристик, що залежать від типу матеріалу. Однак, недостатня вивченість фізично–механічних властивостей виробів, отриманих 3D–друком стримує подальше поширення в виробництво FDM–технології. Дані за механічними властивостями, таких як межі міцності на розтяг, вигин, стиснення, тертя необхідні для проєктування раціональних конструкцій виробів, що виготовляються 3D друком. Дослідження, спрямовані на вивчення властивостей виробів отриманих 3D друком є актуальними [91].

Для розширення області використання виробів, отриманих 3D друком по FDM–технологій були представлені описи дослідів по визначенню: межа міцності зразків на розтягнення, вигин, стиснення і тертя, отриманого за допомогою 3D принтера.

5.1 Методичне забезпечення експериментальних досліджень

Для дослідів необхідне обладнання яке може забезпечити точні виміри а також можливість зняти покази для подальшого їх вивчення та аналізу, а також сам 3D принтер для виготовлення зразків. Для випробувань на розтяг , згин а також стискання – запропоновано використовувати розривну машину IP 5047–50, або її аналоги. Для дослідів тертя та зносу затверджено машину тертя СМЦ–2, через її наявність на кафедрі. . 3D принтер був обраний за наявності в самого студента – Creality Ender 3 PRO.

5.1.1 Обладнання для визначення механічних властивостей

Машина електромеханічна, універсального призначення, для випробування зразків чорних і кольорових металів, пластмас та інших матеріалів і виробів (труб тощо.) На розтяг, стиск і вигин.

Встановлюються на вібро опорах, спеціальний фундамент не потрібно.

Комплектуючи: випробувальна установка, приладова стійка, пульт оператора (мікропроцесор) ПО–3, захоплення клинові, вимірювач сили тензорезисторний, принтер (для моделі IP 5047–50–10), програмно–технічний комплекс в складі ПЕОМ, принтер, програма (для моделі IP 5047–50–11) [92].



Рисунок 5.1–Розривна машина IP 5047–50 [93]

Додаткові інструменти:

- універсальні клинові захвати ЗКУ–50КТ;
- пристосування для випробування на вигин ПР–50И;
- пристосування для випробування на стиснення ПР–50С;
- вимірювач деформації ИДН–0,5 / 50;
- система температурних випробувань;
- динамометри зразкові ДОСМ–3 і ДОРМ–3 для повірки.

Визначаються наступні характеристики механічних властивостей матеріалів по ГОСТ 1497 і ГОСТ 10006:

- тимчасовий опір;
- відносне подовження;
- відносне звуження;
- справжній опір розриву.

Машина моделі IP 5047–50–11 дозволяє додатково програмними методами визначити: межа плинності умовна ($\sigma = 0,2$), модуль пружності. Машина видає протокол результатів випробувань [92]. В таблиці 5.1 вказані паспортні дані розривної машини.

Таблиця 5.1 – Технічні показники розривної машини ИР 5047–50[92]

Технічна характеристика	Значення
Найбільша гранична навантаження, кН	50
Межі допустимої похибки вимірювання навантаження, % (в діапазоні навантажень, кН)	±1 (от 2 до 50)
Швидкість переміщення активного захвату, мм/хв	от 0,1 до 100
Діапазон завдання швидкостей переміщення рухомого захвату, мм / хв (два діапазони, 24 фіксовані швидкості)	від 80 до 800 и от 0,5 до 500
Номінальна ціна одиниці найменшого розряду	
при індикації навантаження, Н	1
при вимірюванні переміщення активного захоплення, мм	0,01
Хід рухомої траверси без захоплень, мм	800
Ширина робочого простору, мм	400
Максимальна потужність, кВт (живлення)	1,05 (3N, 380 В, 50 Гц)
Габаритні розміри (довжина/ширина/висота), мм	
установка випробувальна	900x840x2030
стійка приладова	1305x585x790
Вага, кг	
установка випробувальна	330
стійка приладова	100

5.1.2 Обладнання для визначення триботехнічних властивостей матеріалів

Для проведення експериментальних досліджень полімерних матеріалів пропонується модернізована машина тертя СМЦ–2, яка є на кафедрі «Автомобілів» НУ «Запорізька політехніка» (рисунок 5.2). Основне призначення машини тертя є випробувань матеріалів на тертя і знос і

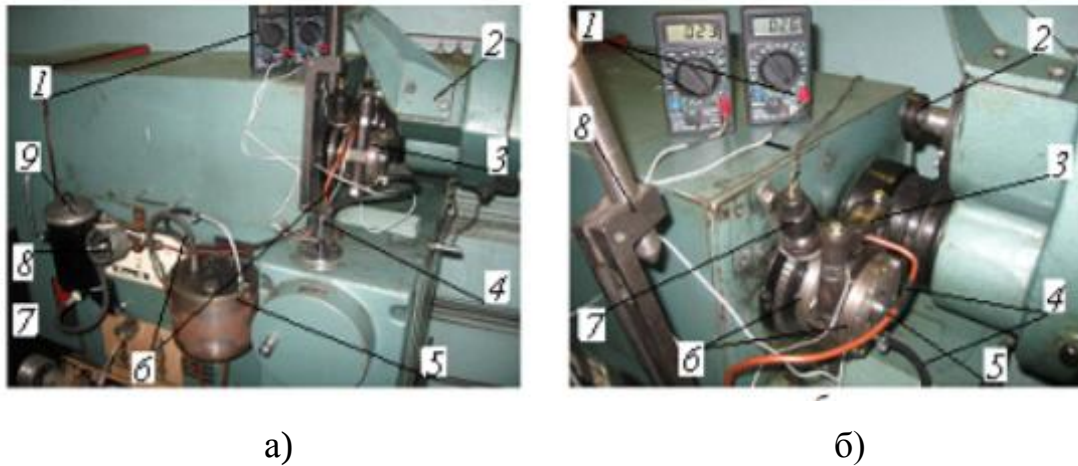
визначенні їх антифрикційних властивостей при терті ковзання і кочення і нормальній температурі з фрикційними парами зразків які вказані на рисунку 5.2.

Серійна машина тертя має такі схема моделей взаємодії фрикційних пар, вказаних на рисунку 5.3. Для обраного дослідження обрана пара диск–колодка (рисунк 5.2, б)

Універсальна машина тертя має комбіновані насадки для проведення випробувань за кількома типами взаємодії.

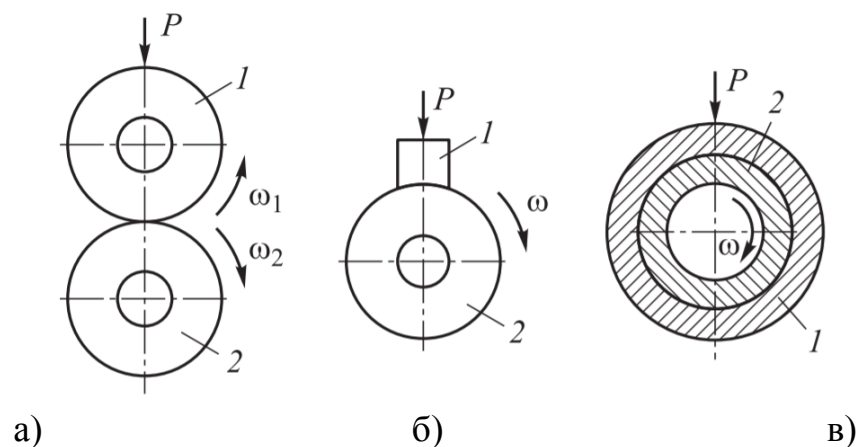
Основними показниками, за якими характеризують машини тертя, є:

- діапазон виміру сили;
- створюваної машиною тертя;
- діапазон виміру моменту сили тертя;
- діапазони вимірювання частоти обертання;
- геометричні характеристики (радіуси установки зразків, межі зміни кута гойдання зразка, межі вимірювання величини ходу поступального переміщення) [96].



- а) – вид гідро-механічної частини: 1 – мультиметри; 2 – важіль рухомої каретки; 3 – тримач зразків; 4 – важіль навантаження; 5 – бачок для масла; 6 – масляні трубопроводи; 7 – насосна установка; 8 – показчик тиску масла; 9 – фільтр масляний;
- б) – вид тримача зразків: 1 – мультиметри; 2 – ролик навантаження рухомої каретки; 3 – циліндрична опора ролика навантаження з пазом; 4 – масляні трубопроводи; 5 – вал установки рухомого зразка-шийки; 6 – передня і задня кришки утримувача зразків; 7 – датчик тахометра; 8 – важіль навантаження

Рисунок 5.2 –Машини тертя СМЦ-2 з додатковим обладнанням [94]



- а) –диск-диск; б) –диск-колодка; в) –вал-втулка; 1 –зразок; 2 –контртіло; P –навантаження; ω_1 , ω_2 , ω – кутові швидкості обертання

Рисунок 5.3 – Схема моделей взаємодії фрикційних пар, що реалізуються на машині тертя СМЦ-2 [95]

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики трибометра СМЦ–2 [96]

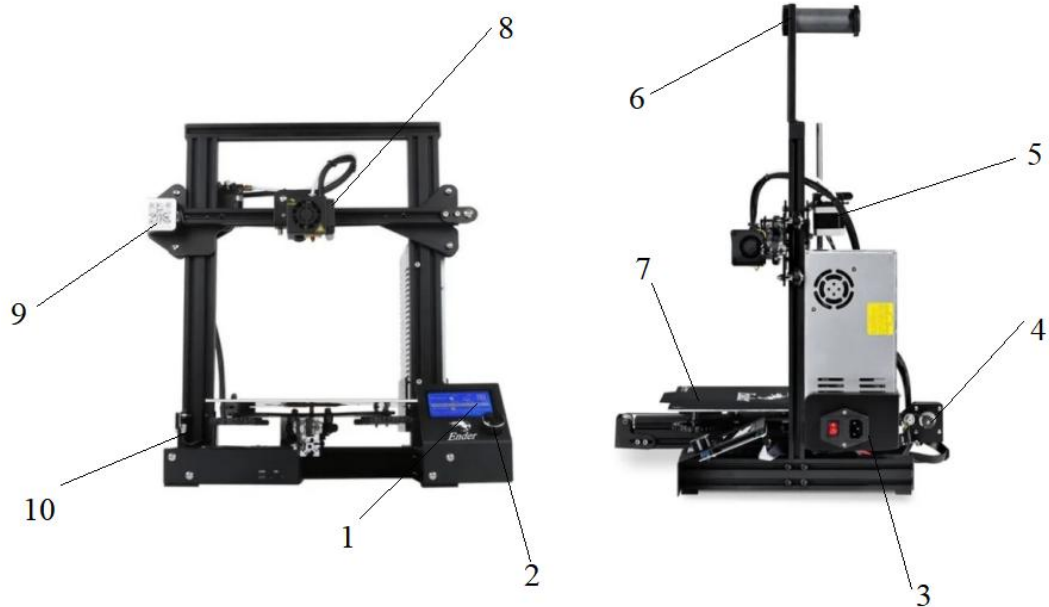
Параметри	Значення
Частота обертання валу контргіла, об / хв ⁻¹	300, 500, 1000
Коефіцієнт проковзування круглих зразків з однаковими діаметрами, %	0, 10, 15, 20
Максимальний момент тертя, Н–м	15
Діапазон зміни моменту тертя, Н–м	1,5...15
Діапазон вимірювання навантаження – «диск–диск»; «Диск–колодка», Н – «вал–втулка», Н	200–2000 500–5000
Споживана потужність, кВт	2,2
Межа похибки коефіцієнта проковзування, %	±5
Межа похибки числа обертів контргіла від вимірюваної величини, %	±10

5.1.3 Обладнання для виготовлення модельних зразків

Creality Ender 3 Pro – бюджетний 3D–принтер від Китайського виробника Creality 3D. Конструктивно Ender 3 Pro є типовим FDM–принтером відкритого типу. Екструдер з соплом 0,4 мм переміщається в двох площинах (X і Z). Пристрій оснащений підігрівом платформи яка пересувається по осі Y.

Для завантаження файлів можливо використовувати пряме з'єднання з комп'ютером через USB–кабель, або завантажити файли з SD–карти. Для виконання дій принтер оснащений невеликим монохромним дисплеєм.

Область побудови Creality Ender 3 Pro становить 220 мм x 220 мм x 250 мм. Для друку використовуються PLA, ABS, Wood, TPU, PA і інші типи пластиків [97–98].



1 – дисплей; 2 –поворотно–натискна ручка; 3 – блок живлення; 4 – мотор осі Y; 5– мотор подачі полімеру; 6 – кріплення котушки полімеру; 7 – стіл друку; 8 – екструдер з охолодженням; 9 – мотор осі X; 10 – мотор осі Z

Рисунок 5.4 – 3D принтер Creality Ender 3 Pro

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики 3D принтера Ender 3 Pro [97–98]

Характеристики	Значення
Технологія друку	FDM
Діаметр сопла, мм	0,4 (опціонально 0,2; 0,3)
Діаметр нитки, мм	1,75
Температура екструдера, °C	≤ 260
Температура столу для друку, °C	≤ 110
Швидкість друку, мм/с	180
Товщина шару, мм	0,1–0,4
Точність друку, мм	$\pm 0,1$
Робочий об'єм, мм	$220 \times 220 \times 250$

5.2 Розробка методики досліджень властивості полімерних матеріалів

Експериментальні зразки будуть отримані з полімеру із нейлону на 3D принтері Creality Ender 3 PRO при наступних режимах друку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4– Режими друку

Показники друку	Значення
Температура екструдера, [°C]	250
Швидкість друку, [мм / с]	40
Коефіцієнт подачі пластика, [%]	0,97
Діаметр сопла екструдера, [мм]	0,4
Ширина нитки, [мм]	0,45
Висота шарів, [мм]	0,2
Температура столу першого шару, [°C]	110
температура столу інших верств, [°C]	105

Визначення межі міцності на розтяг.

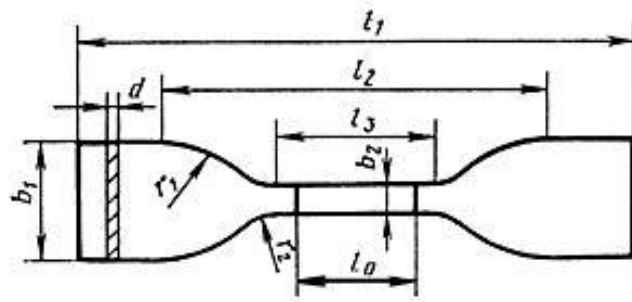
Методика визначення межі міцності на розтяг вказана в джерелах [99–101].

Метою експериментальних досліджень є отримання залежності межі міцності на розрив зразка від структури поверхневого шару виробу з нейлону.

Експериментальні дослідження реалізовувати на зразках, отриманих за допомогою FDM–технології з ГОСТ 11262–80, тип 1.

На експериментальних зразках (рисунок 5.5) сформувати поверхневі шари, що складаються з оболонок з 4, 6, 8 і 10 нитками із заповненням 100%.

Межу міцності на розтягнення визначити на розривній машині IP 5047–50. Швидкість випробування на розрив обрати 5 мм / хв.



l_1 —загальна довжина; l_2 —відстань між мітками, що визначають положення кромek затискачів на зразку; l_3 —довжина робочої частини; l_0 —розрахункова довжина; b_1 —ширина головки; b_2 —ширина робочої частини; d —товщина; r_1 —великий радіус закруглення; r_2 —малий радіус закруглення; r —радіус закруглення

Рисунок 5.5 – Модель зразка для випробувань на розтяг

Визначення межі міцності на вигин

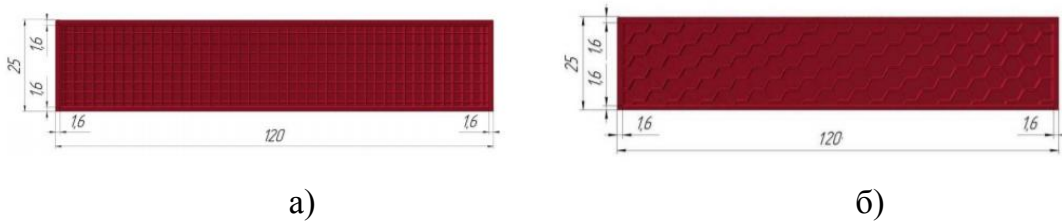
Методика визначення межі міцності на вигин вказана в джерелах [100, 101].

Метою експериментальних досліджень є отримання залежності межі міцності при вигині зразка від внутрішньої структури виробу з нейлону.

Експериментальні дослідження реалізовувати на зразках, отриманих за допомогою FDM-технології з ГОСТ 4648–73.

Експериментальні зразки (рисунок 5.6) сформувати з внутрішнім наповненням матеріалу 20%, 40%, 60%, 80% і 100%; структура шарів – чотиригранник і шестигранник. Розміри зразків: 20мм × 25мм × 120 мм.

Межа міцності на вигин визначався на розривної машині IP 5047–50.



а) – з 4-гранной схемою заповнення; б) – з 6-гранной схемою заповнення

Рисунок 5.6 – Зразки для визначення межі міцності на вигин

Визначення межі міцності на стиск

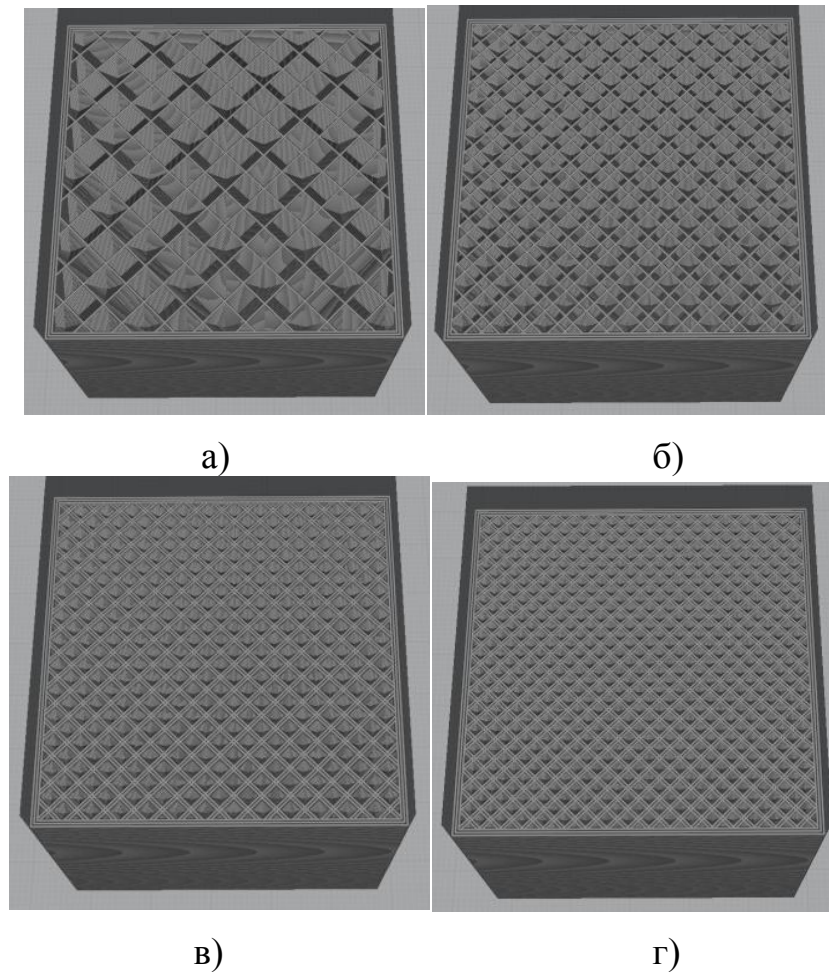
Методика визначення межі міцності на стиск вказана в джерелах [100, 101]

Метою експериментальних досліджень є отримання залежності межі міцності при стисненні зразка від структури поверхневого шару і проценту наповнення матеріалу виробів з нейлону.

Експериментальні дослідження реалізовувати на зразках, отриманих за допомогою FDM-технології з ГОСТ 4651–82. Експериментальні зразки (рисунок 5.7) сформовані внутрішнім наповненням матеріалу 20 %, 40 %, 60 % і 80 %.

Розміри зразків: 50мм × 50мм × 50 мм.

Відповідно до ГОСТ 4651–82 визначити напругу стиснення при встановленій відносній деформації – 10%.



а) – 20% заповнення; б) – 40% заповнення; в) – 60% заповнення;
г) – 80% заповнення

Рисунок 5.7 – Зразки для визначення межі міцності на стиск

Визначення коефіцієнта тертя

Метою експериментальних досліджень є отримання коефіцієнту тертя і зносостійкості зразків від кількості оболонок шарів, а також внутрішньої структури. Експериментальні дослідження будуть реалізовуватись на зразках, отриманих завдяки FDM-технології опираючись на Р 50–54–62–88. У експериментальних зразків (рисунок. 5.8, сіра колодка) сформувати поверхневі шари, що будуть складатися з оболонок по 3, 6, 9 шари із заповненням 40 %, 60 % і 80 % кожен.

Відповідно до Р 50–54–62–88 визначити знос і коефіцієнт тертя при різних формуваннях оболонок і заповнень досліджуваних зразків.

Випробування зразків на тертя здійснити на випробувальній установці тертя СМЦ–2.

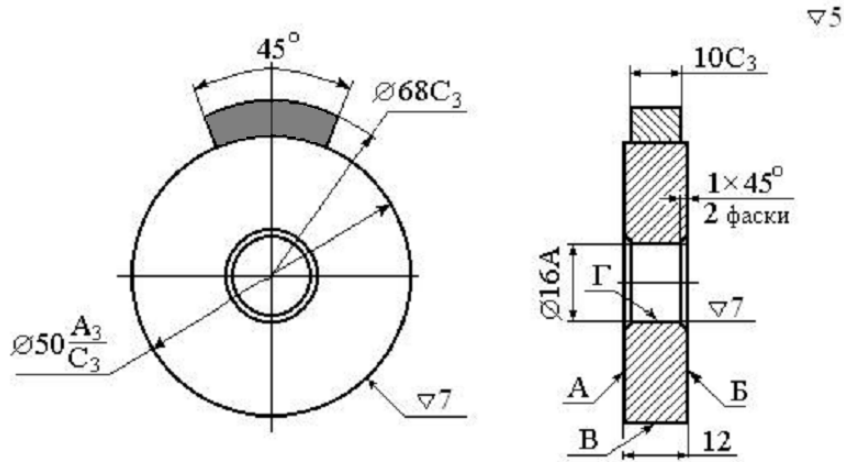


Рисунок 5.8 – Зразки для визначення коефіцієнта тертя і зносу для машини тертя СМЦ–2 [102]

5.3 Порядок виконання дослідження

Аналіз і висновки довели те що основним дослідом з вказаних є – визначення коефіцієнта тертя. Який буде визначено на машині тертя СМЦ–2.

Методика виконання дослідження полягає у наступному.

Для дослідження необхідно надрукувати зразки з товщиною шару 0.2 мм, кількістю оболонок стінки – 3, 6, 9 шарів та з заповненням 40 %, 60 % і 80% кожен. Всього 9 зразків з полімерної нейлонової нитки.

Для отримання більш точного результату, тричі зважити на вагах з точністю не нижче 1 класу. Середні результати вимірів необхідно занести в таблицю 5.5 для кожного зразка окремо.

Далі встановити нижній зразок на валу таким чином, щоб радіальне биття при провертанні вала від руки не перевищувало 0,1 мм. Контроль вести індикатором ІЧ–10 кл.1 ГОСТ 577–68. Перемикач роду роботи на пульті

управління встановити в положення «Випробування», тумблер лічильника числа обертів – в положення "On". За допомогою шлангів підвести воду до штуцерів водяного охолодження на каретці і бабці нижнього зразка.

Підбір швидкостей валів слід вести відповідно до технічним описом машини. Далі необхідно закріпити зразок «колодка» в тримачі, а вал верхнього зразка зафіксувати від повороту фіксатором, розчепити муфту верхнього вала і закрити огорожу.

Машину включати в мережу поворотом рукоятки вимикача, розташованого на панелі управління машини, в положення «ВКЛ». При цьому на панелі управління повинна загорітися сигнальна лампа «Мережа».

Запустити машину, натиснувши на кнопку «Пуск», розташовану на панелі управління машини. Далі слід навантажити зразки, повільно і плавно обертаючи гвинт навантаження і спостерігаючи за становищем індексу на шкалі потенціометра, що показує величину моменту тертя.

По закінченню роботи натиснути кнопку «Стоп», розташовану на панелі управління машини і відключити машину від електромережі поворотом рукоятки вимикача.

Проведення випробувань

Після пуску машини необхідно прогріти її протягом 5 хв ... 10 хв. Далі до зразків докласти навантаження і приступити безпосередньо до їх випробуванню. Кожні 50 циклів роботи слід знімати показання температури і моменту тертя. Потім зупинити машину тертя, зразки зняти, ретельно промити, зважити в трьох повторностях і визначити середнє значення замірів. Всі дані заносити в таблицю, приклад наведено в таблиці 5.5.

Після зняття всіх показань розрахувати і записати в таблицю знос зразків і коефіцієнт тертя.

Знос зразків визначається по формулі:

$$I = m_0 - m, \quad (5.1)$$

де I – знос зразка, г;

m_0 – вага зразка до іспитів, г;

m – вага зразка в процесі випробування, г.

Таблиця 5.5 – Результати випробування зразків на знос

Показники	Напрацювання циклів					
	0	50	100	150	200	250
Вага зразка, г						
Знос зразка, г						
Температура в парі тертя, °C						
Момент тертя, кгс × см						
Коефіцієнт тертя						

За даними таблиці 5.5 необхідно побудувати залежності зносу, температури і коефіцієнта тертя від числа циклів навантаження [103].

5.4 Розрахунок інтенсивності зносу зразків на базі дослідів

Для визначення інтенсивності зношування матеріалу необхідно мати дві вихідні величини – знос і шлях тертя. Знос в досліді визначають зважуванням зразка на аналітичних вагах під час випробувань. Шлях тертя визначають розрахунком.

Вихідні дані для розрахунку:

a – довжина колодки, мм;

d_2 – діаметр контртіла, мм;

n_2 – частота обертання контртіла, Гц;

t – час випробувань, хв;

n_2 – сумарна кількість оборотів контртіла за час випробувань.

З курсу геометрії маємо такі співвідношення для сектора кола:

$$a = d_2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{ – хорда (довжина колодки);}$$

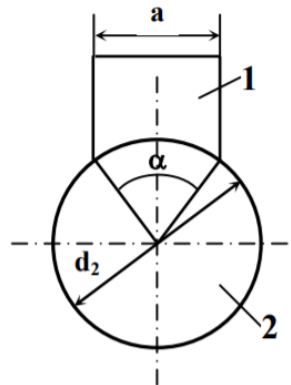
$$l = 8.7 \cdot 10^{-3} \cdot d_2 \cdot \alpha \text{ – довжина дуги } (\alpha \text{ – центральний кут, рад, рисунок 5.9}).$$

Шлях тертя зразка має вигляд:

$$L_{1mp} = \pi \cdot d_2 \cdot n_2 \cdot t. \quad (5.2)$$

Шлях тертя контртіла має вигляд:

$$L_{2mp} = l \cdot n_2 \cdot t. \quad (5.3)$$



1 – колодка; 2 – диск; a – довжина колодки; d_2 – діаметр контртіла;

α – центральний кут

Рисунок 5.9 – Модельна трибосистема – «диск–колодка»

Другим фіксується параметр, що визначає процеси, які протікають в матеріалах в зоні фрикційного контакту, є момент тертя $M_{тр}$, який реєструється самописцем.

Для визначення коефіцієнта тертя для модельної трибосистеми "диск – колодка" необхідно знати навантаження на трибосполучень F :

$$f = \frac{2 \cdot M_{\text{тр}}}{d_2 \cdot F}. \quad (5.4)$$

На результат трибологічних випробувань впливає велика кількість чинників, тому для даного виду випробувань особливо важливо обґрунтоване призначення обсягу необхідної вибірки експериментальних даних:

$$\bar{X} - \varepsilon \leq X \leq \bar{X} + \varepsilon. \quad (5.5)$$

Величина ε , що характеризує точність отриманого результату, може бути визначена по залежності:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot t_{k,\alpha}, \quad (5.6)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини;

n – кількість вимірювань; $t_{k,\alpha}$ – коефіцієнт

Стюдента, який залежить від рівня значущості α і ступеня свободи вибірки k :

$$\alpha = 1 - P; k = n - 1. \quad (5.7)$$

У технічних розрахунках найбільш часто приймають $P = 0,95$ або $\alpha = 0,05$. Збільшуючи кількість вимірювань (паралельних дослідів) n , навіть при незмінній їх точності, можливо збільшити надійність довірчих оцінок або звужити довірчий інтервал (5.7). При необхідній довірчої ймовірності P необхідну кількість вимірювань n для досягнення необхідної точності ε можливо визначити по залежності:

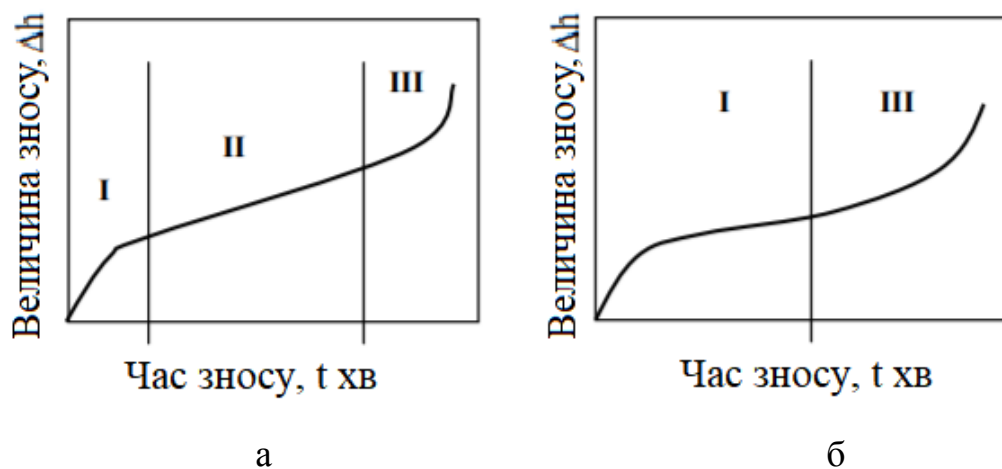
$$n \geq \frac{t_{\alpha,k} \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2}. \quad (5.8)$$

Розрахунок необхідної кількості вимірювань за формулою (5.8) можливий, якщо відома заздалегідь σ . В іншому випадку n можливо визначити, задавши порядок майбутньої середньоквадратичної помилки щодо $q = \varepsilon/\sigma$

(див. Додаток П4 [104]). При випробуванні механічних і трибологічних властивостей матеріалів слід дотримуватися виконання наступної нерівності:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon'}{\bar{x}} \cdot 100\% \leq 5\%. \quad (5.9)$$

У загальному випадку крива "знос—час" має три ділянки (рисунок 5.10 а). Після збирання деталі сполучаються по виступах нерівностей. Площа фактичного контакту при цьому мала, тобто при навантаженні пари тертя діє великий тиск. В результаті цього на початку роботи має місце підвищений знос трибосполучення. Схема на рисунку 5.10, б має місце при неправильній конструкції трибосполучення.



I - приробітку ($d^2\Delta h / dt < 0$); II - усталений знос ($d^2\Delta h / dt = 0$);
III - катастрофічний знос ($d^2\Delta h / dt > 0$)

Рисунок 5.10 – Криві зносу від часу.

Спрацювання мікронерівностей контактуючих поверхонь призводить до зниження інтенсивності зношування в зв'язку зі збільшенням несущої поверхні. Процес сталого зношування полягає в деформуванні, руйнуванні і безперервному відтворенні на окремих ділянках поверхневого шару зі стабільними властивостями. Збільшення зазорів в з'єднаннях погіршує умови рідинного змащення і може привести до підвищення динамічності роботи трибосполучень. Зміни в макрогеометрії контактуючих поверхонь при подальшій роботі може викликати збільшення інтенсивності зношування і привести до відмови трибосполучень.

У зв'язку з тим, що дослідження роботи конкретного трибосполучення на трибометрі СМЦ–2 проводиться з використанням модельних трибосистем при проведенні випробувань необхідно прагнути до того, щоб питомий тиск і швидкість ковзання на контакті повинні відповідати реальним значенням. У цьому випадку значення коефіцієнта тертя і процес зношування повинні відповідати натурних вузлів.

Однак, якщо для роботи трибосполучення характерна підвищена температура, її також необхідно враховувати при моделюванні режиму роботи трибосистеми на трибометр СМЦ–2.

При дослідженні зносу зразків в роботі модельна трибосистеми працює в умовах сталого зносу [104].

5.5 Висновок до розділу 5

Встановлено що основним іспитом є – випробування полімерних зразків на машині тертя СМЦ–2, для виявлення їх коефіцієнтів тертя та розрахунку зносу на базі цих значень. Іспит надасть можливість зробити висновки щодо використання адитивної технології у сполученнях тертя в трансмісії авто.

Визначено що на базі іспиту і подальших отриманих результатів можливо розробити рекомендації подальшого використання технології 3D друку в економічному плані, та оцінити її конкурентно спроможність.

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ 3Д ДРУКОМ

Стартап, за визначенням, – нещодавно створена компанія (можливо, ще не зареєстрована офіційно, але планує стати офіційною), що будує свій бізнес на основі інновацій або інноваційних технологій, не вийшла на ринок або почала на нього виходити і що володіє обмеженими ресурсами. Часто стартап компанії називають «гаражними». Особливо часто термін «стартап» застосовується відносно інтернет–компаній та інших фірм, що працюють в сфері ІТ, проте, це поняття розповсюджується і на інші сфери діяльності .

Відповідно до визначення, стартапом може бути тільки створення продукту: програмного або поставленого на конвеєр фізичного. Адже тільки продукт, на відміну від послуги, можливо відтворювати багаторазово, при цьому не збільшуючи штат співробітників пропорційно кількості продажів. Для розроблення стартап проєкту було обрано деталь яку можливо виготовити із застосуванням 3д друку – полімерна втулка опори куліси DaewooSens.

6.1 Маркетинговий аналіз проєкту

Ідея проєкту у застосуванні 3D друку у виробленні полімерних втулок механізму перемикачів передач автомобіля категорії М1, для менш ємної та зносостійкої характеристики деталі . На даному етапі виробництва і продажу полімерних матеріалів для трансмісії авто зустрічається багато різних елементів з усіх можливих полімерів.

Найчастіше втулки виробляються з фторопластів. Метод виготовлення штампування або лиття під тиском. Також аналіз ринку показує що окремо втулки продають рідко, прийнято продаж ремонт комплектів які замінюють більшість елементів вузла. Це нашоухує на розробку можливості заміни однієї деталі по нижчій вартості з більшим терміном експлуатації.

6.2 Організація проєкту

Для початку виробництва необхідний перелік обладнання та матеріалів для виготовлення втулок. Спочатку механізація проєкту може стосуватись тільки друку, інші операції будуть робитися вручну. Отже, підготовка поверхні, підготовка матеріалу, зняття деталей та обробка деталей буде потребувати тільки робочого персоналу та ручного інструменту.

Для друку необхідно мати сам 3D принтер. Для операцій вручну потрібні декілька інструментів, деякі з них йдуть в комплекті з принтером (таблиця 6.1.

Таблиця 6.1 – Необхідні інструменти

Інструменти	Призначення	Ціна
SD–Карта	Моделі друкують з карти	Комплект 3D принтера
Картридер	Переходник на USB	Комплект 3D принтера
Клей для столу друку. 100 мл	Намащують стіл для адгезії з полімером	100 грн
Шпатель	Сприяє швидкому усуванню моделі зі столу	Комплект 3D принтера
Бокорізи	Для усунення підтримок моделі	Комплект 3D принтера
Набір губок. 5 шт	Застосовується з водою для зняття клею	15грн

При умові використання лише одного принтера для друку можемо розрахувати кількість втулок, що будуть виготовлені за одну годину. При ідеальних умовах час на зміну однієї заготовки на іншу буде займати не більше п'яти хвилин, а отже увесь інший час вважатимемо часом друку.

Принтер друкує 1 деталь за 20 хвилин, вагою 3 грами. Це означає що швидкість друку за одну годину дорівнює :

$$V_{\text{др}} = \frac{m}{t}, \quad (6.1)$$

$$V_{\text{др}} = 3/20 = 0,15 \text{ г/хв} = 9 \text{ г/год},$$

де m – вага виробів, г;

t – час виробництва 1-го виробу, хв.

Це не є доцільним бо площа друку має розмір від 200 мм х 200 мм і більше, це означає що за раз можливо друкувати від 20 до 25 виробів на одній поверхні.

$$t_{20} = \frac{n \cdot m}{V_{\text{др}}} + l, \quad (6.2)$$

$$t_{20} = 20 \cdot 3 / 9 + 8 = 6.83 \text{ год},$$

де n – кількість виробів, $n=20$ шт;

l – час на перехід від деталі к деталі, $l=8$ хв.

Час який буде затрачено на друк 20 втулок дорівнює 7,5 годин, з урахуванням зняття їх зі столу та пост обробкою.

6.3 Фінансово економічний аналіз

Для аналізу ринкових можливостей звернемося до існуючого асортименту втулок куліси. Ціни на 1 втулку можуть бути досить різноманітними: від 28 грн до 97 грн [105–106].

Як матеріал використовуємо той же полімер як і в дипломній роботі.

Катушка нейлону коштує 560 грн за 0,75 кг [107].

$$B_{кг} = \frac{Ц_{кат}}{m_{кат}}, \quad (6.3)$$

$$B_{кг} = 560 / 0.75 = 746 \text{ грн/кг},$$

де $Ц_{кат}$ – ціна катушки, грн;

$m_{кат}$ – вага катушки, г.

Для визначення кількості втулок з однієї катушки скористаємось формулою:

$$n_{вт} = \frac{m_{кат}}{m_{вт}}, \quad (6.4)$$

$$n_{вт} = 750 / 3 = 250 \text{ шт.},$$

де $m_{вт}$ – вага втулки, г;

$M_{кат}$ – вага катушки, г.

При друкуванні з однієї катушки вийде приблизно 245 втулок. Отже 1 втулка буде коштувати :

$$B_{вт} = \frac{Ц_{кат}}{n_{вт}}, \quad (6.5)$$

$$B_{вт} = 560 / 245 = 2,3 \text{ грн},$$

При роботі на повній потужності джерело друку використовує струму близько 400 Вт електроенергії за годину. Врахуємо витрати на освітлення приблизно 1–2 кВт/год.

Отже сумарно друк втулок займає 7,5 годин, а витрати на електроенергію дорівнюють :

$$E_{dp} = t_{20} \cdot 400, \quad (6.6)$$

$$E_{dp} = 7.5 \cdot 400 = 3 \text{ кВт},$$

На сьогоднішній день 1 кВт електроенергії коштує 1,68 грн, і після підрахунку отримуємо:

$$C_{el} = (t_{20} \cdot E_{св} + E_{dp}) \cdot 1,68, \quad (6.7)$$

$$C_{el} = (7.5 \cdot 1.5 + 3) \cdot 1.68 = 24 \text{ грн},$$

де t_{20} —час на виготовлення 20 втулок, год;

$E_{св}$ — використання освітлення, $E_{св} = 1,5$ кВт;

E_{dp} — використання електроенергії для друку 20 втулок, кВт.

Отже попередньою ціною виготовлення 1 втулки буде коштувати, без врахування витрат на заробітну плату:

$$C_0 = B_{м} + \frac{C_{el}}{n}, \quad (6.8)$$

$$C_0 = 2,3 + 24 / 20 = 3,5 \text{ грн},$$

де n — кількість виробів, $n=20$ шт;

$B_{м}$ — ціна матеріалу 1 втулки, грн;

C_{el} — ціна електроенергії на 20 втулок, грн.

Собівартість 1 втулки опираючись на матеріал і використану електроенергії дорівнює 3,5 грн. Це є доволі мала собівартість виробу, якщо можливо виготовляти такі запчастини навіть в домашніх умовах.

Також було визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи в таблиці 6.1 [108].

Таблиця 6.1 – Характеристика потенційних клієнтів стартап–проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Заміна зношених втулок куліси коробки передач,	Водії легковиків Ремонтні майстерні	Низька ціна Можливість купівлі великої кількості товару	– до продукції: надійність, довговічність безпечність – до компанії постачальника: гарантійний термін на строк служби

Із урахуванням характеристик ідеї проєкту та вимог споживачів до товару визначено перелік факторів конкурентоспроможності і проведено аналіз сильних та слабких сторін проєкту в таблиці 6.2 [108].

Таблиця 6.2 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проєкту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали	Рейтинг товарів–конкурентів у порівнянні з проєктом						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Надійність				X				
2	Безпека					X			
3	Ціна		X						
4	Маса деталі					X			
5	Серійне виробництво							X	

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту було складання SWOT-аналізу[108] методу підвищення зносостійкості (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)), що наведено у таблиці 6.3, на основі ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Таблиця 6.3 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: – менша собівартість матеріалу; – покращені умови безпеки ; – можливість змінювати форму і характеристики; – друк інших полімерних запчастин; – швидка заміна матеріалу навіть у процесі друку.	Слабкі сторони: – низька автономність процесу; – необхідність сушки матеріалу;
Можливості: –впровадження в інші вузли з наявністю полімерних деталей; – відсутність необхідності придбання додаткового обладнання або додаткового навчання робітників –можливість подальшого розвитку як способів зміни матеріалу так і налаштування самого друку.	Загрози: –підприємства України дуже неохоче йдуть навіть на малі зміни в технічних процесах; – висока конкуренція серед інших виготовлювачів; – відсутність регламенту і патенту на даний спосіб виготовлення

Наявність таких переваг при даному методу 3D друку дозволяє зробити висновок, що такий метод виготовлення втулок з підвищенням зносостійкості конкурентоспроможний, але для покращення часу на виготовлення деталей доцільно використовувати більш спеціалізоване обладнання та мати хоча б 2–3 принтера для більшої автоматизації та об'ємів виготовлення

6.4 Висновок до розділу 6

Розрахунок собівартості виготовлення втулки методом 3D друку є економічно доцільним, тому що ціна 1 втулки становитиме 3.5 грн без оплати праці і податку. Виготовлення 20 втулок займає всю площину друку і весь робочий час, що призводить к потребам розширення кількості 3D верстатів. Ціна однієї втулки в рази нижча за середній запропонований товар на ринку збуту полімерних деталей для авто, це є вагомою економічною перевагою перед класичним виготовленням полімерних елементів.

Виготовлення на самому принтері – показує його значення у подальшому розвитку авто будівництва і економічному зростанні. Бо ця технологія є економічною в плані використання електроенергії, а також можливо зменшення матеріалу для виготовлення запчастин з полімерів.

РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі за темою дослідження «Обґрунтування параметрів вибору неметалевих матеріалів для деталей механізмів трансмісії автомобіля категорії М1», передбачено собою аналіз потенційних небезпек та заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для робочого місця приміщень дослідницької лабораторії, а також заходи цивільного захисту, у відповідності з методичними вказівками.

7.1 Аналіз потенційних небезпек

Робота та дослідження, які виконуються в магістерській роботі передбачає проведення дослідів в лабораторії кафедри “Автомобілі” на

території національного університету «Запорізька політехніка», тому на дослідника впливають такі небезпечні та шкідливі фактори як:

- можливість зазнати опіки від розплавленого термопластика, або столу друку, який нагрівається до 80 °C – 110 °C;
- недостатній рівень штучного освітлення може призвести до швидкої втоми, зниження працездатності, короткозорості;
- ураження електричним струмом внаслідок недотримання правил безпеки при роботі з електричними приладами, порушення ізоляції дротів, несправності електричних приладів;
- кісткове –м'язові порушення, у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї, рук і ніг;
- механічне травмування в наслідок не раціонального розташування робочого місця;
- хімічні отруйні речовини вінілхлорід, ацетон та акрилонитрила, що виділяються під час друку, сприяють виникненню легеневих захворювань і зниження імунітету;
- підвищений рівень вібрації від ПК та 3D принтеру викликає у людини головну біль, погіршення зору та слуху;
- негативний вплив монітора комп'ютера, а саме коливання зображення, занадто яскраве, або темне зображення, неправильне розташування монітора, все це приводить до погіршення зору;
- інтелектуальне перевантаження може призвести до втоми, підвищеного емоційного стану, порушенню сну;
- збільшення температури мікроклімату біля 3D принтера і комп'ютера може викликати погіршення самопочуття та теплове перенасичення, що приводить до гіпертонії;
- коротке замикання або не герметичність живлення ПК та принтера, може призвести до виникнення пожежі;
- відсутність або неправильний вибір типу та необхідної кількості первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників).

7.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Перед початком дослідницької роботи студент повинен пройти вступний інструктаж з охорони праці. Також безпосередньо перед роботою на робочому місці проводиться первинний інструктаж згідно з НПАОП 0.00–4.12–05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [109].

Робітник повинен утримувати робоче місце в чистоті, не захащувати його сторонніми предметами. Дотримуватися вимог санітарних норм та правил особистої гігієни згідно з НПАОП 0.00–7.15–18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [110].

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для запобігання кістково–м'язових порушень, у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї рук і ніг при роботі на ПК необхідно дотримуватись режиму роботи та відпочинку відповідно до КЗ про П України.

Стопи ніг повинні розміщуватися на спеціальній підставці або горизонтальній підлозі, стегна у горизонтальній площині, а передпліччя – вертикально, лікті повинні бути під кутом 70° – 90° до вертикальної площини, зап'ястя – зігнуті відносно вертикальної площини не більш ніж на 20° . Висота робочої поверхні столу 680 мм – 800 мм, а ширина достатня для забезпечення можливості виконання операцій у зоні досяжності рук.

Оцінку впливу рівня вібрацій необхідно проводити за ДСТУ ISO 2631–1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину» [111]. Зниження впливу шуму і вібрації на організм людини досягається такими методами:

– ізоляцією джерел вібрації засобами і віброізоляції (гума, збільшення ваги, тощо) ;

Рівень шуму при проведенні дослідів в лабораторії не повинен перевищувати 60 дБ згідно вимог ДСН 3.3.6.037–99 [112]. Зниження рівня шуму в приміщеннях, обладнаних ПК, здійснюють наступними способами:

– використанням блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;

– використанням ПК, в яких термодавачі вмонтовані в блоці живлення та в критичних точках материнської плати (процесор, мікросхеми чипсету), які дозволяють програмним шляхом регулювати як моменти ввімкнення вентиляторів, так і їх швидкість обертання;

переведення жорсткого диска в режим сплячки (*Standby*), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;

– використовуються ПК з малошумною системою охолодження процесорів (BOX–процесор з малошумним кулером);

– застосуванням материнських плат (наприклад, формату ATX та ATX – корпусів), що дозволяють регулювати автономну швидкість та моменти часу відмикання вентилятора блока живлення від електромережі;

– використовуються зовнішні жорсткі диски, флеш–13 накопичувачі, CD–ROM і DVD–ROM – пристрої з більш низькою швидкістю (наприклад, замість 48–50х швидкісних, 24–38х швидкісні), які створюють менше шуму або програми, що дозволяють знизити їх швидкість;

– заміною матричних голчатих принтерів струменевими і лазерними принтерами, які забезпечують при роботі значно менший рівень звукового тиску;

– зменшенням шуму на шляху його поширення через розміщення звукоізолюючого відгородження у вигляді стін, перетинок, кабін;

– акустичної обробки приміщень, тобто зменшення енергії відбитих звукових хвиль шляхом збільшення площі звукопоглинання (розміщення на

поверхнях приміщення облицювань, що поглинають звук, розташування в приміщеннях штучних поглиначів звуку).

Для запобігання впливу шкідливих чинників при роботі на ПК та 3D принтері необхідно дотримуватись режиму роботи та відпочинку для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1–2 години, згідно ДСанПіН 3.3.2.007–98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно–обчислювальних машин» [113].

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України (ДБН В.2.5.–28–2018 «Природне і штучне освітлення» [122]. Для лабораторії підходить розряд зорової роботи VI–V, застосовуємо систему комбінованого освітлення.

Вибираємо джерело освітлення: використовуємо люмінесцентні лампи ЛБ (білого кольору 2500 К – 2800 К), тому що висота нашої споруди не перевищує 6м. Розміри лабораторії: довжина 6м, ширина 6м, висота 2,7 м.

Згідно вимог ДСанПіН 3.3.2.007–98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами ЕОМ» [113] площа приміщення на одне комп'ютеризоване робоче місце повинна становити 6 м², а об'єм не менше ніж 20 м³.

Для запобігання оцінки шкідливого впливу випромінювання важкості та напруженості праці роботі за ПК виконаємо оцінку важкості та напруженості праці за бальною шкалою. Для цього проведемо заміри в лабораторії та внесемо їх до таблиці 7.1 [121].

Таблиця 7.1 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники Пвим	Час дії год.(хв.)	ГДК, ГДР, показники, Рдоп	X _{визн} , бали	Клас умов праці	X _i , бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС– індексом, t, °C	26,5	10	22,0–25,1	3	3.3	3
Освітленість приміщення E, лк	430	10	500	—	3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, Зор	A–1	—	—	—	—	—
Рівень шуму L, дБА	108	6	65	—	3.1	3,00
Загальні енергозатрати організму, Вт	350	8	290	1,21	4	4
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук	61500	8	40000	1,54		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	78	8	75	1,04		
Тривалість робочого дня, год.	10	10	8	0,23		

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти

$X_{\text{визн}}$ та вносять їх значення до стовпчика 5, таблиці 7.1: – для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС–індекс, додаток Б [121].

Розрахунковий коефіцієнт $X_{\text{визн}}$ при оцінці мікроклімату визначаємо в балах, за формулою (7.1):

$$X_{\text{визн}} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T}, \quad (7.1)$$

$$X_{\text{визн}} = 3 \cdot 10 / 10 = 3,$$

– для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками [121], що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою (7.1) [121]:

а.) Загальні енергозатрати організму, $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{визн}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}},$$

$$(350 \cdot 8 \cdot 1,0) / 8 \cdot 290 = 1,21$$

б.) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{визн}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}},$$

$$(61500 \cdot 8 \cdot 1,0) / 8 \cdot 40000 = 1,54$$

в.) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{визн}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}},$$

$$(78 \cdot 8 \cdot 1,0) / 8 \cdot 75 = 1,04$$

г.) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{\text{знач}} = 0,15$

$$X_{\text{визн}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}},$$

$$(10 \cdot 10 \cdot 0,15) / 8 \cdot 8 = 0,23$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці 7.1:

– для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{\text{визн}} = 2$, з таблиці 7.1 – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

– при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{\text{вим}} = 430$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [121] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

– для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{\text{вим}} = 86$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 [121] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

– клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{\text{визн}}$ за формулою (7.1) [121].

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n X_i = X_{\text{визнА}} \cdot X_{\text{визнБ}} \cdot X_{\text{визнВ}} \cdot X_{\text{визнГ}} \cdot X_{\text{визнД}}, \quad (7.2)$$

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n X_i = 1,21 + 1,54 + 1,04 + 0,23 = 4,02,$$

З таблиці 7.1 за значенням суми розрахованих балів показників $X_{\text{сум}} = 4,02$ – 3 клас, 3 ступінь (3.2);

Оскільки загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 2 ступеню.

Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до стовпчика 7, таблиці 7.1 [121]:

– для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому –

$$X_{\text{ст}} = X_i = 3;$$

– при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому коректування не потрібно – $X_{\text{ст}} = X_i = 1$;

– для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення X_i визначаємо по формулі (7.3) [121] :

$$X_i = X_{\text{см}} \cdot \frac{T}{8}, \quad (7.3)$$

$$X_i = 1 \cdot \frac{5}{8} = 0,63,$$

– для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 2 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{\text{ст}} = X_i = 2$

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , по формулі (7.4) [121]:

$$X_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n X_i, \quad (7.4)$$

$$X_{\text{факт}} = 3 + 2 + 0,63 + 2 = 7,63 \text{ грн.},$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{\text{факт}} = 7,63$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.2 [121]

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

- умови, важкості та напруженості праці на робочому місці інженера–дослідника центральній заводської лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

- відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці дослідника належать до категорії I–A, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії I–A, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища – ТНС–індексом – $21,0^{\circ}\text{C} - 23,4^{\circ}\text{C}$;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відеотерміналами відповідає розряду зорових робіт A–1, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 600/400$ лк;

- рівень шуму в робочий зоні дослідника – 50 дБА; – загальні енергозатрати організму, до 140 Вт;

- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 50 %;

- тривалість робочого дня, 7 год або 8 год.

Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно–витяжну механічну вентиляцію та кондиціонування приміщення;

- для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;

- для зниження рівня шуму в робочий зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня до 6 год або 7 год – для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1–2 години;

- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

- якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці у розмірі 16 %, опираючись на таблицю 7.2 [121].

7.4 Заходи з пожежної безпеки

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (дослідницької лабораторії) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001–2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [116].

Згідно вимог ДБН В.2.5–56:2014 «Системи протипожежного захисту» [119], в приміщенні (дослідницької лабораторії) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «СигналВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

По нормативам при площі $S = 20\text{ м}^2$ – необхідно мати 1 вогнегасник, ВВК – 5. Лабораторія має $S = 36\text{ м}^2$, тому треба встановити 2 вогнегасника

ВВК–5 – Вуглекислотні вогнегасники призначені для гасіння різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу кисню, широке поширення в офісних приміщеннях при наявності оргтехніки, а також у житловому секторі. Основною перевагою вуглекислотних вогнегасників є те, що двоокис вуглецю не пошкоджує об'єкт гасіння і не залишає слідів [120].

7.5 Організація цивільного захисту на промисловому об'єкті

Загальне керівництво Цивільним захистом відповідно до її побудови покладається на: Кабінет Міністрів України, Міністерства, інші центральні органи виконавчої влади, місцеві держадміністрації, керівників підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування.

Начальником Цивільної оборони України є Прем'єр–міністр України. На місцевому рівні функції начальників цивільної оборони здійснюють керівники відповідних органів виконавчої влади, а в міністерствах, відомствах і на підприємствах їхні керівники.

Органом повсякденного управління процесами захисту населення при Кабінеті Міністрів є Міністерство з питань надзвичайних ситуацій та в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. З цією ж метою при місцевих органах виконавчої влади створюються відповідні управління і відділи. У міністерствах, відомствах, підприємствах і установах також створюються органи повсякденного управління. Усі ці органи

здійснюють покладені на них завдання. Так Кабінет Міністрів України здійснює наступні основні завдання:

- забезпечує здійснення заходів щодо попередження надзвичайних ситуацій і ліквідації їхніх наслідків;
- розподіляє міста і території за групами, юридичних осіб — за категоріями щодо реалізації заходів з цивільної оборони;
- створює резерви засобів індивідуального захисту і майна цивільної оборони, матеріально–технічних та інших фондів на випадок виникнення надзвичайних ситуацій у мирний та воєнний час, а також визначає їх обсяг і порядок використання;
- вживає заходи щодо забезпечення готовності органів управління у справах цивільної оборони, сил та засобів цивільної оборони до дій в умовах надзвичайних ситуацій;
- створює єдину систему підготовки органів управління в справах цивільної оборони, сил цивільної оборони і населення до дій в умовах надзвичайних ситуацій;
- визначає порядок створення спеціалізованих, професійних та громадських аварійно–рятувальних служб (формувань);
- задовольняє мобілізаційні потреби військ, органів управління у справах цивільної оборони та установ цивільної оборони;
- координує діяльність аварійно–рятувальних служб;
- залучає аварійно–рятувальні служби до ліквідації надзвичайних ситуацій за межами території України.

Міністерства й інші органи виконавчої влади в межах своїх повноважень забезпечують рішення питань цивільної оборони, здійснення заходів щодо захисту населення і територій під час надзвичайних ситуацій, сприяють органам управління в справах цивільної оборони у виконанні покладених на них функцій. Міністерство з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи вирішує такі основні завдання:

- бере участь у реалізації державної політики у сфері цивільної оборони, захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, а також попередження цих ситуацій;
- організовує розроблення і здійснення відповідних заходів із цивільної оборони;
- керує діяльністю підпорядкованих йому органів управління у справах цивільної оборони та спеціалізованих формувань, військами цивільної оборони;
- здійснює контроль за виконанням вимог цивільної оборони, станом готовності сил і засобів цивільної оборони для проведення невідкладних робіт для попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;
- здійснює координацію діяльності центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів місцевих рад та юридичних осіб щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;
- здійснює оповіщення населення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайної ситуації, забезпечує належна робота відомчих територіальних і локальних систем оповіщення;
- здійснює навчання населення, представників органів управління і сил цивільної оборони з питань захисту і дій у надзвичайних ситуаціях;
- організовує фінансове і матеріально-технічне забезпечення військ цивільної оборони;
- створює згідно до законодавства України підприємства з виробництва спеціальної техніки, засобів захисту населення і контролю тощо.

Безпосереднє керівництво виконанням завдань цивільної оборони, діями органів управління і сил під час надзвичайних ситуацій покладається на управління (відділи) з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення на спеціальні підрозділи міністерств і відомств та

працівників цивільної оборони об'єктів господарської діяльності. На територіальні органи управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення покладаються наступні завдання:

- реалізація державної політики в області цивільної оборони;
- розроблення і реалізація заходів щодо захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, керівництво діяльністю підлеглих органів управління і сил цивільної оборони;
- здійснення контролю за станом цивільної оборони на відповідній території;
- координація в рамках їхньої компетенції дій інших місцевих органів виконавчої влади, територіальних органів міністерств і відомств, підприємств, закладів і організацій, що залучаються до виконання завдань, зв'язаних з безпекою населення і забезпеченням його життєдіяльності під час надзвичайних ситуацій.

Територіальні органи управління з питань надзвичайних ситуацій і цивільного захисту населення відповідно до законодавства України входять до складу місцевих держадміністрацій та інших органів виконавчої влади за принципом подвійного підпорядкування.

Однією з найважливіших ланок у системі цивільної оборони є об'єкти господарської діяльності (далі об'єкти). Об'єкти — це підприємства (незалежно від форми власності), заклади і організації, навчальні установи та інші. Відповідальність за організацію і стан цивільної оборони на об'єкті, за постійну готовність її сил і засобів до виконання поставлених завдань несе начальник цивільної оборони об'єкта — керівник підприємства. Начальник цивільної оборони об'єкта підпорядковується відповідному міністерству в підпорядкуванні якого знаходиться об'єкт, а також начальнику цивільної оборони міста (району) на території якого розташовується даний об'єкт.

Начальник цивільної оборони об'єкта може мати декілька заступників. Як правило це такі як з: інженерно–технічного постачання, евакуації, матеріально–технічного постачання та інші.

При ньому створюється штаб, що укомплектовується штатними працівниками цивільної оборони, а також позаштатними, які виконують обов'язки з цивільної оборони за сумісництвом.

Як правило, крім начальника, до складу штабу включають заступників з оперативно–розвідувальної роботи, підготовки формувань, робітників та службовців, а також інших фахівців виходячи зі специфіки підприємства.

На об'єкті, в залежності від характеру виробничої діяльності, створюються служби цивільної оборони: оповіщення і зв'язку; медична; радіаційного і хімічного захисту; охорони громадського порядку; протипожежна, енергопостачання і світломаскування; аварійно–технічна; сховищ і укрить; транспортна, матеріально– технічного забезпечення та інші.

На невеликих об'єктах, де бази для створення подібних служб нема, їхні функції виконують структурні органи цих об'єктів [121].

Системний блок та принтер не слід розміщати всередині столу, або в іншому замкнутому просторі де порушена циркуляція повітря, це може викликати наповнення повітря шкідливими речовинами НПАОП 0.00–7.15–18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [110].

7.6 Висновок до розділу 7

Під час проведення іспитів, був проведений аналіз потенційних небезпек при роботі за екранними приладами а також 3D принтером.

Було проведено аналіз небезпечних факторів та заходи забезпечення технічної безпеки на місцях проведення дослідницької роботи, а також були проведені розрахунки і висвітлені заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.

Було визначено заходи пожежної безпеки а також виявлена кількість потрібних вогнегасників на площу дослідницької лабораторії.

Була описана організація цивільного захисту на промисловому об'єкті.

ВИСНОВКИ

У магістерському дослідженні розкрито можливості 3D друку виконано аналіз, розрахунок і методичне обґрунтування подальшого експерименту вирішення наукової проблеми – знос полімерного елемента кульового шарніра куліси трансмісії автомобіля Daewoo. Отримані результати досліджень дозволили сформулювати основні теоретичні висновки.

Аналіз надійності полімерних елементів які застосовуються в приводі перемикачів передач показує що до 16 % ємності займають вироби з полімерів, а також для покращення їх характеристик використовують домішки.

Встановлено що визначені вектори сил та їх розподіл на полімерну втулку шарніру важеля перемикачів передач при зміні передачі зворотно пропорційний руху важеля перемикачів передач.

Визначено що вертикальне навантаження сприяє швидшому зносу втулки, через конструкцію шарового пальця.

Розглянуто параметри оцінки моделі матеріалів, полімерна сировина для 3D друку. Описані характеристики використання матеріалу, підходи при 3D друці та їх можливості і призначення.

Проведені аналітичні розрахунки зношування шарового з'єднання «полімерна втулка – палець» опори куліси перемикачів передач, на підставі трьох різних підходів і виявлено що краще значення інтенсивності зношування має - поліамід (РА). Також прийнято його використання при 3D друці

Розроблені заходи щодо визначення структур і властивостей виробів, отриманих 3d-друком. Наведена методика досліджень з визначення властивостей дослідних зразків.

Розрахована собівартість виробу, для одного та двадцяти зразків, яка дорівнює 3,50 грн. за 1 втулку при друці 20 штук. Описана економічна

доцільність використання 3D друку при виготовлені обраної деталі, представлен SWOT аналіз проєкту.

Розроблені заходи технічної безпеки, на місцях проведення дослідницької роботи, а також з заходами забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці і пожежної безпеки під час досліджень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Автомобилестроение как драйвер спроса на полимерную продукцию.
URL: <http://rupec.ru/analytics/30338/> (дата звернення: 02.10.2020).
2. Применение полимерных материалов в автомобилестроении. URL:
<https://loganrenault.ru/html/polimery.html> (дата звернення: 09.10.2020).
3. Кулиса. URL: <https://etlib.ru/wiki/kulisa-29> . (дата звернення: 02.10.2020).
4. Втулка кулисы коробки передач. URL:
<https://autodoc.ua/category/vtulka-kulisy-kpp-id604-3> . (дата звернення: 03.10.2020).
5. BMW 5 series Dakargelb II. Ремонт кулисы. е34.
URL: <https://www.drive2.ru/l/1375441/> (дата звернення: 03.10.2020).
6. Ремкомплект кулисы BMW е34.
URL: <https://bmwdrug.ru/stati/remkomplekt-kulisy-bmv-e34.html> (дата звернення: 04.10.2020).
7. Кулиса переключения передач: назначение, устройство, регулировка кулисы коробки передач. URL: <http://krutimotor.ru/kulisa-kpp/> (дата звернення: 06.10.2020).
8. Кулиса Sens. URL: <https://e-sens.com.ua/kulisa-sens.html> (дата звернення: 07.10.2020).
9. Создание полимерных материалов со специальными свойствами.
URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/300/> (дата звернення: 07.10.2020).
10. Бобович Б. Б. Неметаллические конструкционные материалы : учебное пособие для вузов. Москва: Изд-во МГИУ. 2009. С. 239 .
11. Шаровый шарнир. URL: <https://findpatent.ru/patent/211/2114332.html> (дата звернення: 07.10.2020).
12. Шаровой шарнир и способ его изготовления. URL:
<http://www.freepatent.ru/patents/2392508> (дата звернення: 09.10.2020).

13. Шаровая опора транспортного средства. URL: <https://patents.google.com/patent/RU77921U1/ru> (дата звернения: 10.10.2020).

14. Опора шаровой головки шарнира. URL: <https://findpatent.ru/patent/179/1791633.html> (дата звернения: 10.10.2020).

15. Что такое кулиса коробки передач. URL: <https://kitaec.ua/articles/chto-takoe-kulisa-korobki-peredach/> (дата звернения: 10.10.2020).

16. Daewoo Sens. Ремонт и эксплуатация. Привод управления механизмом переключения передач. URL: <http://vva.com.ua/c/daewoo/page-194.html> (дата звернения: 11.10.2020).

17. Описание технологии литья пластмасс. URL: <http://xn——8sbarordjywcadg7l.xn—p1ai/istoriya-i-tehnologiya-litya-plastmass/> (дата звернения: 13.10.2020).

18. Ратнер С. Б., Фарберова И. И., Радюкевич О. В., Лурье Е. Г. Связь износостойкости пластмасс с другими механическими свойствами. *Пластические массы*. Москва. 1963. № 7. С. 38–42.

19. Budinski K. G. Resistance to particle abrasion of selected plastics. *Wear*. 1997. № 203–204 С. 302–309.

20. Cenna A.A. Modelling the three-body abrasive wear of UHMWPE particle reinforced composites. A. A. Cenna, S. Allen, N. W. Page, P. Dastoor. *Wear*. 2003. № 254 С. 581–588 .

21. Horst Czichos. Influence of adhesive and abrasive mechanisms on the tribological behaviour of thermoplastic polymers. *Wear*. 1983. V.88. С. 27– 43 .

22. K. Friedrich. On the wear of reinforced thermoplastics by different abrasive papers. K. Friedrich, M. Cyffka. *Wear*. 1985. V.103. С. 333–344.

23. Sin H. Abrasive wear mechanists and the grit size effect. H. Sin, N. Saka, N. P. Suh. *Wear*. 1979. № 55. С. 163–190 .

24. Фарберова И. И., Ратнер С. Б., Лурье Е. Г., Гурман И. М., Игнатова Т. А., Носова Л. А. О влиянии некоторых рецептурных и технологических факторов на истирание пластмасс . *Пластические массы*. 1962. №9. С. 35.

- 25 Harsha A.P. Two-body and three-body abrasive wear behaviour of polyaryletherketone composites. A.P. Harsha, U.S. Tewari. . Polymer Testing. 2003. № 22. C. 403–418.
26. Kalsoom, U. Recent developments in 3D printable composite materials U.Kalsoom, P.N.Nesterenko, B.Paull . RSC Advances Journal published. 2016. V. 6. № 65. C. 60355–60371.
27. Gardan, J. Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. J.Gardan . International Journal of Production Research. 2016. V. 54. № 10. C. 3118–3132.
28. Gibson, I. Additive Manufacturing Technologies. I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker . New York: Springer. 2015. C. 498.
29. Chua C. K. 3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications . C. K. Chua, K. F. Leong . Singapore: World Scientific. 2014. C. 456.
30. Yan X. A review of rapid prototyping technologies and systems. X. Yan, P. Gu . Computer Aided Design. 1996. V. 28. № 4. C. 307–318.
31. Huang, S. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. S.Huang, P.Liu, A. Mokeddar, L. Hou . Int. J. Adv. Manf. Technol. – 2013. V. 67. № 5–8. C. 1191–1203.
32. Wong, K. V. A review of additive manufacturing. K. V. Wong, A. Hernandez . ISRN Mechanical Engineering. 2012. V. 2012. C. 1–10.
33. Pham, D. A comparison of rapid prototyping technologies. D.Pham, R.Gault . International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1998. V. 38. № 10. C. 1257–1287.
34. Kumar, S. Composites by rapid prototyping technology. S. Kumar, J. P. Kruth. Materials and Design. 2010. V. 31. № 2. C. 850–856.
34. Kruth, J.–P. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. J. P. Kruth, M. Leu, T .Nakagawa. CIRP Annals – Manufacturing Technologies. 1998. V. 47. № 2. C. 525–540.

35. Pham, D. Design for stereolithography. D.Pham, C.Ji . Proceedings – Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science. 2000. V. 214. № 5. C. 635–640.
36. Stereolithography (SL). Available: <https://www.additively.com/en/learn-about/stereolithography> (дата звернення: 20.10.2020).
37. Crivello, J.V. Photopolymer Materials and Processes for Advanced Technologies/ J.V.Crivello, E.Reichmanis . Chemistry of Materials. 2014. V. № 1. C. 533–548.
38. Paesano, A. Polymeric Additive Manufacturing: Present Status and Future Trends of Materials and Processes. A.Paesano. Boeing Technical Journal. 2016. C. 1–12.
39. Fused deposition modeling (fdm) .. URL: : <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling> (дата звернення: 22.10.2020).
40. Yan, X. A review of rapid prototyping technologies and system. X.Yan, P.Gu. ComputerAided Design. 1996. V. 28. № 4. C. 307–318.
41. Camachoa, D.D. Applications of Additive Manufacturing in the Construction Industry – A Prospective Review. D.D.Camachoa, P.Claytona, W. O'Briena, R.Ferrona, M.Juengera, S.Salamonea, C.Seepersad. 34–th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017). Taipei: 2017. C. 256. 110
42. Stratasys, Fdm technology . URL: <http://www.stratasys.com/3dprinters/technologies/fdm-technology> (дата звернення: 25.10.2020).
43. Christopherson, S. The machine that prototyped itself. S.Christopherson. Prototyping Technology International '98. 1998. C. 140–143.
44. Thymianidis, M. Modern additive manufacturing technologies: An up-to-date synthesis and impact on supply chain design. M.Thymianidis, C.Achillas, D.Tzetzis, E.Iakovou. Journal of Manufacturing Systems. 2015. V. 37. № 1. C. 328–339.

45. Boschetto, A. Accuracy prediction in fudes deposition modeling / A.Boschetto, L.Bottini . The international journal of advanced manufacturing technology. 2014. V. 73. № 5–8. C. 913–928.

46. Skelton, J. Fused deposition modeling. 3d printers and 3d–printing technologies. URL:<http://3d-print.blogspot.nl/2008/02/fused-depositionmodelling> (дата звернення: 27.10.2020).

47. Stratasys.URL:
<http://www.stratasys.com/3dprinters/technologies/fdmtechnology> (дата звернення: 27.10.2020).

48. Fused Deposition Modeling (FDM). URL:<https://www.additively.com/en/learn-about/fused-deposition-modeling> (дата звернення: 27.10.2020).

49. 3DSystems . URL:
<https://www.3dsystems.com/resources/informationguides/> (дата звернення: 28.10.2020).

50. Dimitrov, D. Investigating the achievable accuracy of three dimensional printing. D. Dimitrov, W. van Wijck, K. Schreve, N. de Beer . Rapid Prototyping Journal. 2006. V. 12. № 1. C. 42–52.

51. Dimitrov, D. Advances in three dimensional printing – state of the art and future perspectives. D.Dimitrov, K.Schreve, N. de Beer . Rapid Prototyping Journal. 2006. V. 12. № 3. C. 136–147.

52. Kechagias, J. Dimensional Accuracy Optimization of Prototypes produced by PolyJet Direct 3D Printing Technology. J.Kechagias, P.Stavropoulos, A.Koutsomichalis, N.Vaxevanidis. International Conference on Industrial Engineering – INDE '14, At Santorini Island, Greece, 17–21 July 2014. C. 111 .

33. Baier, O. Functional components produced by multi–jet modelling combined with electroforming and machining. O.Baier, G.Witt. South African Journal of Industrial Engineering. 2014. V. 25. № 2. C. 182–192.

54. MaterialJetting (MJ). URL:<https://www.additively.com/en/learn-about/material-jetting> (дата звернення: 30.10.2020).

55. Pham, D. A comparison of rapid prototyping technologies. D.Pham, R.Gault . International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1998. V. 38. № 10– 11. C. 1257–1287.
56. Rain, N. Production methods: What's the difference between selective laser sintering, direct metal laser sintering, laser melting and lasercusing? .. URL: : <http://www.core77.com/posts/26457/production-methods-whats-the-difference-between-selective-laser-sintering-direct-metal-laser-sintering-lasermelting-and-lasercusing-26457> (дата звернення: 30.10.2020).
57. Simchi, A. Direct laser sintering of iron–graphite powder mixture. A. Simchi, H. Pohl . Materials Science and Engineering: A. 2004. V. 383. № 2. C. 191– 200.
58. Kruth, J.–P. Basic powder metallurgical aspects in selective metal powder sintering. J.–P. Kruth, B. van der Schueren, J.Bonse, B. Morren . CIRP Annals – Manufacturing Technology. 1996. V. 45. № 1. C. 183–186.
59. Scott–Emuakpor, O. Bending fatigue life characterisation of direct metal laser sintering nickel alloy 718. O. Scott–Emuakpor, J. Schwartz, T. George, C. Holycross, C. Cross, J. Slater . FFEMS. 2015. V. 38. № 9. C. 1105–1117.
60. Schmidt, M. Selective laser sintering of peek. M. Schmidt, D. Pohle, T. Rechtenwald . CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2007. V. 56. № 1. C. 205–208.
61. Hon, K.K.B. Selective laser sintering of sic polyamide composites K.K.B. Hon, T.J.Gill. CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2003. V. 52. № 1. C. 173–176. 112
62. Hopkinson, N. Quantifying the degree of particle melt in selective laser sintering. N.Hopkinson, C.E.Majewski, H.Zarringhalam. CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2009. V. 58. № 1. C. 197–200.
63. Yan, C.Z. Preparation and selective laser sintering of nylon–12–coated aluminum powders. C.Z.Yan, Y.S.Shi, J.S.Yang, L.Xu. Journal of Composite Materials. 2009. V. 43. № 17. C. 1835–1851.

64. Gu, D. Selective laser melting additive manufacturing of tibase nanocomposites: The role of nanopowder. D. Gu, H. Wang, G. Zhang. Metallurgical and Materials Transactions A. 2014. V. 1. C. 23.

65. № 1. – P. 464–476. 45. Agarwala, M. Direct selective laser sintering of metals. M.Agarwala, D.Bourell, J.Beaman, H.Marcus, J.Barlow. Rapid Prototyping Journal. 1995. V. 1. № 1. P. 26–36

67. Lasersintering URL: <https://www.additively.com/en/learnabout/laser-sintering> (дата звернення: 3.11.2020).

68. Different Types of Additive Manufacturing. URL:<https://www.linkedin.com/pulse/different-types-additive-manufacturing-noahfram-schwartz> (дата звернення: 09.12.2020).

69. Oksman, K. Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. K.Oksman, M.Skrifvars, J.Selin. Composites Science and Technology. – 2003. – V. 63. – № 9. – P. 1317–1324.

70. Dawoud, M. Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques . M.Dawoud, I.Taha, S.J.Ebeid . Journal of Manufacturing Processes. – 2016. – V. 21. – P. 39–45.

71. Cantrell, J. Experimental Characterization of the Mechanical Properties of 3D Printed ABS and Polycarbonate Parts . J.Cantrell, S.Rohde, D.Damiani, R.Gurnani, L.DiSandro, J.Anton, A.Young, A.Jerez, D.Steinbach, C.Kroese, P.G.Ifju // Rapid Prototyping Journal. – 2017. – V.– № 4. – P. 811–824.

72. RepRapWikiNylon. URL: <http://reprap.org/wiki/Nylon> (дата звернення: 6.11.2020).

73. Markforged . URL: <https://markforged.com/> (дата звернення: 6.11.2020).

74. Обзор высокотемпературных FDM пластиков для промышленной 3D-печати. URL: <http://top3dshop.ru/blog/obzor-vysokotemperaturnyh-fdmplastikov-dlja-promyshlennoj-3d-pechati/>(дата звернення: 6.11.2020).

75. Инженерные расчеты прочности деталей, изготовленных на 3D-принтере. URL: <https://multiphysics.ru/stati/blog/inzhenernye-raschety->

prochnosti-detalei-izgotovlennykh-na-3d-printere.htm . (дата звернения: 5.11.2020).

76. Проблемы качества 3D-печати. URL:<https://3dpt.ru/page/faq>. (дата звернения: 5.11.2020).

77. Воинов А. А. Конструкторско-технологическое повышение долговечности сферических подшипников скольжения сухого трения: автореф. дис. на соискание учён. степен канд. техн. наук: 05.02.08 «Технология машиностроения». Пенза. 2007 год. С 12.

78. Рыбакова Л. М. Оценка степени микроразрушений – деструкции тонких металлических пленок. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион*. 2001. С. 121–122.

79. Карзов., Г. П.Б. З. Марголин. В. А. Швецова Деформационно-силовой критерий хрупкого разрушения . СПб. 1993. С. 102–121.

80. В. Р. Регель, А. И. Слуцкер. Структурно-динамическая гетерогенность – основа физики разрушения твердых тел. Соросовский образовательный журнал. Том 8. №1. 2004. С. 86–92.

81. Г. Максимович, В. Ф. Шатинский, В. И. Копылов. Г.Р. Физико-химические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями. Киев : Наукова думка, 1983. 263 с.

82. Моделирование изнашивания деталей и оборудования . Абразивный износ. URL: <https://rocky-dem.ru/posts/Articles/modelirovanie-iznashivaniya-detalej-i-oborudovaniya-abrazivnyj-iznos/> (дата звернения: 15.11.2020).

83. Основные представления о контактировании и трении соприкасающихся поверхностей. URL: <https://en.ppt-online.org/380072> (дата звернения: 15.11.2020).

84. Параметры износа полимерных материалов. URL: <https://studfile.net/preview/2455449/page:4/> (дата звернения: 18.11.2020).

85. Комплект ремонтный для механизма кпп audi a8 4d2. URL:https://izap24.kz/tovar/11139908_komplekt-remontnyi-dlya-mehanizma-kpp-audi-a8-4d2.html (дата звернения: 18.11.2020).

86.Полиамид 6 (ПА 6). URL: <https://anid.ru/poliamid/6> (дата звернення: 18.11.2020).

87. Яригін В. А., С.П. Вислоух. Аналіз параметрів, що впливають на якість 3d друку. Materials of the 20th International Scientific and Technical Seminar “Modern questions of production and repair in industry and in transport”. Kosice, Tbilisi, Georgia. March 23–29. 2020. С. 180–183.

88. Е. Я Чонка, В.С. Антонюк Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3d-принтері. Збірник праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 10–11 грудня 2019 К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. 2019. – С. 197–200.

89. Печать нейлоном. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/cvetmir3d/print-nylon/> (дата звернення: 20.11.2020).

90. Сталь марки 40X. URL: http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/40X (дата звернення: 20.11.2020).

91. А. В. Балашов, М. И. Маркова. Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью. *Инженерный вестник Дона, №1*. 2019 С.6

92. Разрывная машина ИР 5047–50. URL: http://ukrsk.com.ua/razr_mash_ir5047-50.html (дата звернення: 23.11.2020)

93. ИР 5047–50. URL: <https://tochpribor-nw.ru/production/bursting/elektromekhanicheskie/ir5047/> (дата звернення: 23.11.2020)

94. Кубич В. И. Экспериментальное обеспечение испытаний трибосопряжения "шейка-вкладыш". Проблемы трения та зношування. 2012. Вип. 58. С. 49-57.

95. Харченко, Р. Р. Дема, С. П. Нефедьев, О. А. Осипова. Универсальный испытательный комплекс по определению триботехнических характеристик смазочных материалов на базе серийной машины трения

СМЦ–2.М.В. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск.

96. Санников А. А. Исаков. С. Н. Лабораторные работы по трибологии и триботехнике Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направлений 15.03.02, 23.03.02, 19.01.09. ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» . Кафедра Теоретической механики и оборудования целлюлозно–бумажных производств. Екатеринбург 2015. стр 12.

97. Ender 3 Pro. URL:: <https://3dtoday.ru/3d-printers/creality-3d/ender-3-pro> . (дата звернения: 26.11.2020)

98. Обзор 3D–принтера CREALITY Ender 3 Pro. URL::<https://top3dshop.ru/blog/3d-printer-creality-ender-3-pro-review.html> (дата звернения: 26.11.2020)

99. Balachov A.V., Cherdancev A. O., Novikovskiy E.A., Ananen S.V., Beloplotov S.V. Polzunovskij vestnik. 2016. № 2. С. 61–64.

100. Kolesnikov A.A. Technique and technology: new prospects of development. 2014. № XII. С. 77–79.

101. Gajdoš I., Slota J. Tehnicki Vjesnik. 2013. №20 (2). С. 231–236.

102. Обеспечение износостойкости изделий метод ускоренной оценки износостойкости материалов трущихся сопряжений. Рекомендации. Р50–54–62–88. Москва. 1988.

103. Исследование трения и износа при ремонте машин и оборудования. URL:<https://pandia.ru/text/77/477/36568-2.php> (дата звернения: 26.11.2020)

104. Б. П. Сафонов, А. Я. Лысюк, Л. В. Лукиенко. Лабораторные работы по курсу «Основы трения и изнашивания элементов трибомеханических систем оборудования». Новомосковский институт российского химико–технологического университета им. Д.И.Менделеева. Новомосковск. 2000. 8 с.

105. Опорная втулка рычага кулисы Ланос – TF69Y0–1703049. URL: <https://zapchastizaz.com.ua/zapchasti-landos-sens/6547-opornaya-vtulka-rychaga-kulisy-landos-tf69y0-1703049> (дата звернення: 26.11.2020)

106. Втулка кулисы КПП DAEWOO LANOS (к-т 4 шт.) п/э уп. URL: <https://www.avtoriya.com.ua/product/vtulka-kulisy-kpp-daewoo-landos-k-t-4-sht-p-e-up/> (дата звернення: 26.11.2020)

107.	Nylon	натуральный.	URL:
------	-------	--------------	------

<https://monofilament.com.ua/products/inzhinernye-plastiki/nylon/nylon-naturalnyj>
(дата звернення: 28.11.2020)

108. Методичні вказівки до економічного розділу магістерської роботи для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» освітньою програмою «Колісні та гусеничні транспортні засоби» всіх форм навчання / Укл. : О. Є. Борисенко. Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. 25 с.

109. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) та Переліку робіт з підвищеною небезпекою : наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 р. № 15. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text> (дата звернення: 30.11.2020).

110. Про затвердження Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям (НПАОП 0.00-7.15- 18) та на заміну (НПАОП 0.00-1.28-10) чинний від 2018-05-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. (дата звернення: 30.11.2020).

111. Про затвердження Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, URL : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний від 1999-12- 01. – К. : МОЗ України, 1999. <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. (дата звернення: 30.11.2020)

112. Про затвердження Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-> (дата звернення: 30.11.2020)

Про затвердження Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445> (дата звернення: 30.11.2020)

113. Вогнегасник вуглекислотний ВВК–5 (ОУ–7). URL: <https://pojsnab.com.ua/ukr/vognegasniki/vognegasniki-vuglekislotni/vognegasnik-vuglekislotniy-vvk5-%28ou7%29.html> (дата звернення: 30.11.2020)

114. Про затвердження Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення : ДБН В.2.2-28:2010. – На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 31 с. (дата звернення: 30.11.2020)

115. Про затвердження Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001- 14.) – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. (дата звернення: 23.11.2020)

116. Про затвердження Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016 / Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с. (дата звернення: 30.11.2020)

117. Про затвердження Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : ДСТУ

Б В.1.1-36:2016. – На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. – (дата звернення: 30.11.2020)

118. Про затвердження Системи протипожежного захисту : ДБН В.2.5-56:2014. – На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. – (дата звернення: 30.11.2020)

119. Про затвердження Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників – На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018- 02-23. – К. : МВС України, 2018. 23 с. – (дата звернення: 23.11.2020)

120. Лазуткін М. І. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проєктах) зі спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою (спеціалізацією) – «Колісні та гусеничні транспортні засоби» для усіх форм навчання. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 34 с.

121. Лазуткін М. І., Журавель М. О. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та форми навчання. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2018. 44 с.

122. Про затвердження Природне і штучне освітлення. : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133с. – (дата звернення: 3.12.2020)