

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

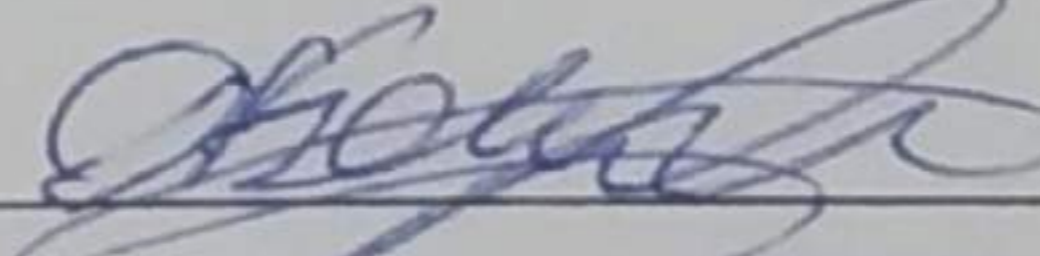
на тему:

«Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» місто Вінниця»

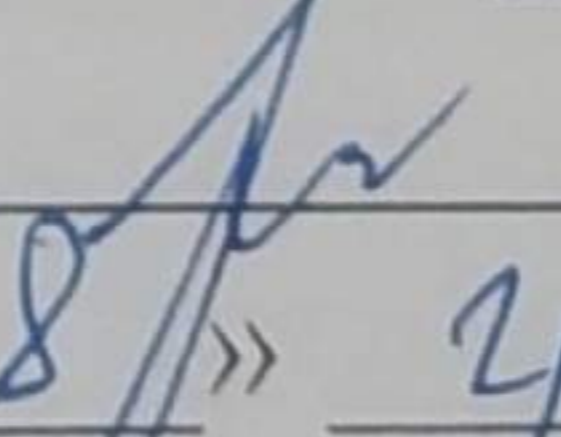
Виконав: студент 2-го курсу, групи 1АТ-22м
спеціальності 274 – Автомобільний
транспорт

 Наумов В.Г.

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. АТМ

 Борисюк Д.В.
« 5 » грудня 2023 р.

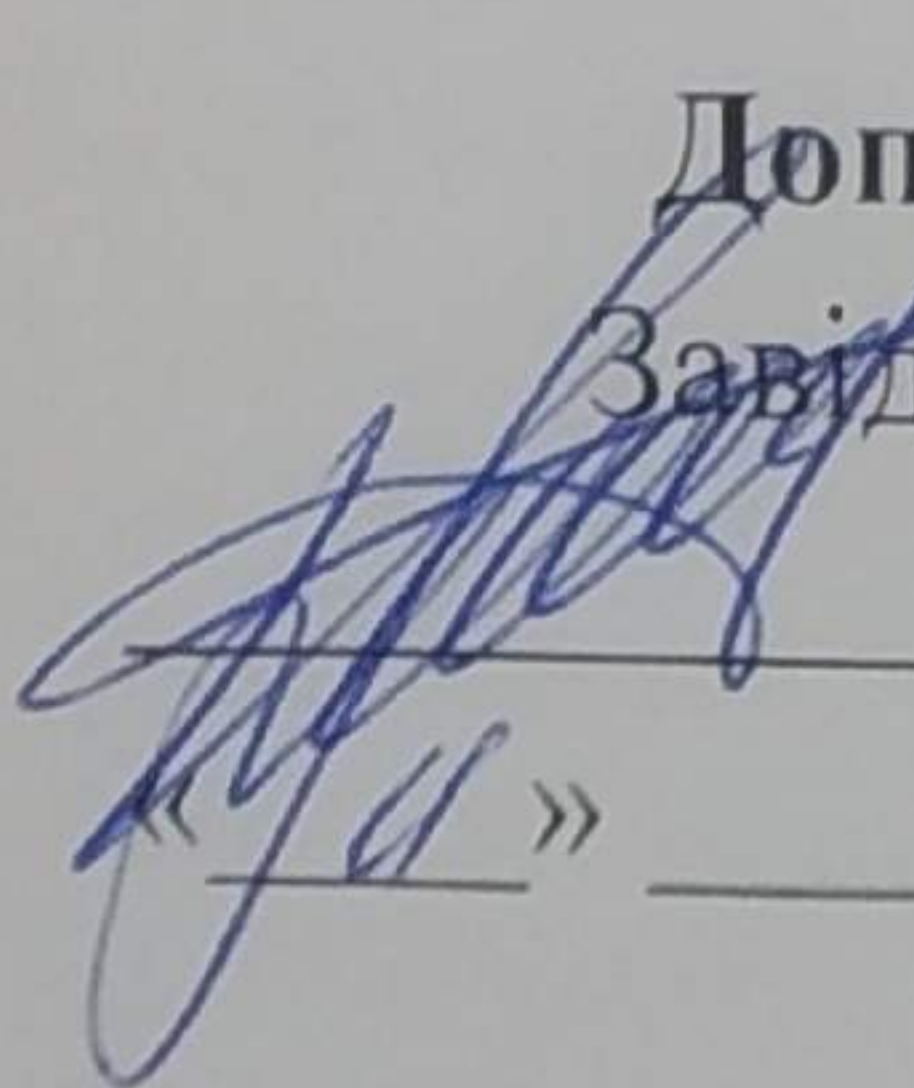
Опонент: к.т.н., доц. кафедри АТМ

 Седухін С.І.
« 8 » грудня 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

к.т.н., доц. Цимбал С.В.

 « 11 » грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

2023/12/20 15:20

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

« 09 » 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Наумову Валерію Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» місто Вінниця
керівник роботи Борисюк Дмитро Вікторович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «18» вересня 2023 року № 247.

2. Строк подання студентом роботи: 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист»; об'єкт дослідження – процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Зміст текстової частини:

1 Дослідження процесу ремонту полімерних деталей транспортних засобів товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист»

2 Адитивні технології

3 Теоретичні основи розрахунку міцнісних характеристик виробу на основі параметрів 3D-друку

4 Ефективність технологічного процесу ремонту пластмасових деталей транспортних засобів з використанням методів 3D-друку

5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

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

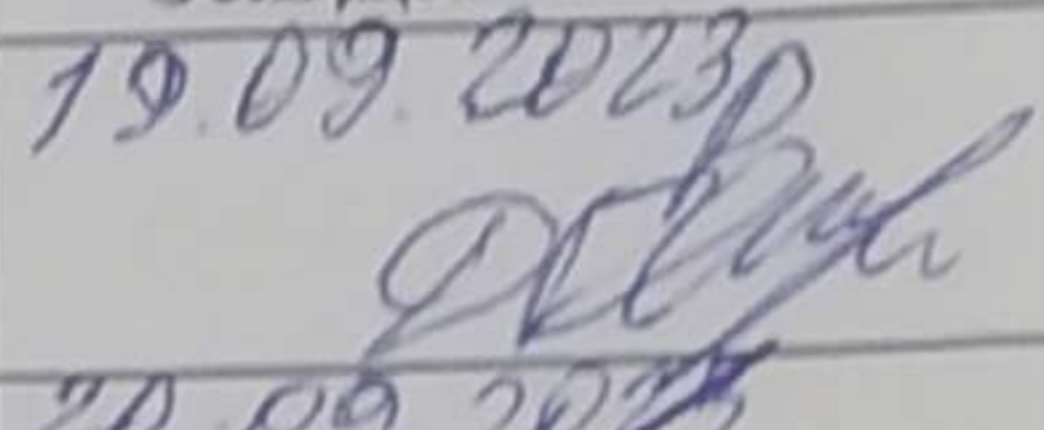
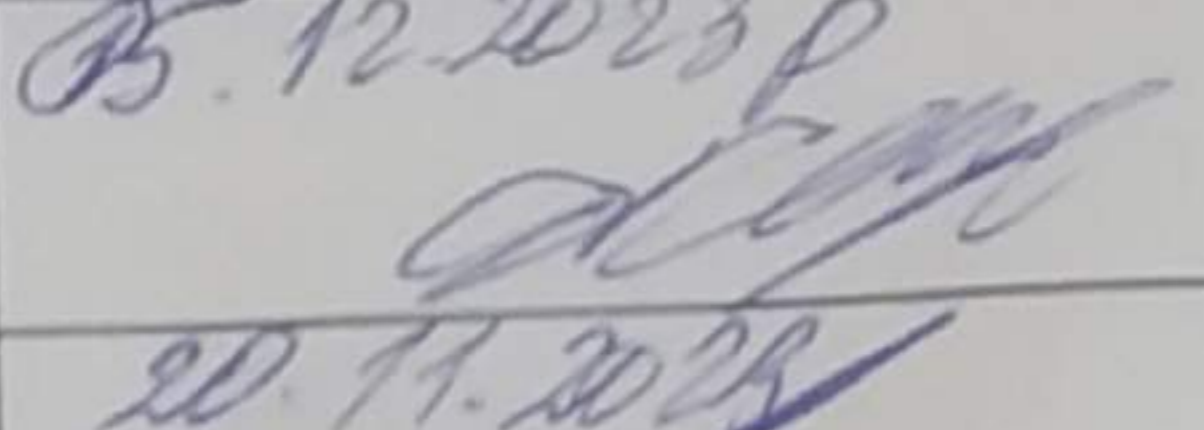
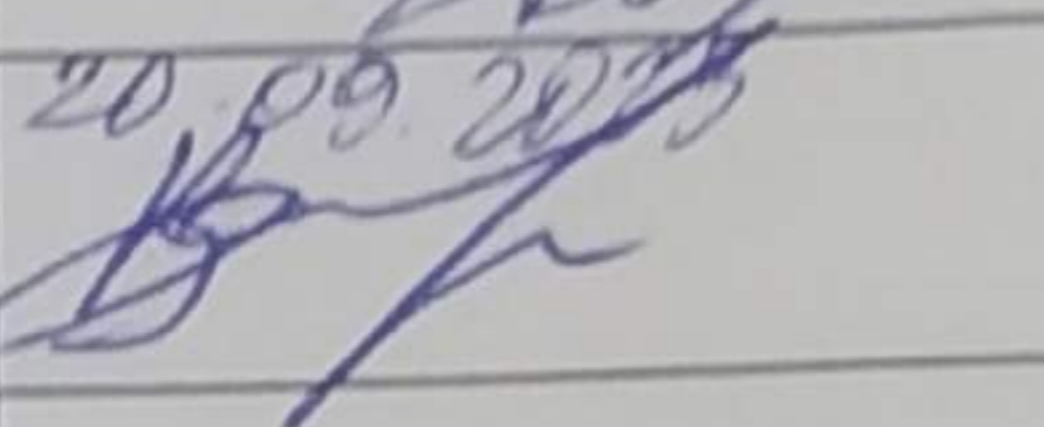
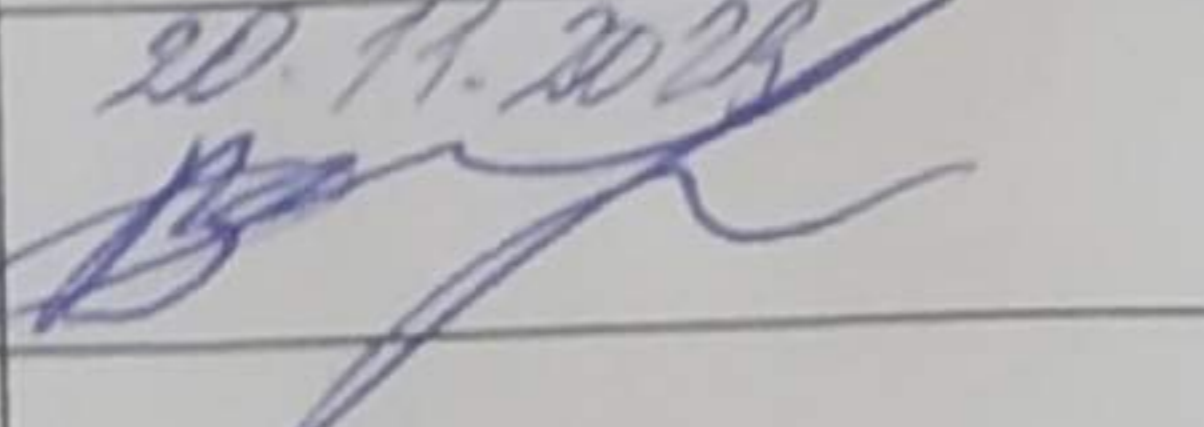
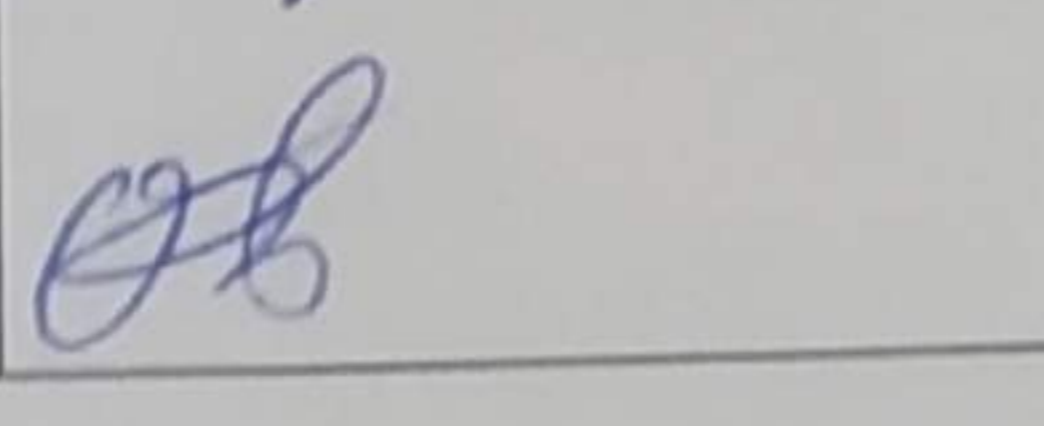
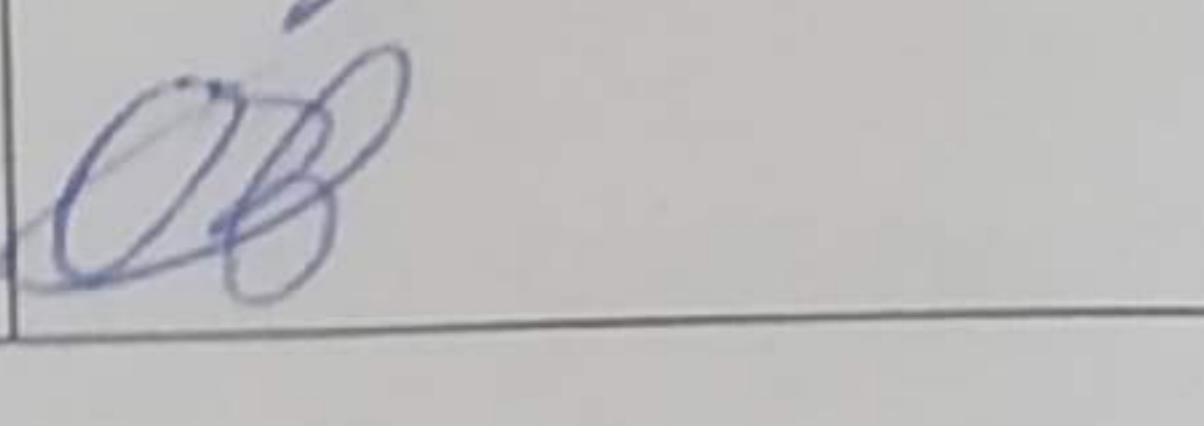
1-2 Тема, мета та новизна дослідження.

3 Характеристика та діяльність ТОВ «Поділляагрозахист»

2023/12/20 15:20

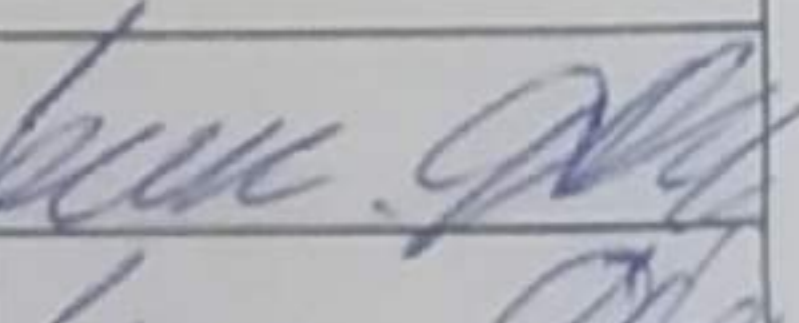
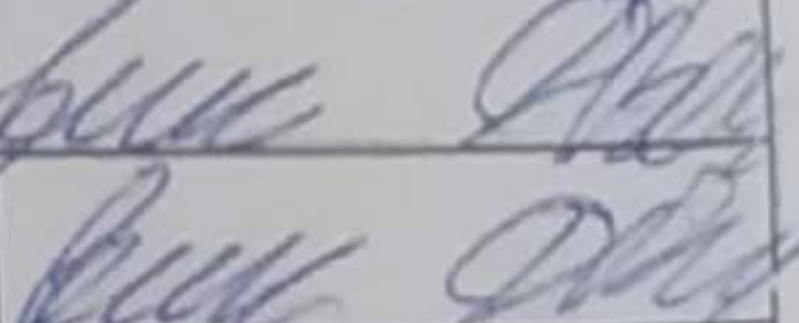
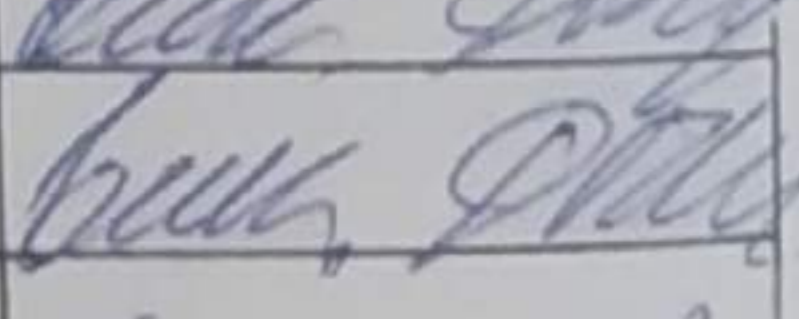
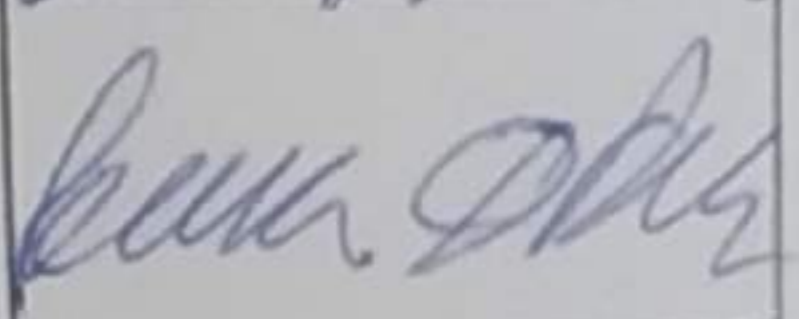
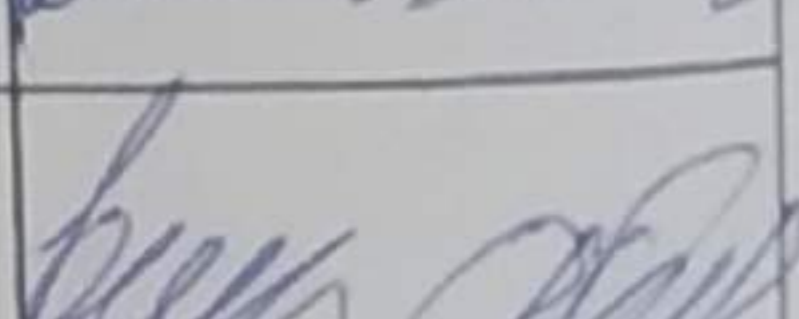
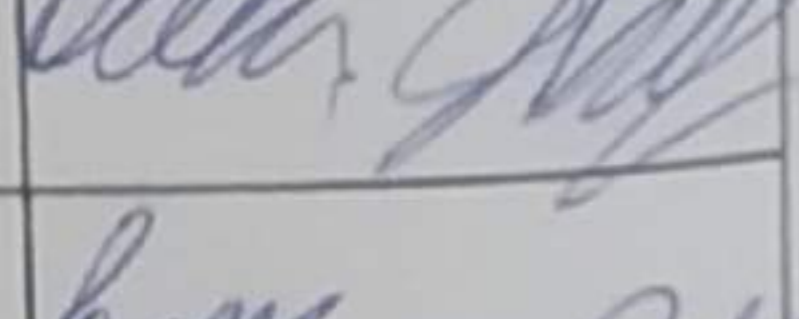
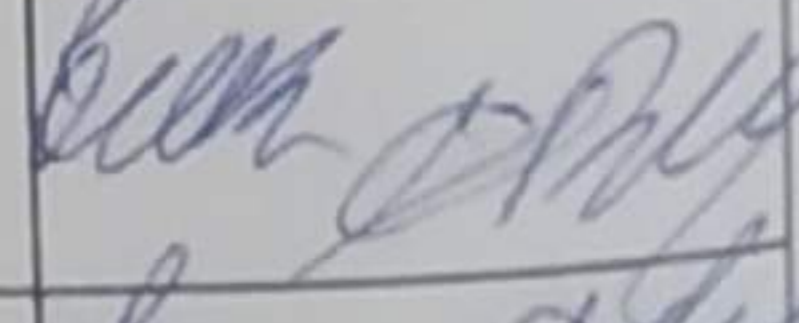
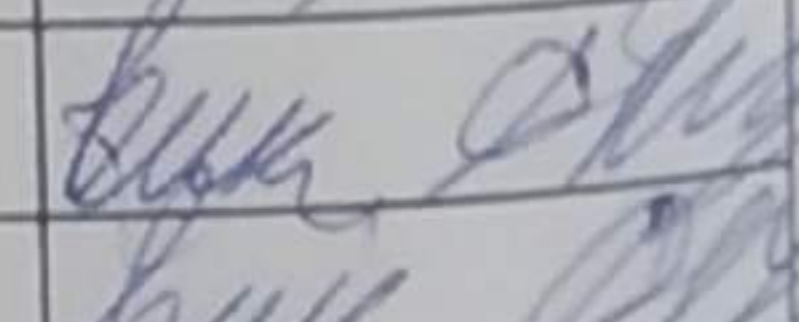
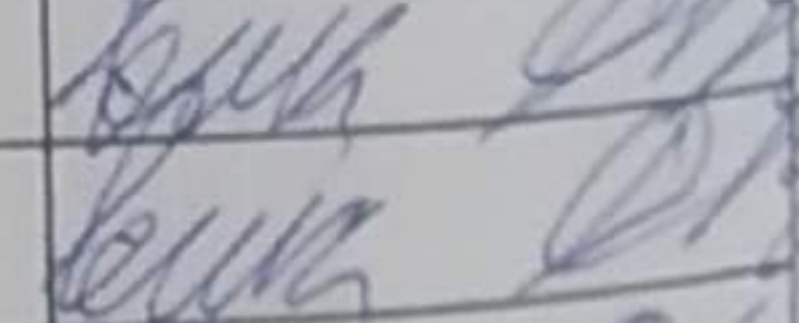
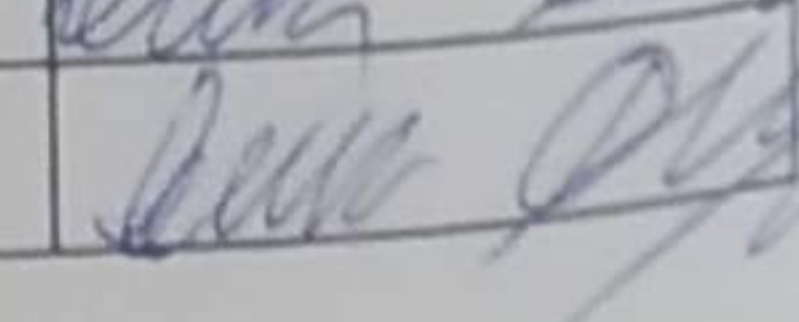

- 4 Матеріали, що використовуються у машинобудуванні
 5 Класифікація способів зварювання термопластичних матеріалів
 6 Використання адитивних технологій у різних галузях промисловості
 7 Основні види адитивних технологій, що застосовуються під час виготовлення та ремонту деталей машин
 8 Порівняльний аналіз функціональних можливостей програм-слайсерів
 9-10 Математичний опис коефіцієнтів параметрів 3D-друку, що впливають на характеристики міцності виробу
 11 Дослідження в'язкопружних характеристик матеріалів
 12 Результати випробувань зразків на ударну в'язкість
 13 Блок-схема технологічного процесу ремонту пластмасових деталей машин із застосуванням адитивних технологій
 14 Залежність вартості моделей виробу від кількості зразків, виготовлених за традиційними технологіями та адитивними технологіями
 15-16 Висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Борисюк Д.В., ст. викладач кафедри АТМ	19.09.2023р 	05.12.2023р 
Визначення ефективності запропонованих рішень	Огневий В.О., доцент кафедри АТМ	20.09.2023р 	20.11.2023р 
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В., професор кафедри БЖДПБ		

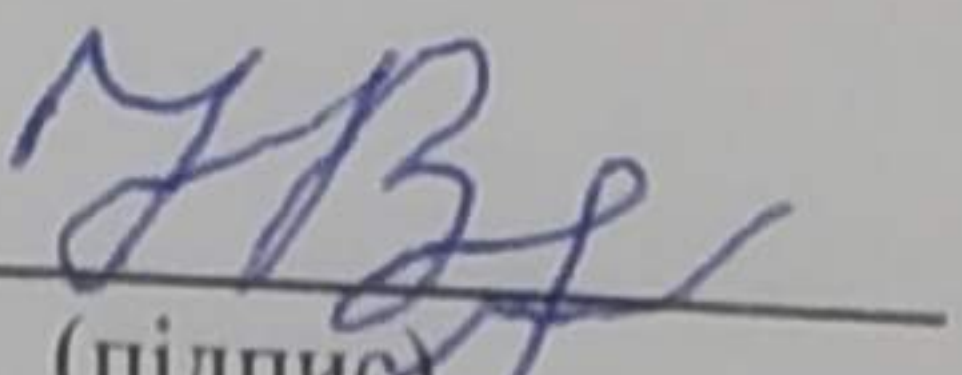
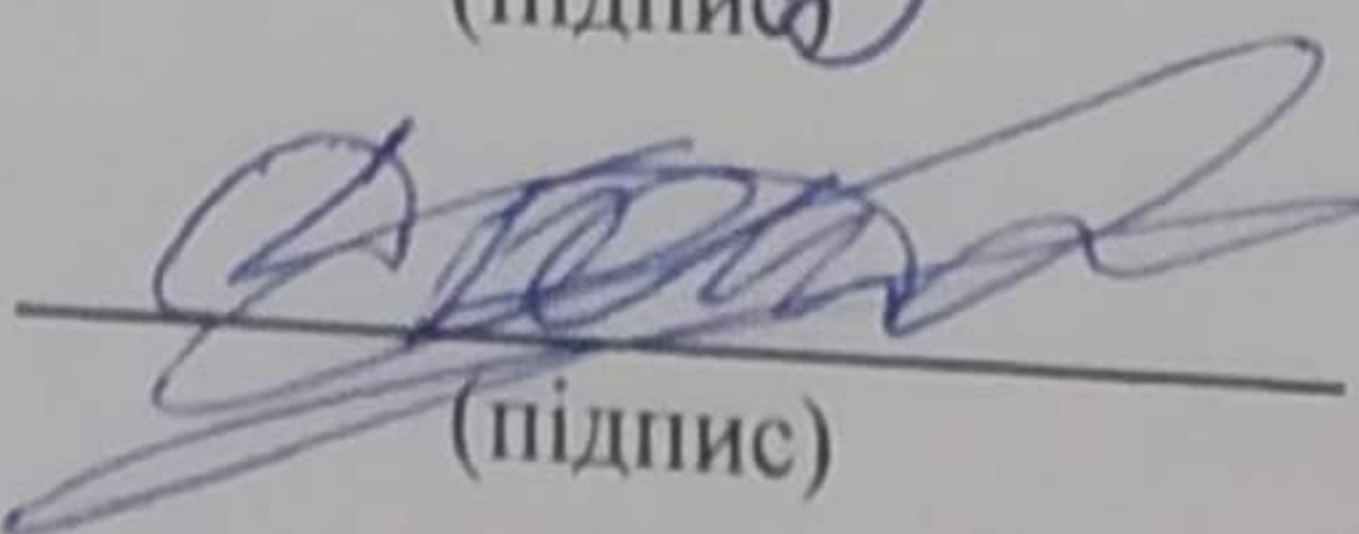
7. Дата видачі завдання « 19 » вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	19.09-02.10.2023	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	19.09-02.10.2023	
3	Обґрунтування методів досліджень	19.09-02.10.2023	
4	Розв'язання поставлених задач	03.10-20.11.2023	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	21.11-29.11.2023	
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	07.11-27.11.2023	
7	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	07.11-27.11.2023	
8	Нормоконтроль МКР	30.11-04.12.2023	
9	Попередній захист МКР	05.12-07.12.2023	
10	Рецензування МКР	08.12-11.12.2023	
11	Захист МКР	12.12-22.12.2023	

Студент

Керівник роботи


(підпис)
(підпис)

Наумов В.Г.

Борисюк Д.В.

2023/12/20 15:20

АНОТАЦІЯ

УДК 629.1.01

Наумов В.Г. Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2023. 173 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 44 назви; рис.: 96; табл.: 38.

В магістерській кваліфікаційній роботі пророблено питання вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів.

У розділі 1 представлено загальну характеристику товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист». Охарактеризовано стан питання в області ремонту полімерних деталей транспортних засобів. У розділі 2 представлено загальну характеристику та класифікацію адитивних технологій. Представлено огляд обладнання для виконання операцій 3D-друку. Розділ 3 присвячений теоретичним розрахункам на міцність виробів виготовлених 3D-друком. У розділі 4 представлено технологічний процес ремонту пластмасових деталей транспортних засобів методом 3D-друку та його ефективність. В розділі охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях розроблено технічні рішення щодо техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

Графічна частина складається з 17 слайдів.

Ключові слова: транспортні засоби, адитивні технології, полімерні матеріали, ремонт, деталь, теоретичні розрахунки, міцність, 3D-друк.

ABSTRACT

UDC 629.1.01

Naumov V.G. Improvement of the repair process of parts made of polymer materials for vehicles on the basis of the limited liability company "Podilliaagrozhist" city of Vinnytsia. Master's thesis on the specialty 274 - Motor transport, educational program - Motor transport. Vinnytsia: VNTU, 2023. 173 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 44 titles; Fig.: 96; table: 38.

The issue of improving the process of repairing parts made of polymer materials for vehicles is discussed in the master's qualification thesis.

Chapter 1 presents the general characteristics of the limited liability company "Podilliaagrozhist". The state of the issue in the field of repair of polymer parts of vehicles is characterized. Chapter 2 presents the general characteristics and classification of additive technologies. An overview of equipment for performing 3D printing operations is presented. Chapter 3 is devoted to theoretical calculations of the strength of products made by 3D printing. Chapter 4 presents the technological process of repairing plastic parts of vehicles using the 3D printing method and its effectiveness. The occupational health and safety section in emergency situations has developed technical solutions for safety, industrial sanitation and fire safety. The graphic part consists of 17 slides.

Keywords: vehicles, additive technologies, polymer materials, repair, detail, theoretical calculations, strength, 3D printing.

Зміст

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ПОДІЛЛЯАГРОЗАХИСТ»	13
1.1. Характеристика та діяльність ТОВ «Поділляагрозахист»	13
1.2. Рухомий склад ТОВ «Поділляагрозахист»	16
1.3. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей машин	17
1.4. Аналіз дефектів пластмасових деталей транспортних засобів ТОВ «Поділляагрозахист» та причин їх виникнення	19
1.5. Аналіз традиційних методів ремонту пластмасових деталей машин	23
1.6. Аналіз застосування методів 3D-друку в машинобудуванні та суміжних галузях	34
1.7. Вивчення властивостей матеріалів для ремонту пластмасових деталей транспортних засобів на базі ТОВ «Поділляагрозахист»	36
1.8. Огляд програм, які застосовуються для 3D-друку	38
1.9. Висновки та задачі дослідження	42
РОЗДІЛ 2. АДДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ	43
2.1. Адитивні технології: питання, термінології	43
2.2. Загальна схема реалізації адитивних технологій	44
2.3. Класифікація адитивних технологій	45
2.4. Загальна характеристика різних видів адитивних технологій	48
2.4.1. Fused Deposition Modeling	49
2.4.2. Multiphase Jet Solidification	51
2.4.3. Direct Ink Writing	52
2.4.4. Inkjet Printing	54
2.4.5. Three Dimensional Printing	55
2.4.6. Laminated Object Manufacturing	56

2.4.7. Ultrasonic Additive Manufacturing	58
2.4.8. Stack-cut-bond-Sheet Lamination	58
2.4.9. Cut-stack-bond-Sheet Lamination	60
2.4.10. Stereolithography Apparatus	62
2.4.11. Digital Light Processing	63
2.4.12. Mask Projection Stereolithography	65
2.4.13. Selective Laser Sintering	66
2.4.14. Selective Laser Melting	67
2.4.15. Electron Beam Melting	70
2.4.16. Direct Laser Metal Deposition	71
2.5. Порівняльна оцінка адитивних та традиційних технологій	72
2.6. Порівняльна оцінка різних видів адитивних технологій	75
2.7. Гібридні адитивні технології	76
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИРОБУ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ 3D-ДРУКУ	78
3.1. Математичний опис коефіцієнтів параметрів 3D-друку, що впливають на характеристики міцності виробу	78
3.2. Алгоритми роботи програми підбору режимів 3D-друку	83
3.3. Моделювання розрахунку параметрів 3D-друку на прикладі ABS філаменту	87
РОЗДІЛ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D-ДРУКУ	91
4.1. Розробка програми автоматизованого вибору компонентів для ремонту пластмасових деталей машин із використанням методів 3D-друку	91
4.2. Технологічний процес створення сировини для ремонту пластмасових деталей машин із використанням методів 3D-друку	98
4.3. Технологія ремонту пластмасових деталей машин	102

4.4. Оцінка техніко-економічної ефективності технологічного процесу ремонту полімерних деталей дорожніх машин з використанням методів 3D-друку	106
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	114
5.1. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	115
5.1.1. Мікроклімат та склад повітря робочої зони	115
5.1.2. Виробниче освітлення	116
5.1.3. Виробничі віброакустичні коливання	118
5.1.4. Виробничі випромінювання	119
5.2. Технічні рішення з безпеки при проведенні вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист»	119
5.2.1. Безпека щодо організації робочих місць	119
5.2.2. Електробезпека	120
5.3. Безпека у надзвичайних ситуаціях	120
ВИСНОВКИ	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	125
Додаток А (обов'язковий). ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ РЕМОНТІ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	129
Додаток Б (обов'язковий). СПОСОБИ СТВОРЕННЯ ОТВОРІВ ТА РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ У ДЕТАЛЯХ МАШИН, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДАМИ 3D-ДРУКУ	147
Додаток В (обов'язковий). ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	154
Додаток Г (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	172

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасних транспортних, комунальних та с.г. машинах наявні деталі, що вироблені із полімерних матеріалів. Вони застосовуються для деталей інтер'єру та екстер'єру, захисних кожухів, елементів різних систем техніки та різноманітних дрібногабаритних деталей. Призначення даних деталей може бути різним, але найчастіше їх можна розділити на дві категорії: декоративні та функціональні. Наприклад, облицювальні панелі бамперів слугують для створення естетичного образу машини та являються частиною системи пасивної безпеки автомобіля. Пластмаси мають ряд переваг перед іншими матеріалами, що робить їх незамінними – це полегшення кузова автомобіля, зниження рівня шуму, збільшення терміну служби виробів, зменшення трудомісткості виготовлення, особливі фізико-механічні властивості. Всі ці переваги роблять пластмаси одним з найпопулярніших матеріалів у автомобілебудуванні.

Виготовлення деталей автомобілів здійснюється з пластмас на основі термопластичних та термореактивних сполучень. У цій роботі будуть розглянуті деталі автомобілів, які вироблені з термопластичних матеріалів. Відносна стабільність розміру та невелика усадка є важливою перевагою пластмас, яка дозволяє використовувати їх для виготовлення деталей автомобілів з високою точністю. Невисока жорсткість та обмежена атмосферостійкість є основними недоліками пластмас.

Найпоширенішим пластиком в машинобудуванні є акрилонітрилбутадієн-стирол (ABS). Він використовується при виробництві вентиляційних ґрат, корпусних деталей панелі приладів, облицювання радіатора.

При експлуатації автомобілів пластмасові деталі можуть пошкоджуватися. Дефекти пластмаси можуть виникати внаслідок різних причин, як природних, так і штучних. Особливо «страждають» зовнішні деталі автомобіля.

Відновлення справності автомобілів, що мають пошкодження пластмасових деталей, в даний час виконується шляхом заміни деталей на нові, склеюванням або зварюванням гарячим повітрям.

Одним із найпоширеніших способів ремонту пластмасових деталей

автомобілів є заміна деталі. Даний спосіб супроводжується втратою часу на виготовлення (за необхідності), замовлення нової деталі та транспортування до місця виконання ремонтних робіт.

Ремонт дефектної деталі має ряд переваг перед заміною деталі на нову. Це скорочення часу простою техніки, зменшення витрат порівняно з купівлею нової деталі. У більшості випадків якість відремонтованої деталі не знижується.

Достатньо вивченими методами ремонту пластмасових деталей автомобілів є склеювання і зварювання. Дані методи мають ряд недоліків, які полягають у значному термічному та хімічному впливі. Для цих методів характерна висока трудомісткість та необхідність демонтажу деталі з машини під час ремонту.

Одним з дефектів пластмасових деталей, що найчастіше виявляються, є пошкодження кріпильних елементів конструкції виробу. З'єднання зламаного елемента з деталлю, що ремонтується, є неможливим тоді, коли його втрачено або він має значні пошкодження. У такому випадку застосування традиційних методів ремонту неможливе.

Аддитивні технології (АТ) на сьогодні є одними з перспективних методів, які застосовуються при виготовленні деталей машин. Вони дозволяють отримувати вироби з термопластичних матеріалів із різною конфігурацією просторової геометрії.

Урядом України 14 липня 2021 року затверджено стратегію розвитку адитивних технологій в Україні періодом до 2030 року. Вона визначає основні напрями розвитку адитивних технологій та переслідує ряд цілей, у тому числі щодо оптимізації виробничих потужностей та створення нових технологічних напрямків та технологій.

АТ широко застосовуються в різних галузях промисловості, але в ремонтному виробництві нині вони не набули широкого поширення. У зв'язку з цим питання розробки та вдосконалення технології ремонту пластмасових деталей автомобілів з використанням методу 3D-друку є актуальним.

На сьогодні застосування 3D-друку під час ремонту деталей автомобілів мало вивчені. Таким чином, робота спрямована на розробку методів ремонту

пластмасових деталей автомобілів (на прикладі кріпильних елементів) з використанням методів 3D-друку є актуальною.

Мета роботи - підвищення надійності пластмасових деталей автомобілів шляхом використання під час ремонту методів 3D-друку.

Основні завдання дослідження, згідно з метою, полягали в наступному:

1. Розробити теоретичні основи розрахунку характеристик міцності пластмасових деталей автомобілів, відновлених з використанням методів 3D-друку.

2. Дослідити вплив технологічних факторів на міцнісні та в'язко-пружні характеристики пластмасових деталей автомобілів, відновлених з використанням методів 3D-друку.

3. Дослідити вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики пластмасових деталей автомобілів, відновлених із використанням методів 3D-друку.

4. Розробити технологію ремонту пластмасових деталей автомобілів за використанням методів 3D-друку.

5. Провести оцінку техніко-економічної ефективності розроблених методів ремонту пластмасових деталей автомобілів, відновлених за допомогою методів 3D-друку.

Об'єктом дослідження є деталі машин, що виготовлені з ABS-пластику.

Предметом дослідження є спосіб та технологія ремонту пластмасових деталей машин, виготовлених з ABS-пластику, з використанням методів 3D-друку.

Методологія та методи дослідження оцінки якості пропонованих нових технічних рішень включають експериментальні методи визначення міцності та регресійний аналіз залежності міцнісних характеристик пластмасових деталей автомобілів, виготовлених з використанням методів 3D-друку, від параметрів 3D-друку, а також проведення їх лабораторних і експлуатаційних випробувань.

Пропоновані методи та підходи базуються на основних положеннях теорії надійності машин, методів планування експерименту, на експериментальному дослідженні деформаційно-міцнісних властивостей та стійкості до впливу агресивних середовищ зразків, виготовлених з використанням методів 3D-друку.

Загальна методика дослідження полягає в аналізі можливих дефектів

пластмасових деталей. автомобілів, виготовлених з ABS-пластику, дослідженні властивостей матеріалу, що використовується при ремонті, обґрунтуванні підбору технологічних режимів для конкретного ремонтного впливу, дослідженні технології з'єднання ремонтних елементів з відновлюваною деталлю при ремонті. та забезпечення методів контролю якості ремонту.

Новизна роботи полягає в теоретичному та експериментальному обґрунтуванні способу ремонту пластмасових деталей машин з використанням методів 3D-друку, а саме:

1. Розробка математичних моделей та алгоритм визначення міцності пластмасових деталей машин в залежності від параметрів 3D-друку.

2. Розробка алгоритму, що дозволяє визначати технологічні режими 3D-друку, з урахуванням технологічних та конструкційних вимог.

3. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між технологічними режимами та властивостями використаних матеріалів, що дозволило розробити технологічні процеси ремонту пластмасових деталей машин з використанням методів 3D-друку.

Апробація результатів. Основні положення роботи доповідалися на XVI-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року у Вінницькому національному технічному університеті (м. Вінниця).

Публікації. Основні положення роботи опубліковані в збірнику наукових праць «Матеріали XVI-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»», 23-25 жовтня 2023 року»: Д.В. Борисюк, В.Г. Наумов. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей автомобілів. *Матеріали XVI-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць, 2023. С. 76-78.*

Структура дипломної роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ПОДІЛЛЯАГРОЗАХИСТ»

1.1. Характеристика та діяльність ТОВ «Поділляагрозахист»

Товариство з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» створено 18.10.2011 року.

Основний вид діяльності підприємства – оптова торгівля насінням та сільськогосподарською продукцією, засобами захисту рослин, мінеральними та органічними добривами. Це означає, що підприємство займається закупівлею та продажем цих товарів оптом. Тобто, підприємство не продає товари безпосередньо споживачам, а лише іншим підприємствам, які займаються торгівлею або виробництвом сільськогосподарської продукції.

ТОВ «Поділляагрозахист» - це компанія, яка спеціалізується на постачанні сільгоспвиробникам України сучасних засобів захисту рослин, якісного насінневого матеріалу і мікродобрив. Компанія є дистрибутором добрив та всіх продуктів ТМ «Добродій».

Стратегія розвитку підприємства, яку ви описали, є досить амбітною і має потенціал для успіху. Вона передбачає започаткування нових видів діяльності та послуг, що дозволить підприємству розширити свою присутність на ринку та підвищити конкурентоспроможність.

Ось деякі переваги цієї стратегії:

- Власне виробництво соєвої олії та жмиху дозволить підприємству контролювати весь процес виробництва, від закупівлі сировини до реалізації готової продукції. Це дасть можливість отримувати більш високу маржу та підвищити рентабельність виробництва.

- Реалізація соєвої олії та жмиху в країни Європи відкриває доступ до нових ринків збуту. Європа є одним із найбільших споживачів соєвої олії та жмиху, тому ця стратегія може принести значні фінансові результати.

- Допомога експорту сільгоспвиробникам дозволить підприємству запропонувати додаткову послугу, яка буде затребувана серед сільгоспвиробників. Це допоможе підприємству розширити свою клієнтську базу та підвищити рівень довіри до нього.

- Послуга агротехнічного супроводу також є затребуваною серед сільгоспвиробників. Це дозволить підприємству запропонувати комплекс послуг, які будуть необхідні сільгоспвиробникам для ефективного ведення господарства.

Збільшення штату працівників ТОВ «Поділляагрозахист» за 2015-2020 роки є свідченням успішного розвитку компанії. За цей період підприємство розширило свою діяльність, збільшило обсяги продажів та вийшло на новий рівень обслуговування клієнтів. ТОВ «Поділляагрозахист» відкривши представництва в таких областях як Київська, Одеська, Кіровоградська, Херсонська, Полтавська, Житомирська, Хмельницька, Львівська, Сумська, Тернопільська та Чернівецька, охопила майже всю територію України для розширення ринків збуту.

Так, ТОВ «Поділляагрозахист» є успішною компанією, яка має широкую мережу партнерів по всій Україні: від фермерських господарств до сільськогосподарських формувань (холдингів).

ТОВ «Поділляагрозахист» реалізує свою продукцію на умовах поставки на склад покупця, або самовивозом із складів компанії.

При поставці на склад покупця, ТОВ «Поділляагрозахист» забезпечує доставку продукції в зазначений термін та місце. Компанія має власний транспорт, що дозволяє оперативно доставляти продукцію в будь-який регіон України.

При самовивозі із складів ТОВ «Поділляагрозахист», покупець самостійно забирає продукцію зі складів компанії. Компанія надає покупцям всю необхідну інформацію про склади, умови самовивозу та контактні дані.

Юридична адреса ТОВ «Поділляагрозахист» - Вінницька область, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 122 (рис. 1.1).

Основні види діяльності ТОВ «Поділляагрозахист»:

- вирощування зернових культур;
- вирощування бобових культур і насіння олійних культур;

- посередництво у торгівлі паливом та хімічними речовинами;
- оптова торгівля зерном та кормами для тварин;
- оптова торгівля сільськогосподарськими машинами;
- вантажні перевезення;
- надання в оренду та експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна;
- надання в оренду сільськогосподарських машин і устаткування.



Рисунок 1.1 – Розташування головного офісу ТОВ «Поділляагрозахист»

ТОВ «Поділляагрозахист» є постачальником якісних нафтопродуктів для сільгоспвиробників у Вінницькій області та інших регіонах України. Компанія пропонує широкий асортимент нафтопродуктів, включаючи дизельне паливо, бензин А-92 та бензин А-95.

ТОВ «Поділляагрозахист» - це компанія, яка спеціалізується на супроводі експортних операцій. Компанія має багаторічний досвід роботи в цій сфері і пропонує своїм клієнтам широкий спектр послуг, включаючи: пошук потенційних покупців в інших країнах, укладання контрактів на експорт, митне оформлення товару, організацію доставки товару.

1.2. Рухомий склад ТОВ «Поділляагрозахист»

Рухомий склад ТОВ «Поділляагрозахист», що розташований у м. Вінниця, представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Рухомий склад ТОВ «Поділляагрозахист»

Назва та марка машини	Кількість машин	Рік випуску машини
<u>Автомобілі:</u>		
Mitsubishi Pajero IV (V80)	6	2019
Mercedes-Benz Sprinter 516	6	2019
КрАЗ-5401С2-500	8	2020
ЗиЛ-5301	5	2014
ЗиЛ-СААЗ-4545	3	2012
Ford Transit 7	7	2020
КаМАЗ-65117	5	2009
КаМАЗ-5460-076-63	4	2015
MAN TGX 18.440 4X2 XLX Intarder Euro 6	6	2016
Mercedes-Benz ACTROS 1845 LS	4	2017
Scania S730 V8	5	2019
<u>Причепи і напівпричепи:</u>		
Причіп «СЗАП-8357-02»	5	2011-14
Напівпричіп «СЗАП-9402»	6	2016
Напівпричіп «Skit 24 P50»	6	2016
Напівпричіп «Тонар-9385»	5	2020
Напівпричіп-цистерна «SF3340»	3	2020
Напівпричіп-самоскид TAD.AGRO 55-3	4	2022
Напівпричіп МАЗ 975830-3021\3022	3	2022

1.3. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей машин

У конструкції сучасних транспортних, комунальних та дорожніх машин крім металів застосовується велика кількість різноманітних полімерів (рис. 1.2). За хімічною природою, використовувані полімерні матеріали, можна розділити на термопластичні та термореактивні. Термопластичні полімерні матеріали (термопласти) є високомолекулярними матеріалами, які розм'якшуються або плавляться при нагріванні. Термореактивні матеріали (реактопласти) вимагають незворотного перетворення низькомолекулярної базової смоли на полімеризовану структуру.

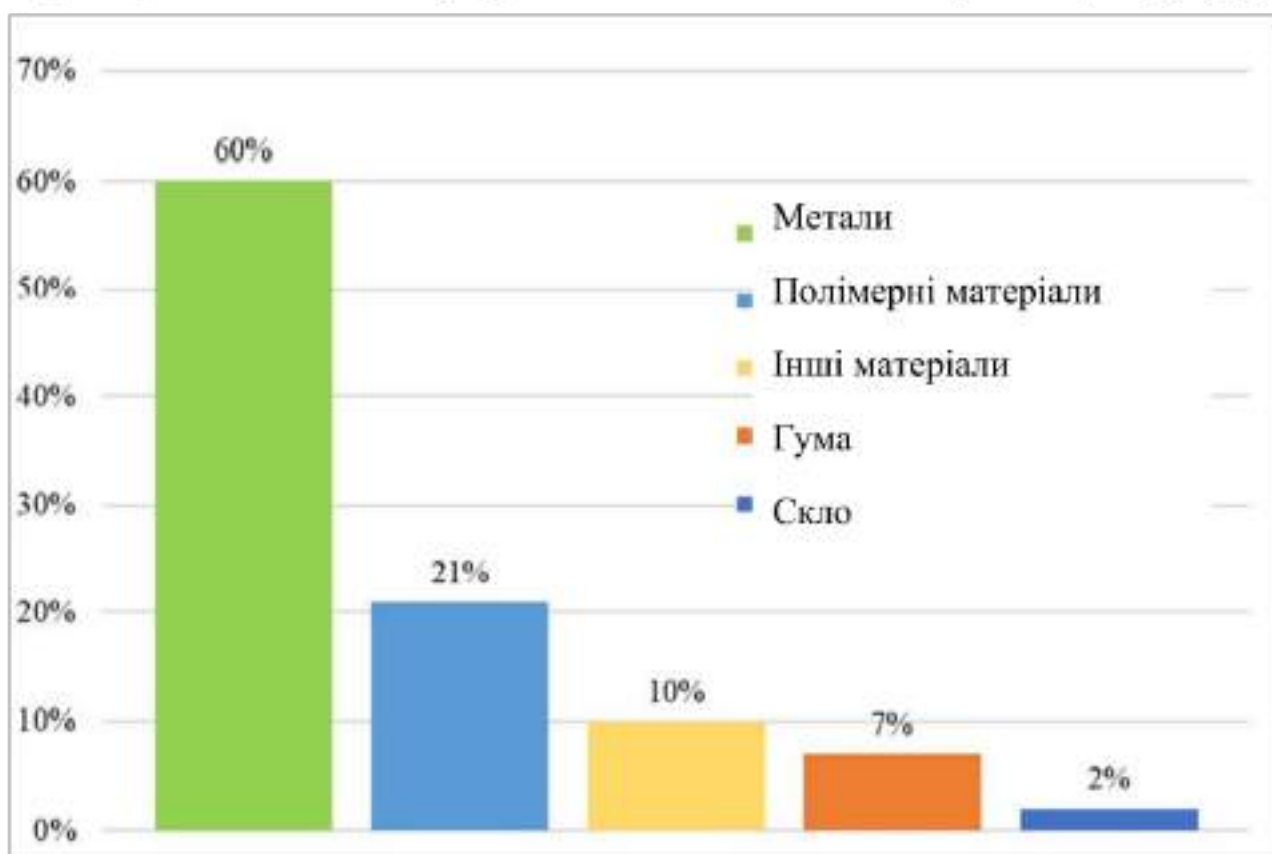


Рисунок 1.2 – Матеріали, що використовуються у машинобудуванні

Термопласти можна розділити на аморфні та кристалічні різновиди. В аморфних формах молекули орієнтовані випадковим чином. Типові аморфні термопласти включають поліфеніленоксид (PPO), полікарбонат (PC) та акрилонітрилбутадієнстирол (ABS). До переваг аморфних термопластів можна віднести:

- відносну стабільність розмірів;
- меншу усадку форми порівняно з кристалічними термопластами;
- можливість застосування як конструкційних пін.

До недоліків можна віднести:

- низьку стійкість до зносу, стирання та динамічних навантажень;
- низьку стійкість до втоми;
- збільшений час обробки порівняно з кристалічними термопластами.

У кристалічних термопластах є області регулярно орієнтованих молекул і розвиток цієї структури залежить від технології обробки, швидкості охолодження і т.д. Прикладами таких термопластів є: нейлон (PA), поліпропілен (PP) та поліетилен (PE). До переваг кристалічних термопластів можна віднести:

- високу розчинність, стійкість до втоми і зносостійкість;
- вищу деформацію, ніж у аморфних марок;
- високі термо властивості, що покращуються шляхом армування волокна.

До недоліків кристалічних термопластів можна віднести:

- потенційно високу та змінну усадку;
- з'єднання, що важко склеюється;
- більш високу повзучість, ніж у аморфних термопластів.

В загальному, застосування пластмас у конструкції машин дозволяє знизити матеріалоемність, підвищити безпеку та надійність виробів, скоротити трудомісткість виготовлення за рахунок високої технологічності виробництва.

У складі автомобілів КАМАЗ застосовується близько 250-380 кг пластмасових деталей залежно від комплектації автомобіля.

Для виготовлення килимів підлоги, термо-шумоізоляції підлоги та оббивок використовується формований пінополіуретан (ФППУ). Поручні, рульові колеса та підлокітники виготовляють із інтегрального пінополіуретану. Жорсткий ППУ знайшов застосування у виробництві протисонячних козирків, панелей, кришок люка дверей.

Поліпропілен застосовується при виготовленні повітропроводів та повітрозабірників, а також в інтер'єрі панелей дверей, різного облицювання, панелей

приладів.

Полієфірний склопластик, полідициклопентадієн (ПДЦПД) та листовий компунувальний компаунд (SMC) знайшли застосування в екстер'єрі дорожньо-будівельних машин, а саме при виготовленні крил, сонцезахисних козирків, панелей крила, бамперів, фар, обтічників. Також виготовлення цих деталей застосовується поліамід.

З поліетилену виготовляють задні крила, щитки, бачок склоомивача, пробки та заглушки.

ABS-пластик знайшов застосування у виробництві облицювань, накладок, окантовок, вкладишів знаків, а також корпусів дзеркал.

Поліметилметакрилат застосовується у виготовленні деталей світлотехніки. З термоеластопластів виготовляють ковпачки, прокладки, чохли для електротро обладнання.

Полівінілхлорид застосовується у виробництві трубок, а також у вигляді оздоблювальних плівок.

Найбільший обсяг застосування припадає на такі види пластмас як поліуретан (ПУ) та пінополіуретан (ППУ), поліпропілен (ПП), листовий компоновочний компаунд (SMC).

В даний час на машини встановлюються пластмасові деталі, що фарбуються і не фарбуються. Деталі, що фарбуються, використовуються в основному для елементів екстер'єру, таких як бампери, декоративні накладки. На деталях, що не фарбуються, які встановлюються у видимих зонах, як правило, зовнішня поверхня має візерунок. Прикладами таких деталей можуть бути бампери, корпуси дзеркал, оббивка дверей і боковин, облицювання стійок даху, панель приладів та ін.

1.4. Аналіз дефектів пластмасових деталей транспортних засобів ТОВ «Поділляагрозахист» та причин їх виникнення

Дефекти, що виникають на деталях із пластмас, в основному мають невиробничий характер і виникають внаслідок неналежної експлуатації, у тому

числі недотримання регламенту технічного обслуговування.

Більшість дефектів виникає в процесі експлуатації з причин експлуатаційного характеру, тому конструктивні та виробничі дефекти в даній роботі не розглядаються, оскільки попередженням їх утворення в деталях мають займатися конструкторські та технологічні служби виробників. Відповідно до загальноприйнятої класифікації, розрізняють дефекти, спричинені механічним, тепловим та хімічним впливами.

Тривалий вплив високих температур на пластмасові деталі машин може призвести до утворення таких дефектів, як оплавлення та теплова деформація (рис. 1.3).



а)



б)

Рисунок 1.3 – Теплове оплавлення (а) та деформація (б) пластмасових деталей

Джерелами теплового впливу може бути відкрите полум'я (у разі пожежі), близькість сильно нагрітих елементів конструкції машини (зазвичай елементів системи випуску газів, що відпрацювали), а також порушення технології ремонту деталей. Деформація пластмасових деталей може відбуватися в наслідок нагрівання від електропроводки при протіканні електричного струму, сила якого перевищує номінальне значення.

Під впливом агресивних хімічних середовищ з'являються такі дефекти як загальна деформація деталі чи деформація її локальних ділянок. У пофарбованих пластмасових деталях внаслідок хімічної дії може пошкоджуватися лако-фарбове покриття. На покритті можуть утворюватися відшаровування, тріщини та вогнища

здуття. При тривалій дії розчинника виникає набухання та відшаровування покриття (спушування лако-фарбового покриття), значно знижується твердість покриття. Зовнішній вигляд таких дефектів представлено на рис. 1.4.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Хімічне пошкодження пластмасових деталей: сліди від хімічної речовини (а) і розплавлення матеріалу (б), що не видаляються



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.5 – Механічні дефекти пластмасових деталей: подряпини та потертості (а), тріщини (б), руйнування зі втратою фрагмента (в) та повне руйнування деталі (г)

Дефекти, отримані в результаті механічного впливу, є одними з найпоширеніших. Вони виникають у результаті контактної взаємодії машини з будь-яким зовнішнім об'єктом (нерухомою перешкодою, іншою машиною, що рухається, або іншими об'єктами). Прикладами такого роду пошкоджень є: подряпини, руйнування у вигляді тріщин, руйнування у вигляді відділення великих і дрібних фрагментів (сколів), руйнування елементів кріплень, загальна та поверхнева деформація деталі (рис. 1.5).

Подряпини на пластмасових деталях характерні переважно для зовнішніх деталей типу бамперів, накладок, молдингів, корпусів зовнішніх дзеркал заднього виду, спойлерів. Вони різняться за глибиною, формою, довжиною, місцями локалізації. Глибокі подряпини можуть пошкодити не лише лако-фарбове покриття, а й основний матеріал деталі. Зазвичай вони утворюються від динамічного контакту з предметом, що має гострі кромки, твердість яких перевищує твердість матеріалу пластмасової деталі. Якщо контактний вплив на деталь має розподілений за площею характер (тертя), то утворюються потертості, що є сукупністю подряпин зі зміщенням та видаленням частинок поверхневого шару. Найчастішим розташуванням потертостей є нижня частина обшивки дверей з боку водія (оператора) машини (рис. 1.5, а).

Тріщини (рис. 1.5, б) виникають внаслідок статичних чи динамічних ударних впливів на деталь, в основному внаслідок дорожньо-транспортних пригод та рідше через проведення ремонту та технічного обслуговування з порушенням технології.

Відділення фрагментів (рис. 1.5, в) є подальшим розвитком тріщин. Відділення фрагментів часто виникає в районі розташування елементів, які відповідають за кріплення деталі.

У разі поділу деталі на кілька окремих частин, що розрізняються за розміром і формою, внаслідок механічного впливу, деталь вважається повністю зруйнованою (рис. 1.5, г).

Поява перерахованих вище дефектів можуть призводити до:

- зниження чи повної втрати працездатності;
- порушення технічних характеристик;

- погіршення зовнішнього вигляду;
- виникнення корозійних пошкоджень металевих частин, внаслідок порушення захисної функції пластикової деталі;
- неповної комплектності машини.

Розглянуті дефекти можуть з'являтися на деталях транспортних, комунальних та дорожніх машин одночасно у різному поєднанні. Найчастіше зустрічаються подряпини, потертості, механічні пошкодження кріпильних елементів деталі. Термічні та хімічні пошкодження, як правило непереборні, оскільки серйозно зачіпають структуру матеріалу деталі.

1.5. Аналіз традиційних методів ремонту пластмасових деталей машин

При появі дефектів на пластмасових деталях машин слід одразу вживати заходів для запобігання їх розвитку та подальшого руйнування деталі, що може призвести до відмови машини або її вузла. Великий внесок у дослідження та впровадження способів ремонту машин, у тому числі із застосуванням полімерних композиційних матеріалів, зробили Єфремов В.В., Кошкін К.Т., Дехтеринський Л.В., Баловнев В.І., Башкирцев В.І., Бобович Б.Б., Зорін В.А., Баурова Н.І., Міхлін В.М., Мотовілін Р.В та багато інших вчених.

Нині у сфері експлуатації та ремонту дорожніх машин поширена така практика: у разі виникнення будь-якої пошкодження машини, її власник звертається до страхової компанії, яка оцінює отримані збитки. На підставі результатів експертизи здійснюється відшкодування шкоди у вигляді виплати коштів або машина вирушає на ремонтне підприємство, з яким у страхової компанії укладено договір. Якщо випадок підпадає під страхові зобов'язання або дорожня машина перебуває на гарантійному обслуговуванні, то пошкоджена деталь замінюється на нову оригінальну. Виняток становлять деталі, що фарбуються, у разі пошкодження тільки лако-фарбового покриття. У цьому випадку відновлюється пошкоджене лако-фарбове покриття. Ушкоджені пластмасові деталі, що не фарбуються, замінюються на нові через неможливість точного відновлення фактурного візерунка на лицьовій

стороні деталі. Існуючі способи відновлення фактурної поверхні не дають абсолютного збігу.

У ряді випадків конструкція будь-якого вузла в машині може складатися з декількох пластмасових деталей, що постачаються виробником машини в комплекті. Прикладом такого виробу є вузол нагрівника салону дорожньої машини: при пошкодженні хоча б однієї деталі він замінюється повністю.

За правилами всі замінені деталі при комерційному ремонті мають бути передані замовнику (власнику машини чи страхової компанії). У страхової компанії укладено договори зі спеціалізованими організаціями, які працюють на вторинному ринку запасних частин, які приїжджають у ремонтне підприємство та відбирають ті деталі, які можуть бути відновлені та продані. Решта бракованих деталей утилізуються.

Якщо випадок не страховий, то подальші ремонтні дії багато в чому залежать від власника машини. За погодженням з ним пошкоджена деталь може бути замінена на нову оригінальну або неоригінальну, на справну деталь, що була в експлуатації, або бути відновлена. Для ремонту пластмасових деталей машин застосовується кілька методів: заміна деталі на нову, шпаклювання та фарбування, різні види зварювання, а також склеювання. Питання, пов'язані зі шпаклюванням та фарбуванням, докладно розглядати не будемо, оскільки це не підпадає під тему дослідження.

Зварювання є найпоширенішим способом відновлення пластмасових деталей машин. Воно являє собою з'єднання термопластичних матеріалів із застосуванням теплової енергії, тиску та присадного матеріалу. Залежно від конкретного способу, комбінація впливів може змінюватися, наприклад, здійснюватись лише при застосуванні теплової енергії або тепла та тиску тощо. Зварювання виконується в межах термопластичного стану матеріалу. Класифікація способів зварювання представлена на рис. 1.6.

Для деталей машин зварювання застосовується в першу чергу при закладенні тріщин та пробоїв та інших елементах екстер'єру.

Незважаючи на різноманітність способів зварювання пластмас, в даний час при

ремонті дорожніх машин застосовують лише два з них: зварювання нагрітим газом (рис. 1.7) і нагрітим інструментом.



Рисунок 1.6 – Класифікація способів зварювання термопластичних матеріалів



Рисунок 1.7 – Відновлення деталі зварюванням нагрітим газом

Зварювання нагрітим газом полягає в підведенні до поверхонь теплової енергії, що з'єднуються, і послідовному переміщенні вздовж шва. Даний спосіб найчастіше виконується з додаванням до шову присадного матеріалу (рис. 1.8, а).

Накочування виконується в тому випадку, якщо присадковий пруток не здатний витримувати осьове усиллення.

Існують два різновиди способів зварювання: ручний і механізований. При ремонті деталей дорожніх машин застосовується лише ручне зварювання. Це зумовлено тим, що застосування механізованих зварювальних апаратів неможливо через складну просторову геометрію деталей, що відновлюються.

Ручний спосіб зварювання дуже трудомісткий і дозволяє отримувати зварні шви високої якості. Подачу прутка і зварювального сопла виробляє зварювальник, тому зварювальний шов не відрізняється однорідністю і рівномірністю. Це своє

чергу впливає міцність зварного з'єднання.

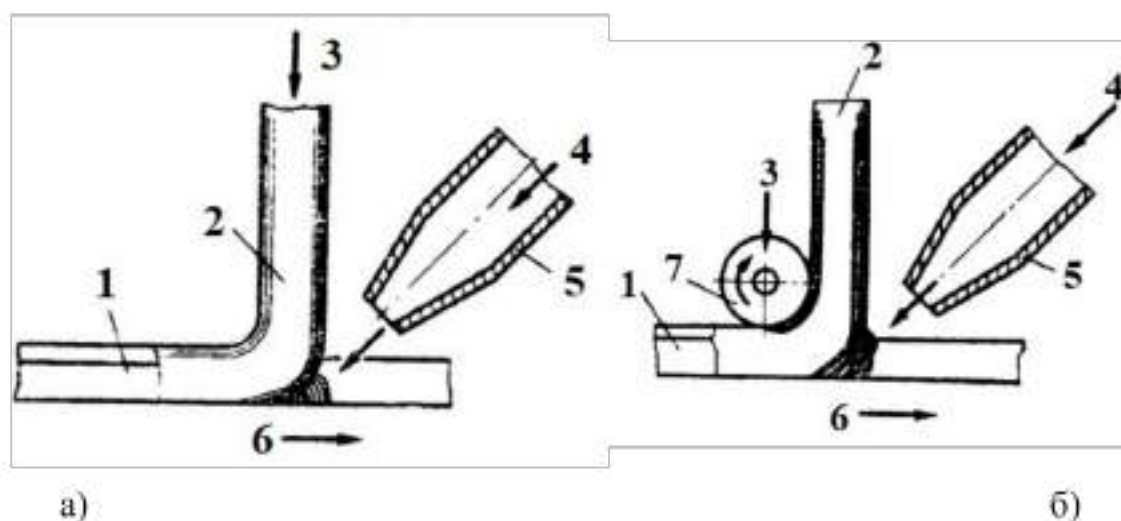


Рисунок 1.8 – Зварювання нагрітим газом з присадним прутком (а) та прикочуванням (б): 1 – деталь, що зварюється; 2 – присадковий пруток; 3 – зусилля; 4 – нагрітий газ; 5 – сопло; 6 – напрямок зварювання; 7 – натискний ролик

Зварювання нагрітим газом може застосовуватися для деталей товщиною від 1,5 до 10 мм. Спосіб підходить для наступних термопластичних матеріалів: ABS, PP, PE, PC, PVC. Технологічні параметри режиму зварювання нагрітим газом наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технологічні параметри режиму зварювання нагрітим газом

Параметри	Значення
Швидкість зварювання, м/хв	0,07 ... 0,25
Витрата газу, л/год	700...2400
Надлишковий тиск нагрітого газу, МПа	0,03 ... 0,06
Температура нагрітого газу, °С	на 50 ... 100 °С вище температури в'язкотекучого стану матеріалу
Кут нахилу осі присадочного прутка до площині деталі, що зварюється	45...50° для PE, PVC >90° для PP
Кут нахилу поздовжньої осі сопла зварювального апарату до площини деталі, що зварюється	60° на етапі попереднього прогріву матеріалу 45° під час зварювання

Таблиця 1.3 - Вказівки щодо підготовки з'єднань до зварювання нагрітим газом

Матеріал	Геометричні характеристики з'єднання		
	Товщина, мм	Ширина зазору, мм	Кут розкриття країв, град
PVC	2...5	0,5 ... 1,0	60
PE	2...5	0,5 ... 1,0	60...70
PP	2...5	0,5 ... 1,0	60
PA, PC	2...5	0,5 ... 1,0	40...50
PA, PC	5...10	0,5 ... 1,0	40...50

Загальні вказівки щодо підготовки з'єднань до зварювання нагрітим газом наведено у таблиці 1.3.

Зварювання з використанням присадного матеріалу переважно виконують із використанням ручних нагрівачів. Розрізняють газові (прямого та непрямого нагріву) та електричні нагрівачі. Найбільшого поширення при ремонті пластмасових деталей набули електронагрівачі, що є промисловими фенами з цифровим регулюванням температури та витрат повітря. Перевагою таких нагрівачів перед газовими є їхня безпека та можливість точного регулювання вихідних параметрів нагрітого газу.

Недоліками зварювання нагрітим газом є:

- висока трудомісткість процесу;
- залежність якості від кваліфікації персоналу;
- велика зона термічного впливу на деталь;
- неможливість зварювання фасонних деталей;
- низька продуктивність.

Спосіб зварювання нагрітим інструментом полягає в оплавленні поверхонь, що з'єднуються за рахунок прямого контакту з нагрітим інструментом. Існують два різновиди цього способу: інструментом, що видаляється з зони зварного шва і зварювання інструментом, що нагрівається, що залишається в зварному шві [3]. У першому різновиді зварювання нагрітий інструмент стикається із зовнішніми поверхнями деталей, що з'єднуються, і розігріває за рахунок теплопровідності сам матеріал. Після цього інструмент видаляється із зони зварювання, а матеріал деталі застигає через відсутність джерела нагріву. Принципова схема способу представлена

рис. 1.9.

Зварювання елементом, що залишається в зварному шві (рис. 1.10 – 1.11), полягає в розміщенні на зварному шві металевго елемента, що є низькоомним електроопіром, і пропускання через нього електричного струму. В результаті цього матеріал, що безпосередньо контактує з нагрівальним елементом, розплавляється, а сам нагрівач занурюється всередину матеріалу за рахунок незначного осевого зусилля, що додається до інструменту. Потім електричний струм відключається, матеріал деталі застигає і нагрівальний елемент механічно від'єднується від джерела струму, залишаючись при цьому в деталі як армуючий елемент [1].

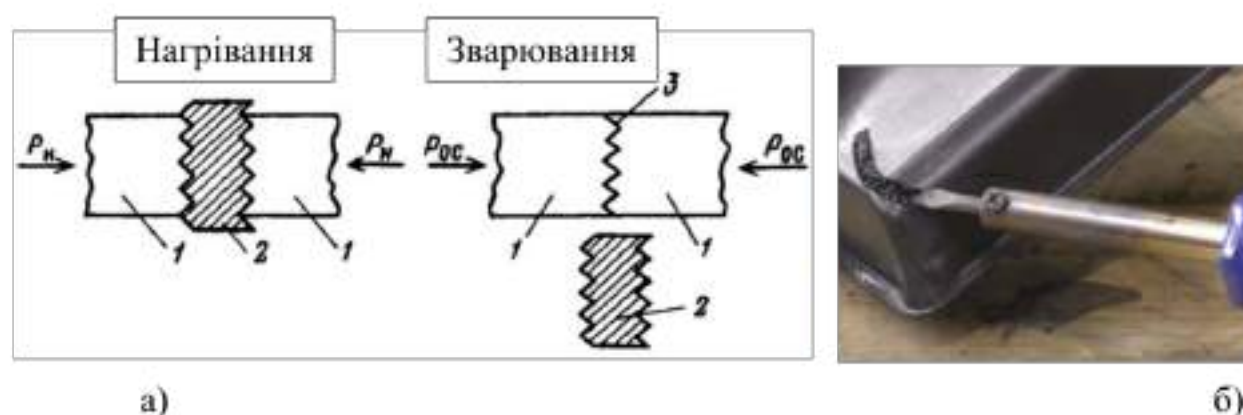


Рисунок 1.9 – Схема зварювання нагрітим інструментом (а) та відновлена деталь (б): 1 - деталі, що з'єднуються; 2 – інструмент; 3 – шов

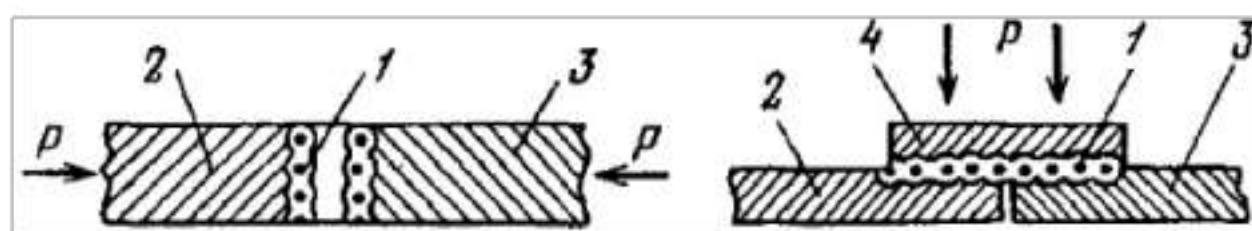


Рисунок 1.10 – Схема зварювання нагрітим елементом, що залишається в деталі: 1 – нагрівальна спіраль, що залишається у зварному шві; 2, 3 – деталі, що зварюються; 4 – накладка

Зварювання нагрітим елементом, що залишається, не дозволяє отримати повністю цілісний виріб, а всього лише армує місце дефекту.

До переваг цього способу відносять:

- низькі вимоги до кваліфікації персоналу;

- невелика зона термічного впливу на деталь;
- одночасне армування деталі.



Рисунок А.11 – Відновлення деталі нагрітим елементом

Недоліки способу:

- невисока міцність з'єднання;
- необхідність проведення механічної обробки з метою видалення виступаючих частин нагрівальних елементів;
- неможливість відновлення деталей, до яких висуваються вимоги щодо герметичності.

Існує ще один спосіб зварювання – зварювання органічними розчинниками. За своїми технологічними ознаками вона найближча до склеювання. Цей спосіб зварювання застосовують у тому випадку, якщо застосування інших методів не раціональне через можливе порушення форми та розмірів. Зварювання розчинниками є найбільш ефективним при з'єднанні деталей з PVC та ABS [6]. Для підвищення міцності з'єднання та прискорення процесу утворення шва застосовують розчини зварюваного матеріалу в розчиннику, звані лаковими композиціями. У такому випадку розчинник виконує роль пластифікатора в навколошовній зоні. Зазвичай розчинник додають до 15% зварюваного матеріалу.

Технологічний процес зварювання розчинниками виконується в наступній послідовності:

- 1) підготовка поверхонь, що зварюються;

- 2) змочування поверхонь розчинником або лаковою композицією;
- 3) витримка деталей;
- 4) з'єднання деталей та додаток тиску;
- 5) витримка деталей до затвердіння шва.

Кількість розчинника, що наноситься, підбирають експериментальним шляхом, проте, слід враховувати, що його надлишок призводить до зниження міцності з'єднання і збільшення технологічного часу. Витримка деталей до з'єднання становить кілька хвилин, тиск при з'єднанні слід витримувати в інтервалі 0,1...1,0 МПа, а час затвердіння триває від 2 до 24 годин.

Вибір розчинників проводять з урахуванням того, щоб різниця між характеристиками розчинності полімеру та розчинника не перевищувала $2,5 \text{ (МДж/м}^3\text{)}^{1/2}$ [3].

Армування місця зварювання виконують для посилення деталі та запобігання подальшому руйнуванню в цьому місці. Приклад відновлення деталі з використанням армуючої сітки представлено на рис. 1.12.



Рисунок 1.12 – Відновлення деталей з армуванням

Зазвичай в якості армуючого матеріалу вибирають дрібнокомірчасту сталеву сітку, нарізану на невеликі смуги. Деталі, що з'єднуються, поєднують один з одним, фіксують у необхідному положенні, укладають сітку на поверхню і починають

нагрівання. Під час нагрівання матеріал під сіткою розм'якшується і додатковим інструментом армуюча сітка занурюється у розплав. Слід стежити за тим, щоб не перегріти сітку та матеріал, оскільки окислена сітка може бути осередком корозії, а перегрітий пластик стає більш крихким.

Склеювання пластмас полягає у створенні нероз'ємного з'єднання елементів деталі із застосуванням клею. За здатністю до склеювання пластмаси поділяють на три групи: легкосклеювані (поліакрилати, ABS, полікарбонат, непластифікований полівінілхлорид), умовно склеювані (поліаміди, полістирол, пластифікований полівінілхлорид) і важкосклеювані (удароміцний полістирол, поліпропілен поліаміди).

Створення якісного з'єднання можливе при виконанні наступних умов [3]:

- поверхні, що з'єднуються, змочуються клеєм;
- створено тиск у зоні склеювання для запобігання переміщенню в процесі затвердіння клею;
- правильно підібраний клей.

Найчастіше застосовують спосіб склеювання за рахунок липкості. На поверхні, що склеюються, наносять клей, витримують до утворення липкого шару, і стискають елементи для утворення клейового шару (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Ремонт за допомогою клейової сполуки

Нерідко внаслідок пошкодження може порушуватися комплектність деталей. Найчастіше це відбувається з елементами кріплення бамперів і фар. Обламаний

елемент може бути втрачений і необхідно відновити його форму, розміри та функціональне призначення. Для цього застосовують дві технології: встановлення ремонтного елемента, що випускається заводом-виробником деталі та формування втраченого елемента деталі спеціальними складами.

Встановлення заводських ремонтних елементів може виконуватись у тих випадках, якщо такий спосіб відновлення передбачений виробником. Найчастіше подібні ремонтні комплекти кріпильних елементів випускають виробники фар, оскільки саме їх кріпильні кронштейни найчастіше ушкоджуються внаслідок механічних впливів.

Ремкомплект являє собою набір кріплень та металовиробів для заміни обламаного кріплення на нове. У деяких випадках на корпусі деталі, що ремонтується, є спеціальні посадкові місця під новий кронштейн (рис. 1.14).



а)



б)

Рисунок 1.14 – Відновлення кронштейна фари (а) ремонтним комплектом (б)

Дана технологія ремонту полягає в механічному видаленні залишків обламаного кріплення, установці ремонтного кронштейна і закріпленні його за допомогою гвинтів або складів, що клеять.

До переваг даного способу ремонту відносять:

- низьку трудомісткість процесу;
- невисокі вимоги до кваліфікації персоналу;
- невисоку вартість ремонту.

Недоліками є:

- необхідність очікування на постачання ремонтного комплекту;

- невелика номенклатура типів відновлюваних деталей;
- ремонтні комплекти існують не для всіх марок та виробів.

Ремонт спеціальними складами ЗМ застосовується в тих випадках, коли відновлення зварюванням, склеюванням або постановка ремонтного елемента неможливе через втрату елемента або відсутність ремонтних комплектів.

Цей спосіб не дозволяє відновлювати втрачені кріпильні елементи складної фасонної форми, а також потребує значних витрат на додаткові матеріали: очищувачі, активатори адгезії, плівки, що формують, тощо. Для правильного підбору витратних матеріалів та налаштування режимів технологічних методів ремонту необхідно перед початком ремонту визначити марку матеріалу деталі. Матеріал, як правило, визначається за маркуванням, що є на пластмасових деталях (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – Маркування деталей із різних пластмас: поліпропілен з додаванням етилен-пропіленового каучуку (PP+EPDM) (а); акрилонітрил-бутадієнстирол (ABS) (б); поліетилен низького тиску (PE-HD) (в); поліамід 6 з додаванням 30% скловолокна (PA6 GF30) (г)

Існуючі традиційні методи ремонту пластмасових деталей не дозволяють

відновлювати пошкодження пластмасових деталей дорожніх машин, пов'язані із втратою елементів зі складною просторовою геометрією. Необхідно розробити нові методи ремонту з огляду на тенденції у розвитку машинобудування.

1.6. Аналіз застосування методів 3D-друку в машинобудуванні та суміжних галузях

Застосування адитивних технологій у машинобудуванні дозволяє скоротити час реалізації ідеї. Від моменту появи ідеї до готового виробу минає набагато менше часу, ніж при традиційному виробництві. Адитивні технології безперервно розвиваються та демонструють нові можливості у різних галузях промисловості (рис. 1.16).

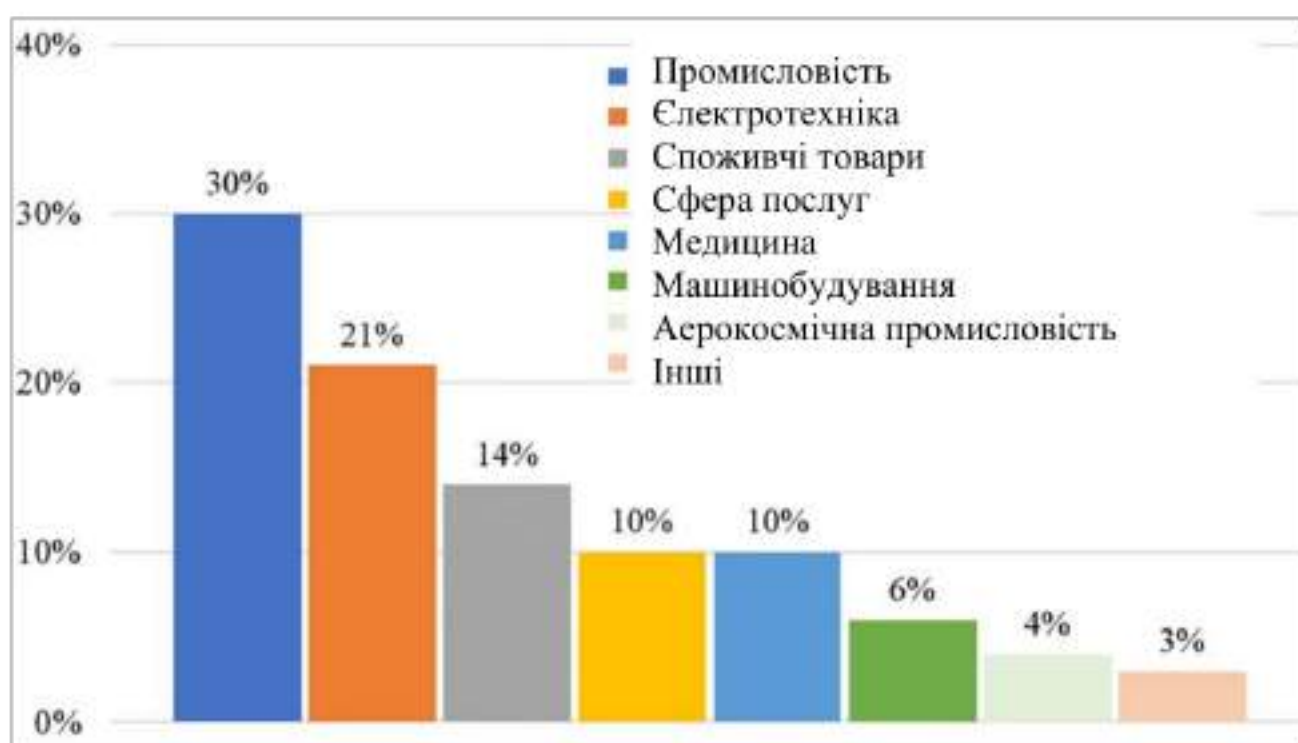


Рисунок 1.16 – Використання адитивних технологій у різних галузях промисловості

Графік рис. 1.16 показує розподіл попиту 3D-друк по галузях. Понад 86% попиту припадає на промисловість, електротехніку, споживчі товари та послуги, а також медицину. За даними проведеного опитування 3D Hubs, в машинобудуванні

адитивні технології малорозвинені.

У цілому нині, адитивні технології використовуються передусім для друку прототипів деталей, дослідження можливості заміни традиційно виготовляються деталей на надруковані, у ливарному виробництві виготовлення ливарних виплавлюваних моделей або друку ливарних полімерно-піщаних форм (рис. 1.17).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.17 – Прототип деталі (а), надрукована деталь (б), майстер-модель (в), що виплавляється, та надрукована ливарна полімерно-піщана форма (г)

Найбільша увага приділяється виробництву металевих деталей методами 3D-друку. Наразі вже представлені прототипи надрукованих кузовів автомобілів.

Вивченням адитивних технологій у машинобудуванні займалися та займаються такі вчені як Зорін В.А., Зленко М.А., Нагайцев М.В., Попович А.А., Рудський А.І., Каменев С.В., Redwood B., Barnatt C., Bibi van den Berg, Lipson H., Kurman M., Smyth C., Horvath L., Cameron R. та ін.

За результатами аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що питання застосування методів адитивних технологій для ремонту пластмасових

деталей комунальних, транспортних та с.г. нині мало досліджуються. Отже, цей напрямок є перспективним для розвитку.

1.7. Вивчення властивостей матеріалів для ремонту пластмасових деталей транспортних засобів на базі ТОВ «Поділляагрозахист»

Існуючі способи з'єднання пластмас мають на увазі використання різних матеріалів для здійснення технологічного процесу. Так, для зварювання нагрітим газом потрібні прутки; для зварювання нагрітим інструментом – нагрівальні елементи; для зварювання розчинниками – органічні розчинники, а для склеювання – клеї. Розглянемо властивості основних матеріалів, що застосовуються для різних методів ремонту.

У машинобудуванні для виготовлення пластмасових деталей, що ремонтуються, використовуються такі матеріали як: ABS, PP, PA, PE, PC та інші. Як правило, для зварювання ABS, PP, PE, PC використовуються прутки з тими ж характеристиками матеріалу, що і матеріал деталі. У таблиці 1.4 наведено основні фізико-механічні характеристики присадочних матеріалів.

Таблиця 1.4 - Фізико-механічні властивості присадних матеріалів

Матеріал	Щільність, г/см ³	Межа міцності при розриві, МПа	Відносне подовження при розриві, %	Температура плавлення, °С
ABS	1,02 ... 1,08	35...50	10...25	220...240
PP	0,90 ... 0,92	26... 40	200...700	160 ... 170
PA6	1,14	40...45	50...100	220
PE	0,93 ... 0,95	20...22	320...350	120
PC	1,2	30...40	2,5 ... 4,8	250...270

За формою розрізняють круглі, плоскі, трикутні в поперечному перерізі прутки. Трикутний профіль використовується при зварюванні під кутом, плоский – для стикових швів в одній площині. Прутки круглого профілю є універсальними.

За геометричними параметрами прутки відрізняються діаметром (круглі від 2 до 5 мм), шириною (плоскі та трикутні від 3 до 10 мм), а також формою постачання.

Плоскі та трикутні присадочні матеріали поставляються в бухтах, а круглі у вигляді прутків завдовжки 200-300 мм. Виробляють різні за кольором матеріали: чорні, білі, сірі, сині тощо [7].

У виробничій практиці для зварювання розчинниками застосовують розчинники, а також їх суміші. Склади, що рекомендуються для зварювання термопластичних матеріалів, наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Рекомендовані склади розчинників для зварювання пластмас

Полімери	Рекомендовані розчинники
ABS	Ацетон; епіацетат; метилацетат; ацетон/етилактат (90/10); ацетон/метолксіетилацетат (80/20); ацетон/метилацетат (70/30); бутилацетат/ацетон/метилацетат (50/30/20)
PA	Концентрована мурашина кислота; розплавлені фенол та резорпін; спиртовий розчини хлориду кальцію; оцтова кислота (крижана)
PVC	Метилетилкетон; метилізобутилкетон; ксилол; тетрагідрофуран/циклогексанон (80/20)
PC	Етилендихлорид; тетрачлоретан; тричлоретан; етилендихлорид/метиленхлорид (50/50); метиленхлорид/мономер метилметакрилату (60/40)
ПММА	Етилендихлорид; мономер метиметакрилату; дихлоретан; метиленхлорид/мономер метилметакрилату (60/40); метиленхлорид/мономер метилметакрилату (50/50)
PS	Етилацетат; метиленхлорид; метилетилкетон; чотирхлористий етилен; толуол; трихлористий етилен

Ремонт пластмасових деталей технологіями компанії 3М здійснюється із застосуванням спеціальних складів. До них відносяться:

- очисник поверхні 3МТМ VHB;
- поліолефіновий активатор адгезії 05917 3МТМ;
- зміцнююча сітка 3МТМ 04903;
- клей для швидкого відновлення деталей 3МТМ 55045;
- ремонтний склад FPRM 3МТМ 05901;
- плівка для формування 3МТМ Automix.

Сучасний ринок матеріалів для ремонту пластмасових деталей машин дуже різноманітний. Можна підібрати і придбати необхідний компонент без жодних труднощів.

1.8. Огляд програм, які застосовуються для 3D-друку

3D-друк за технологією моделювання методом пошарового плавлення (англ. Fused Deposition Modeling, FDM) є одним з видів адитивних технологій, суть якого полягає в пошаровому екструзійному наплавленні термопласту на поверхню друкованого столу в процесі формування деталі [2]. Аналогом цієї технології є технологія наплавлення нитки (англ. Fused Filament Fabrication, FFF). Ці технології дозволяють друкувати вироби з термо-пластичних матеріалів з різними наповнювачами (залежить від конструктивних особливостей 3D-принтера).

При розробці завдання на друк, оператор має можливість виконати ряд налаштувань, завдяки яким вдається зменшити не тільки час виконання завдання та кількість витраченого пластику, а й якість деталі [4, 5, 6]. Однією з найрозвиненіших у плані можливих налаштувань програм для слайсування є Simplify3D (рис. 1.18). Дана програма дозволяє задавати індивідуальні налаштування друку для кожного об'єкта (при одночасному друку кількох виробів), налаштовувати зони параметрів у межах однієї деталі, здійснювати 3D візуалізацію процесу друку. До основних параметрам, що настраюються, відносять висоту шару, швидкість, величину заповнення, температуру нагріву, коефіцієнт подачі матеріалу. Важливу роль має можливість створення підтримуючих структур у ручному режимі.

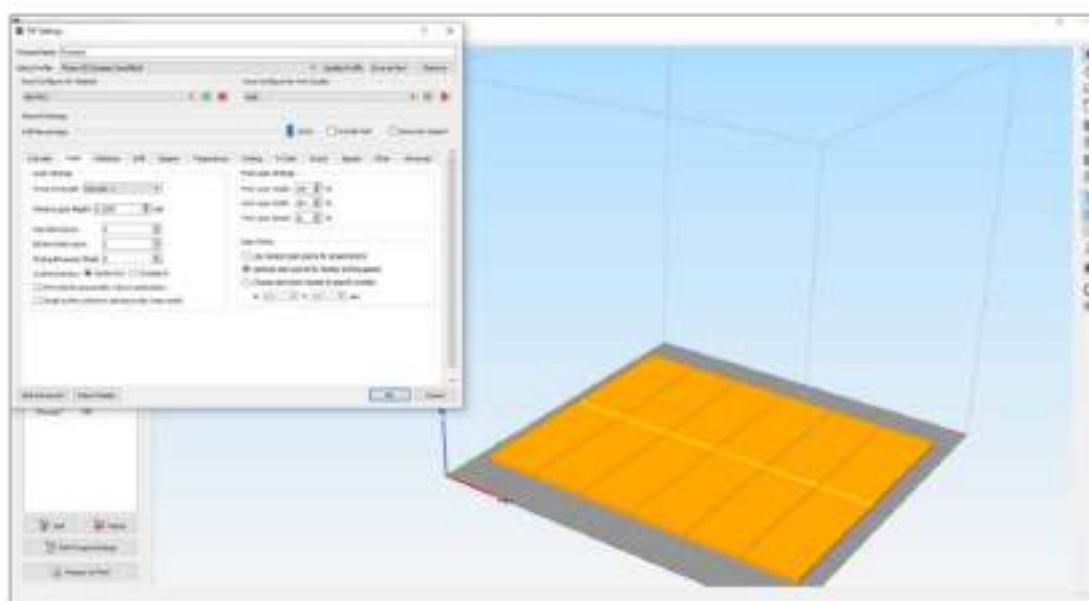


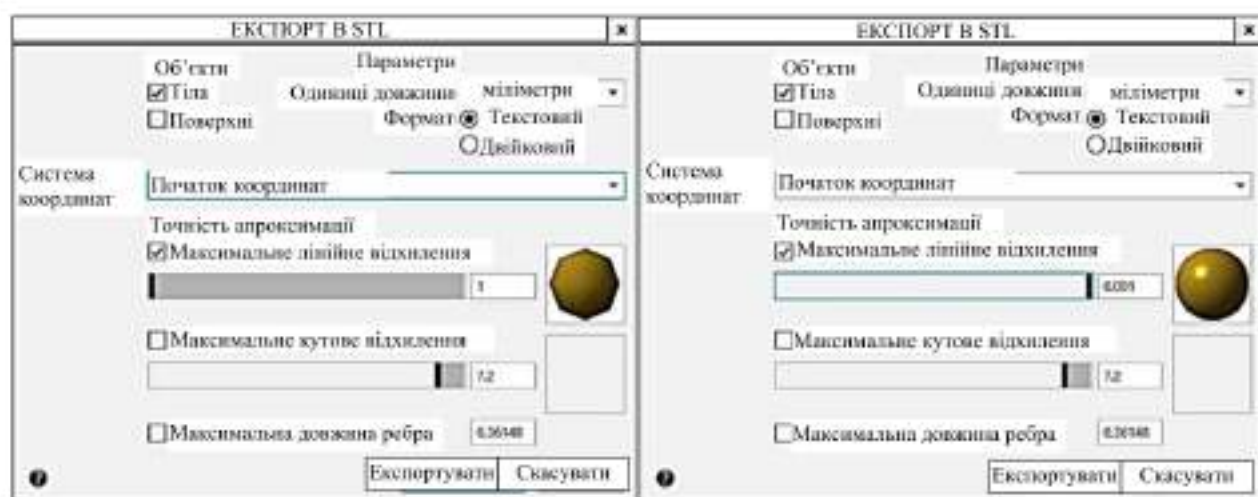
Рисунок 1.18 – Програма-слайсер Simplify3D

Для створення об'єктів 3D-друку необхідно використовувати два типи програм: системи автоматизованого проектування (САПР) та програми-слайсери (англ. slice – зріз).

Програми САПР необхідні для створення 3D-моделі майбутнього виробу, проведення розрахунків міцності конструкції, а також експорту 3D-моделі у файл формату STL (англ. stereolithography). Основними прикладами таких програм можуть бути: КОМПАС-3D, SolidWorks, AutoCAD 3D, Fusion360 та інші. Наявність у таких програмах можливості задавати налаштування файлів, що експортуються, дозволяє підвищити якість геометрії майбутньої надрукованої деталі (рис. 1.19).

САПР відрізняються один від одного інтерфейсом, а також повнотою функцій, що дозволяють проводити розрахунки та оптимізацію конструкції. Однак, більший вплив на якість надрукованого виробу мають саме програми-слайсери.

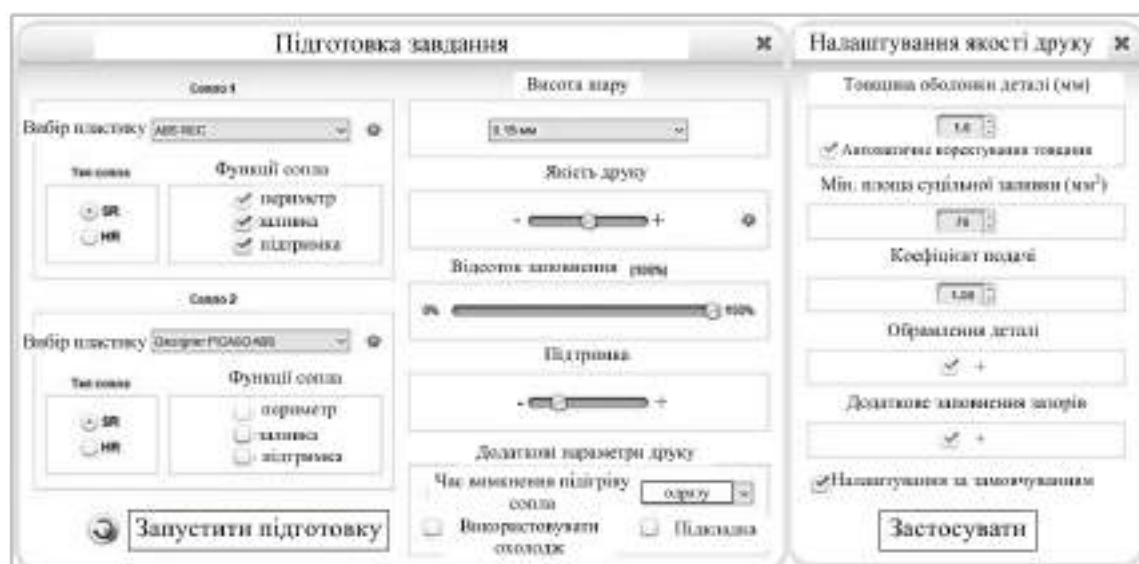
В даний час на ринку представлено досить велику кількість програм-слайсерів. Частина з них постачається разом із 3D-принтерами. Такі програми зазвичай містять набір шаблонів налаштувань під різну якість друку (низька, середня, висока тощо). Можливості вказати параметри 3D-друку в таких слайсерах мінімальні або відсутні зовсім. Прикладом такого слайсера може бути Picaso Polygon (рис. 1.20).



а)

б)

Рисунок 1.19 – Налаштування точності апроксимації при експорті 3D-моделі:
а) – лінійне відхилення 1 мм; б) – лінійне відхилення 0,001 мм



Образлення деталі

Меню налаштувань слайсера Picaso Polygon

Універсальні слайсери (не прив'язані до конкретної моделі 3D-принтера) мають більшу функціональність. Прикладами таких слайсерів можуть бути: Repetier, Simplify3D, Cura та ін.

Зазначені програми дозволяють здійснювати індивідуальне налаштування параметрів друку, задавати вручну підтримуючі структури, а також виконувати індивідуальні налаштування друку за шарами (рис. 1.21).

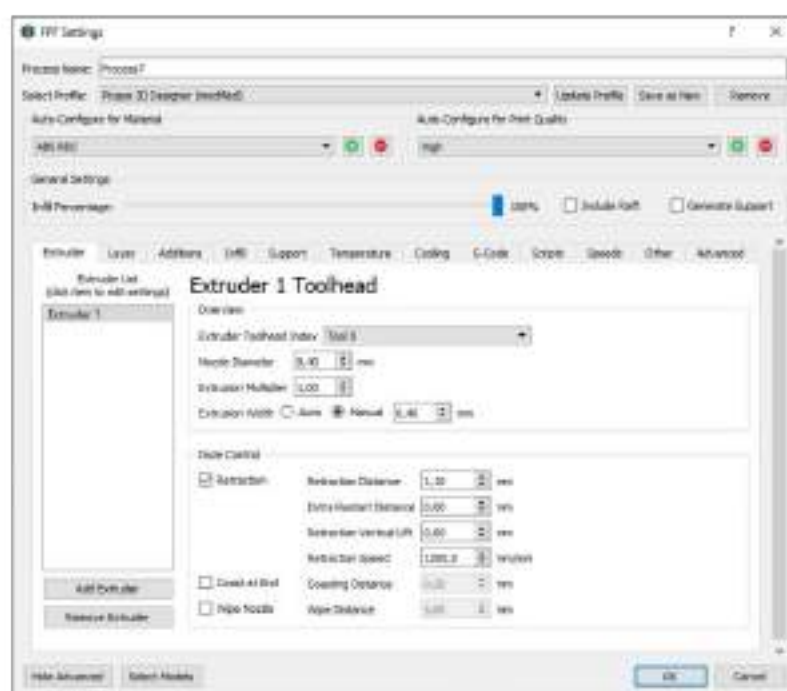


Рисунок 1.21 – Меню налаштувань слайсера Simplify3D

У таблиці 1.6 наведено порівняльний аналіз функцій найбільш поширених програм-слайсерів.

Як видно з результатів аналізу, жодна з програм-слайсерів не дозволяє проводити автоматизований підбір параметрів друку залежно від потрібних параметрів міцності виробу.

Таблиця 1.6 – Порівняльний аналіз функціональних можливостей програм-слайсерів

Параметри	Програми-слайсери				
	Repetier	Simlify3D	Cura	Slic3r	KISSlicer
Ручне налаштування параметрів екструдера	+	+	+	+	+
Ручне налаштування висоти шару	+	+	+	+	+
Ручне налаштування структури заповнення	+	+	+	+	+
Ручне налаштування швидкості друку	+	+	+	+	+
Ручне налаштування температурного режиму	+	+	+	+	+
Ручне налаштування параметрів покращення адгезії	+	+	+	+	+
Підтримка кількох екструдерів	+	+	+	+	+
Ручне налаштування підтримуючих структур	+	+	+	+	+
Ручне розташування підтримуючих структур	-	+	-	-	-
Моделювання процесу друку	-	+	-	-	-
Індивідуальні параметри для кожного об'єкту	-	+	-	-	-
Індивідуальні параметри друку за шарами	-	+	-	-	-
Ручне керування 3D-принтером	+	+	+	+	-
Редагування та додавання до коду скриптів	+	+	+	+	+
Перегляд та редагування G-коду завдання	+	-	+	+	-
Призначення параметрів друку залежно від характеристик міцності	-	-	-	-	-

1.9. Висновки та задачі дослідження

На підставі проведеного огляду встановлено:

1. На сьогоднішній день у машинобудуванні застосовується велика кількість різноманітних конструкційних пластмас. Вони використовуються як в інтер'єрі та екстер'єрі транспортних засобів, так і в різних навантажених механізмах та вузлах.

2. Пластмасові деталі транспортних засобів ТОВ «Поділляагрозахист» часто виходять з ладу по причині порушення умов експлуатації та дорожньо-транспортних ушкоджень. За результатами проведеного аналізу традиційних методів ремонту було встановлено, що існуючі методи ремонту на базі ТОВ «Поділляагрозахист» не дозволяють з достатнім ступенем надійності відновити втрачені елементи з полімерних матеріалів.

3. Адитивні технології в даний час є перспективним напрямом у галузі розвитку машинобудування. Застосування методів 3D-друку в якості ремонтних технологій на даний момент часу не вивчено. З урахуванням того, що в транспортних засобах використовується значна кількість термопластичних матеріалів, адитивні технології можуть бути використані в якості ремонтних.

Основні завдання дослідження:

1. Розробити теоретичні основи розрахунку характеристик міцності пластмасових деталей транспортних засобів, відновлених з використанням методів 3D-друку.

2. Дослідити вплив технологічних факторів на міцнісні та в'язкопружні характеристики пластмасових деталей транспортних засобів, відновлених з використанням методів 3D-друку.

3. Дослідити вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики пластмасових деталей дорожніх машин, відновлених із використанням методів 3D-друку.

4. Розробити технологію ремонту пластмасових деталей дорожніх машин із використанням методів 3D-друку.

РОЗДІЛ 2. АДДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ

2.1. Адитивні технології: питання, термінології

Адитивні технології (Additive Technologies) – це узагальнена назва технологій виготовлення тривимірних (3D) виробів за їх комп'ютерними моделями шляхом послідовного додавання (нарощування) матеріалу. Свою назву (у буквальному перекладі з англійської – «додають») вони отримали від англійського слова «add» (додавати) – на противагу традиційним «вичитуючим», або субтрактивним технологіям (Subtractive Technologies), що передбачають досягнення необхідної форми виробу шляхом видалення матеріалу із заготовки в результаті її механічної, чи електроерозійної обробки.

Адитивні технології зазвичай називають скорочено AM-технологіями (Additive Manufacturing – адитивне виробництво).

Вперше узагальнене визначення AM-технологій запропоновано міжнародною організацією ASTM International (American Society for Testing and Materials – Американське товариство з випробування матеріалів), що займається розробкою технічних стандартів.

У 2009 р. був опублікований стандарт ASTM F2792 «Стандартна термінологія адитивного виробництва» – перший ASTM-стандарт у AM-сфері. Відповідно до цього стандарту, під AM-технологіями розуміється «process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing technologies» – «процес об'єднання матеріалу з метою створення об'єкта з даних 3D-моделі, як правило, шар за шаром, на відміну від субтрактивних виробничих технологій».

У 2015 р. на зміну стандарту ASTM F2792 було видано стандарт ISO/ASTM 52900:2015 «Additive Manufacturing – General principles – Terminology» - «Адитивне виробництво. Загальні принципи. Термінологія». Він розширив первісну AM-термінологію. Це був перший стандарт у AM-сфері, розроблений спільно Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) та ASTM International, а потім ухвалений Європейським комітетом зі стандартизації (CEN). У 2021 р. було видано

його оновлену версію – ISO/ASTM 52900:2021 «Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary» – «Аддитивне виробництво. Загальні принципи. Основи та словник». Також було видано низку інших ASTM-стандартів у AM-сфері.

AM-технології почали активно розвиватися з кінця 1980-х років. Їх розвитку сприяло широке поширення цифрових технологій у сфері проектування, передусім, систем CAD (Computer Aided Design) – програмних пакетів, призначених до створення 3D-моделей.

Спочатку AM-технології називали технологіями швидкого прототипування (Rapid Prototyping), оскільки в основному вони призначалися для створення прототипів (дослідних зразків) виробів. В даний час технології швидкого прототипування розглядаються як частина AM-технологій, які дозволяють створювати як прототипи виробів, так і готові вироби.

Нерідко AM-технології з урахуванням характерних рис процесів, що лежать в їх основі, називають технологіями пошарового синтезу. Є ще одна їхня вельми популярна назва – 3D-друк. Відповідно пристрої, за допомогою яких вони реалізуються, називають 3D-принтерами.

2.2. Загальна схема реалізації адитивних технологій

Існують різноманітні види AM-технологій, проте всі вони реалізуються за загальною схемою, яку можна подати у вигляді наступної послідовності операцій (рис. 2.1):

- побудова 3D-моделі виробу у CAD-системі;
- експорт 3D-моделі в STL-файл;
- поділ 3D-моделі на горизонтальні перерізи (шари) за допомогою спеціальної програми-слайсера (інакше ця операція називається слайсінг);
- 3D-друк – пошаровий синтез натурного об'єкта (виробу) за даними CAD-моделі, що зчитується 3D-принтером з STL-файлу;
- фінішна обробка одержаного виробу (інакше ця операція називається постобробкою).



Рисунок 2.1 – Схема реалізації AM-технологій

Пошаровий синтез здійснюється шляхом послідовного нанесення матеріалу шар за шаром, зазвичай знизу вгору. Кожен шар, що наноситься, за своїм перерізом збігається з відповідним шаром 3D-моделі. У процесі нанесення суміжні шари зв'язуються між собою різними способами (спіканням, сплавленням, склеюванням, полімеризацією), так що в результаті формується виріб.

2.3. Класифікація адитивних технологій

AM-технології класифікують за різними ознаками. Найважливішими з них є:

- види використовуваних матеріалів;
- методи нанесення шарів матеріалів;
- види перетворень матеріалів у процесі нанесення шарів та формування структури виробів.

Всі матеріали, що використовуються в AM-технологіях, поділяються на основні та допоміжні. Основні матеріали інакше називають будівельними матеріалами, ними безпосередньо відбувається побудова виробів. Допоміжні матеріали сприяють здійсненню процесу побудови виробів. Вони використовуються не у всіх AM-технологіях, а лише в деяких із них. До них відносяться сполучні матеріали, які зв'язують (склеюють) вихідні будівельні матеріали, а також підтримуючі матеріали, які підтримують виступаючі (нависаючі) частини конструкції виробів, що будуються.

В АМ-технологіях, що застосовуються при виготовленні та ремонті деталей машин, як вихідні будівельні матеріали служать полімери, метали та неорганічні матеріали (гіпс, пісок, кераміка), які можуть використовувати як індивідуально, так і в поєднаннях один з одним (таблиця 2.1). Деякі з них є рідинами, але більшість їх у твердому стані – порошки, волокна, дроти чи прутки, листи чи плівки.

Таблиця 2.1 – Вихідні будівельні матеріали для адитивних технологій

Рідкофазний стан	Твердофазний стан		
	Вид приготування		
	Порошки	Волокна, прутки чи дроти	Листи або плівки
Фотополімери	Термопластичні полімери, ливарний віск, парафін, метали, гіпс, пісок, кераміка	Термопластичні полімери, метали	Термопластичні полімери, метали, папір

Розрізняють два основних методи нанесення шарів вихідного будівельного матеріалу (відповідно, два типи АМ-технологій), які мають такі англійські назви: «Bed Deposition» (осад на платформі) та «Direct Deposition» (пряме осадження).

Відповідно до АМ-технологій типу Bed Deposition вихідний матеріал наносять на будь-яку платформу суцільним шаром, потім його в цьому шарі піддають селективній обробці (за допомогою локально-вибіркових впливів), внаслідок чого він змінює свій початковий стан (структуру, властивості), тобто зазнає певних перетворень, формуючи шаруватий фрагмент виробу. При цьому решта (необроблена) частини вихідного матеріалу залишається незмінною. Далі процес повторюється, на перший шаруватий фрагмент, що сформувався, нарощують чергові фрагменти до тих пір, поки не завершиться виробництво всього виробу.

Відповідно до АМ-технологій типу Direct Deposition, вихідний матеріал безпосередньо наносять послідовними шарами. При цьому спочатку на платформу в конкретних місцях наносять перший шар, потім нарощують на нього чергові шари. У процесі осадження матеріал змінює свій первісний стан (подібно до того, як це має

місце у випадку Bed Deposition), в результаті чого формуються шаруваті фрагменти виробу.

Вихідний будівельний матеріал у процесі нанесення шарів та формування структури виробу піддається наступним перетворенням:

- фотополімеризація (затвердіння рідких фотополімерів);
- спікання або переплавлення порошків;
- зв'язування (склеювання) порошків сполучними компонентами;
- розм'якшення та подальше затвердіння термопластичних полімерів.

Згідно з класифікацією ASTM, запропонованою у 2012 р., існують 7 категорій АМ-технологій, представлених у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Категорії АМ-технологій за ASTM-класифікацією

№ п/п	Назва категорії	Коротка характеристика АМ-технологій
1	Material Extrusion, ME / "видавлювання матеріалу"	Пошарове нанесення розплавленого або пастоподібного будівельного матеріалу шляхом видавлювання через екструдер
2	Material Jetting, MJ / «струменеве розбризкування матеріалу»	Пошарове струменеве нанесення будівельного матеріалу
3	Binder Jetting, BJ / «струмене розбризкування сполучного матеріалу»	Пошарове струменеве нанесення сполучного матеріалу
4	Sheet Lamination, SL / «листова ламінування»	Пошарове нанесення листового будівельного матеріалу
5	Vat Photopolymerization, VP / «фотополімеризація у ванні»	Пошарове затвердіння фотополімерного будівельного матеріалу
6	Powder Bed Fusion, PBF / «сплавлення порошкового шару»	Спікання або сплавлення порошкового будівельного матеріалу, що пошарово наноситься
7	Directed energy deposition, DED / «спрямоване підведення енергії»	Однчасне підведення будівельного матеріалу та енергії для його плавлення безпосередньо у місце побудови

2.4. Загальна характеристика різних видів адитивних технологій

На сьогоднішній день відомо кілька десятків різновидів АМ-технологій, які відрізняються не лише особливостями процесів створення 3D-виробів, але також особливостями конструкції та функціонування 3D-принтерів та властивостями вихідних будівельних матеріалів, що використовуються для побудови. З іншого боку, вони різняться своїми фірмовими назвами.

У таблиці 2.3 наведено перелік основних видів АМ-технологій, що застосовуються при виготовленні та ремонті деталей машин (технології розподілені за відповідними категоріями в рамках ASTM-класифікації, для деяких видів АМ-технологій, крім основної назви, додатково в дужках вказані інші назви, що також набули поширення).

Таблиця 2.3 - Основні види АМ-технологій, що застосовуються під час виготовлення та ремонту деталей машин

№ п/п	Види АМ-технологій	Категорії АМ-технологій з ASTM-класифікації
1	2	3
1	Fused Deposition Modeling, FDM – «створення об'єктів наплавленням» / Fused Filament Fabrication, FFF – «виробництво розплавленими волокнами»	Material Extrusion, ME
2	Multiphase Jet Solidification, MJS – «затвердіння багатофазного струменя»	
3	Direct Ink Writing, DIW – «прямий запис чорнилом»	
4	Inkjet Printing, IJP – «чорнильно-струменевий друк» / Multi-Jet Modeling, MJM – «багатоструменеве створення об'єкта» / Poly-Jet – «полі-джет»	Material Jetting, MJ
5	Three Dimensional Printing, 3DP - "тривимірний друк" / Drop on Powder, DoP - "крапля на порошок"	Binder Jetting, BJ
6	Laminated Object Manufacturing, LOM – «виробництво об'єктів, що ламінують» / Stack-bond-cut-Glue-Sheet Lamination, SBC-Glue-SL – «листо́ве ламінування за схемою «пакування-з'єднання-різання» зі склеюванням» / Selective Deposition Lamination, SDL – «ламінування селективним осадженням»	Sheet Lamination, SL

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
7	Ultrasonic Additive Manufacturing, UAM – «ультразвукове адитивне виробництво» / Stackbond-cut-US-Weld-Sheet Lamination, SBC-US-Weld-SL – «листова ламінування за схемою «пакування з'єднання-різання» з ультразвуковим зварюванням»	Sheet Lamination, SL
8	Stack-cut-bond-Sheet Lamination, SCB-SL – «листова ламінування за схемою «пакування-різка- з'єднання»	
9	Cut-stack-bond-Sheet Lamination, CSB-SL – «листова ламінування за схемою «різання-пакування з'єднання»	
10	Stereolithography Apparatus, SLA – «апаратура стереолітографії»	Vat Photopolymerization, VP
11	Digital Light Processing, DLP - "цифрова оптична обробка" / Projection Stereolithography, PSL - "проекційна стереолітографія" / Digital Light Synthesis, DLS – «цифровий світловий синтез»	
12	Mask Projection Stereolithography, MPSL – «маскова проекційна стереолітографія» / Solid Ground Curing, SGC – «затвердіння суцільної ділянки»	
13	Selective Laser Sintering, SLS – «селективне лазерне спікання»	Powder Bed Fusion, PBF
14	Selective Laser Melting, SLM - "селективне лазерне плавлення" / Direct Metal Laser Sintering, DMLS - "пряме лазерне спікання металу"	
15	Electron beam melting, EBM – «електронно променеве плавлення»	
16	Direct Laser Metal Deposition, DLMD – «пряме лазерне осадження металу» / Laser Engineered Net Shape, LENS – «лазерне створення заданої форми»	Directed Energy Deposition, DED

2.4.1. Fused Deposition Modeling

Сутність FDM-технології: волокно з термопласту простягається через екструдер, де воно розплавляється, а потім подається в місце побудови, де твердіє при охолодженні. Схему реалізації FDM-процесу показано на рис. 2.2.

Полімерне волокно розмотується з котушки і прямує в екструдер, який являє собою пристрій, оснащений механічним приводом для подачі волокна, нагрівальним елементом для плавлення (розм'якшення) полімеру та соплом, через яке здійснюється безпосередньо екструзія (видавлювання) полімеру. Нагрівальний елемент нагріває

сопло та плавить полімерне волокно, яке через сопло подається на платформу, де відбувається побудова виробу. Екструдер переміщується у горизонтальній та вертикальній площинах за спеціальною програмою.

Процес пошарової побудови виробу за FDM-технологією пояснюється рис. 2.3.

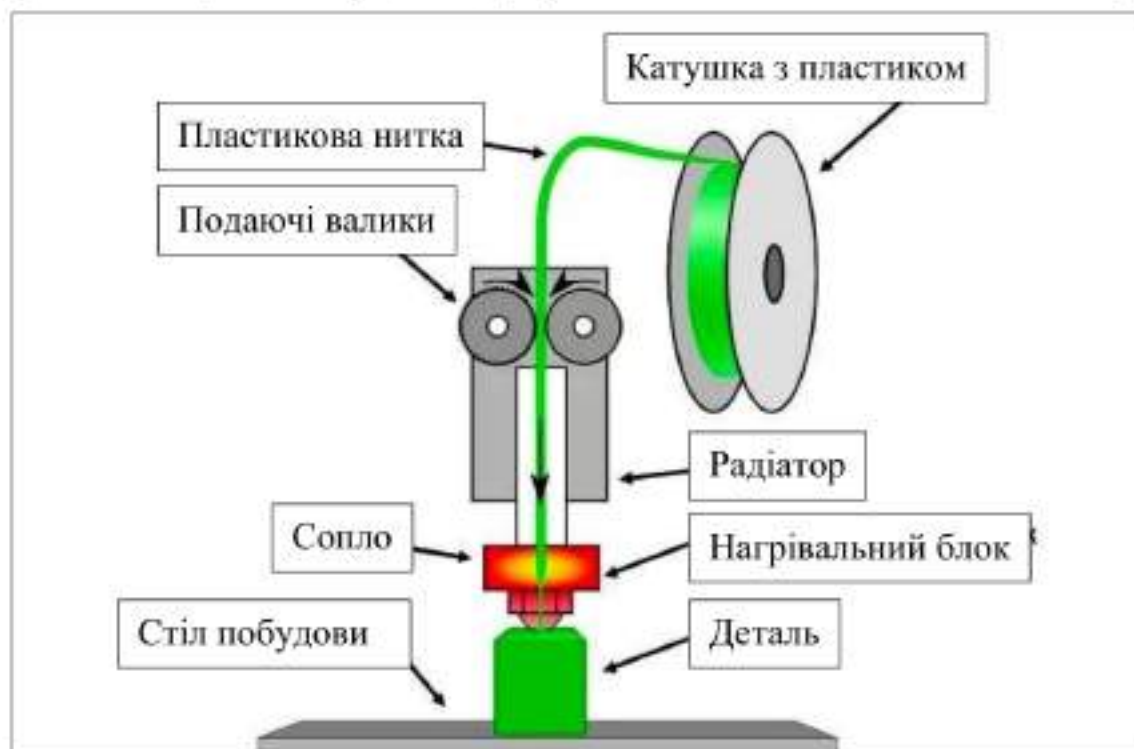


Рисунок 2.2 – Схема FDM-процесу

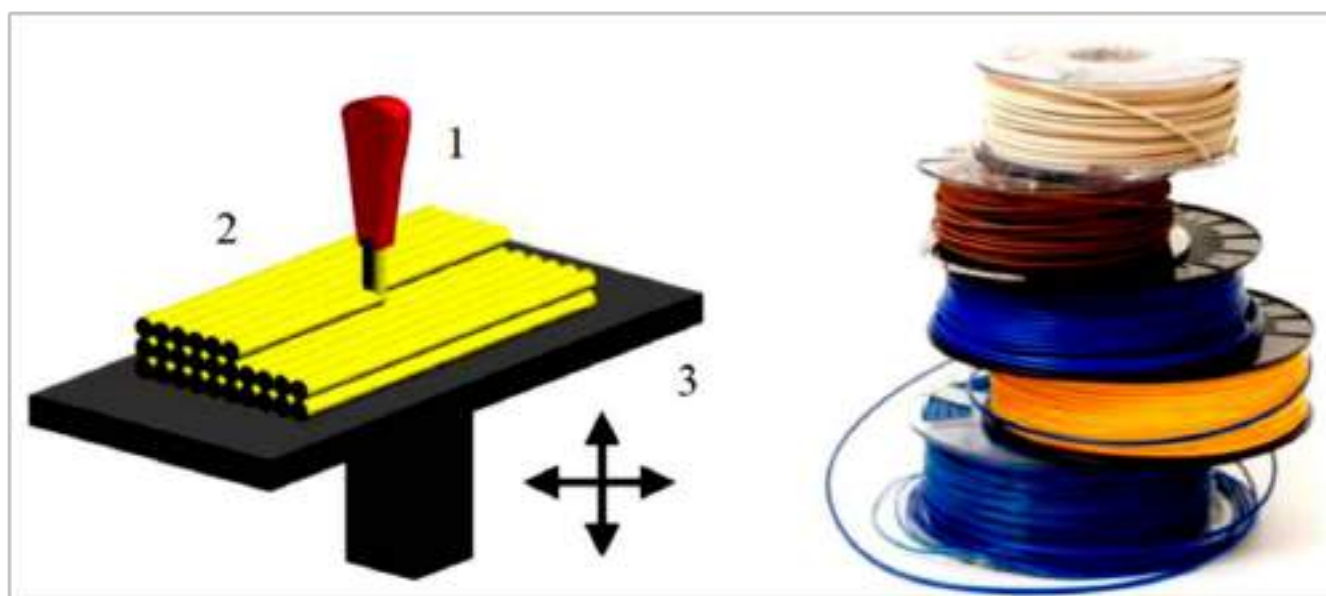


Рисунок 2.3 - Схема побудови виробу за FDM-технологією

Рисунок 2.4 - Катушки з полімерним волокном для FDM- 3D-друку

В якості будівельних матеріалів використовуються різні види термопластичних полімерів: акрилонітрилбутадієнстирол (АБС-пластик), полікарбонат (ПС), полілактид (полімолочна кислота, ПЛА), поліетилен високого тиску (ПЕВД), поліфеніленсульфон та ін., які поставляються у вигляді тонких волокон, як показано на рис. 2.4.

FDM – найпоширеніша технологія 3D-друку. У світі виробляються у великій кількості порівняно недорогі принтери FDM-3D як для промислового застосування, так і для масового споживача. Деякі їх конструктивні варіанти показано на рис. 2.5 та 2.6.



Рисунок 2.5 - 3D-принтер Flash Forge Thor 400 для масового споживача. Конструкція із відкритою камерою. Робоча зона: 400×400×400 мм



Рисунок 2.6 - Професійний 3D-принтер Stratasys F770. Робоча зона: 1000×610×610 мм

2.4.2. Multiphase Jet Solidification

Сутність MJS-технології: процес побудови виробу здійснюється за аналогією з FDM, відмінність полягає в тому, що в місце побудови виробу подається не розплавлене волокно з термопластичного полімеру, а пастоподібна суміш металевого порошку і сполучного (пластифікатора) матеріалу. Ця суміш видавлюється через екструдер, що підігрівається. Потім отриману 3D-заготовку (її називають грін-

моделлю – «green» означає «зелена», сира) поміщають у піч для видалення сполучного матеріалу та подальшого спікання.

Зазвичай заготовку піддають спочатку попередньому, а потім остаточному спіканню, в результаті чого створюється готовий виріб з високою щільністю, що дорівнює 95-98% щільності компактного матеріалу. При цьому в залежності від складу порошкових компонентів і сполучного матеріалу лінійне усадження при спіканні становить 10-16%.

Можливий також інший підхід до підвищення щільності виробу шляхом інфільтрації (тобто просочення) заготовки розплавленим металом після її попереднього спікання. Інфільтрат повинен мати нижчу температуру плавлення, ніж пористе тіло заготовки, і не вступати з ним в реакції. Завдяки інфільтрації усадка суттєво зменшується і, крім того, збільшується міцність виробу.

Схема MJS-процесу показана на рис. 2.7, зовнішній вигляд MJS-3D-принтера - на рис. 2.8.

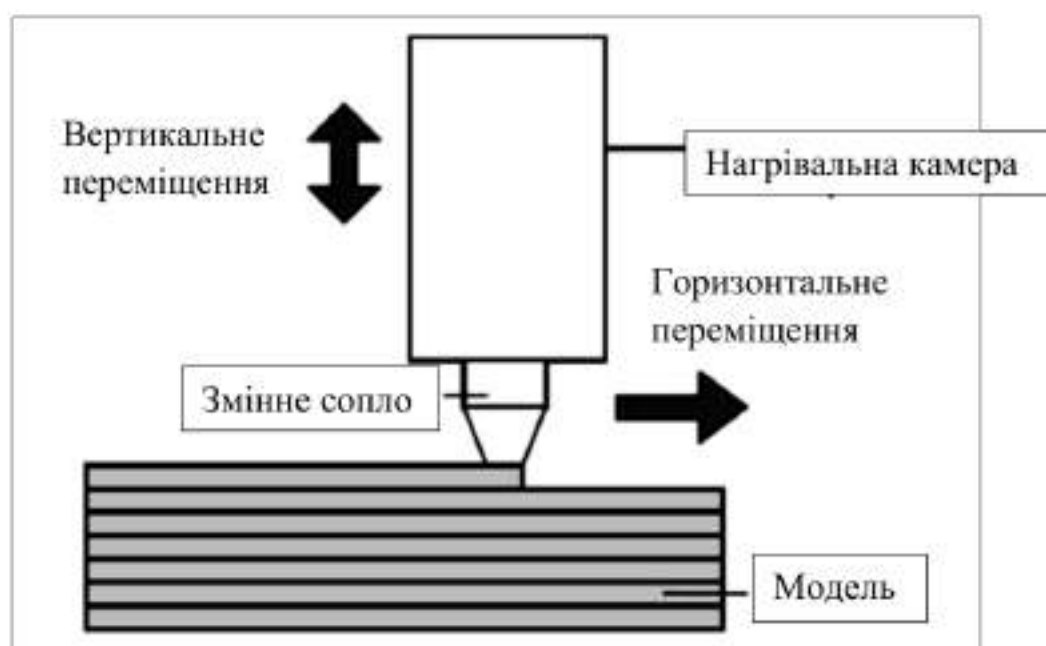


Рисунок 2.7 – Схема реалізації MJS-процесу

2.4.3. Direct Ink Writing

Сутність DIW-технології: процес побудови виробу здійснюється за аналогією з FDM, відмінність полягає в тому, що в місце побудови виробу подається не розплавлене волокно з термопластичного полімеру, а «чорнила» у вигляді

в'язкотекучих матеріалів, які видавлюються з екструдера і відразу ж затверджуються під дією різних факторів.

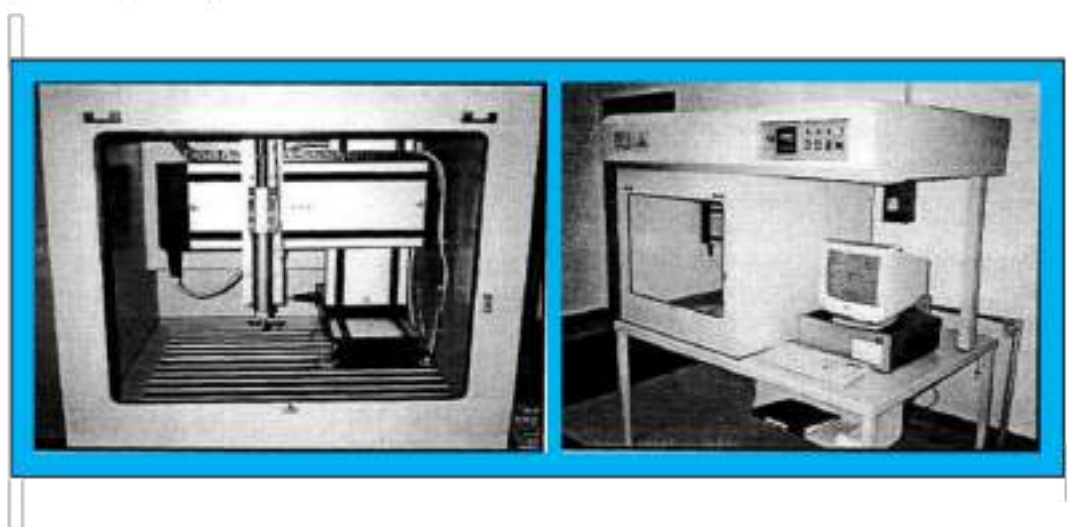


Рисунок 2.8 – 3D-принтер RP Jet-200 MJS. Зліва – екструдер та система переміщення, праворуч – робоча камера та пульт комп'ютерного керування

Наприклад, таким фактором може бути ультрафіолетове (УФ) опромінення, якщо матеріал, що екструдується, є фотополімером (рис. 2.9). Також екструдовані матеріали в залежності від складу можуть тверднути в результаті випаровування рідини, гелеутворення, хімічних реакцій, викликаних розчинником або зміною температури.

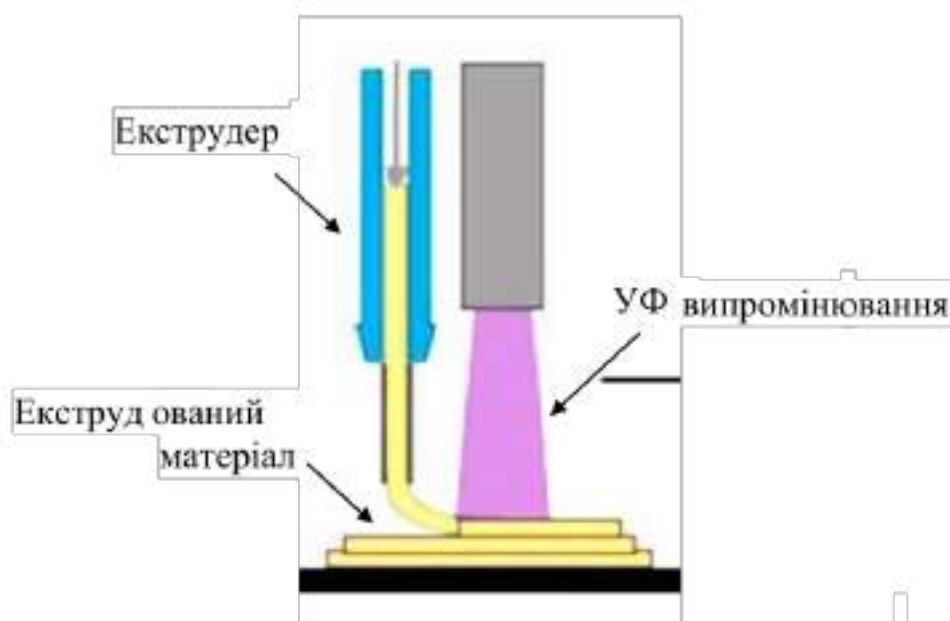


Рисунок 2.9 – Схема DIW-процесу

2.4.4. Inkjet Printing

Сутність ІР-технології: «чорнила» в вигляді рідкого фотополімеру або розплавленого (нагрітого до напіврідкого стану) термопластичного полімеру (воскового матеріалу) або у вигляді суспензії впорскують через сопло друкуючої головки в місце побудови виробу, де фотополімер і термопласт затверджуються під дією ультрафіолетового випромінювання або охолодження відповідно, а тверді частинки суспензії агломеруються.

ІР-технологія 3D-друку за принципом реалізації подібна до технології 2D-друку, що здійснюється за допомогою звичайного струменевого принтера. Основним елементом ІР-3D-принтера є багатоструменева друкуюча головка, яка має безліч дрібних сопел (це знаходить відображення в інших назвах цієї технології – Multi-Jet Modeling та Poly-Jet). Через сопла друкуючої головки випорскуються мікрокраплями фотополімерна смола (або інший будівельний матеріал). Особливість багатоструменевого 3D-друку полягає в тому, що друкуюча головка, переміщуючись над зоною друку, укладає мікрокраплі фотополімерної смоли всією своєю площею, тобто за участю всіх сопел, які включаються в роботу селективно відповідно до попередньо створеної керуючої програми. Як наслідок, побудова виробу відбувається не в якійсь окремій точці, а відразу всією площиною друкуючої головки.

Схему MJM-процесу показано на рис. 2.10, зовнішній вигляд MJS-3D-принтера – на рис. 2.11.

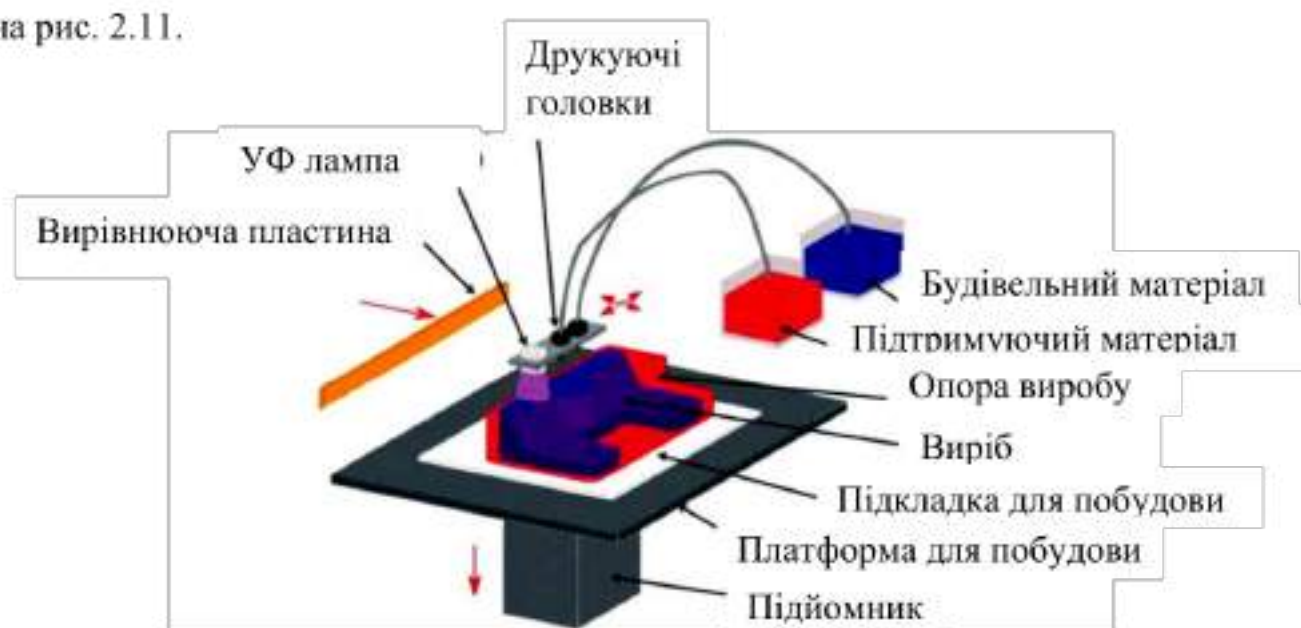


Рисунок 2.10 – Схема MJM-процесу



Рисунок 2.11 - MJM-3D-принтер 3D Systems ProJet 3510 HD. Робоча зона: 298×183×203мм

2.4.5. Three Dimensional Printing

Сутність 3DP-технології: порошок металу, полімеру, скла або ін. будівельного матеріалу наноситься пошарово на платформу, на кожен шар за допомогою струминної головки селективно краплями подається сполучна речовина, яка зв'язує (склеює) частинки порошку між собою та з попередніми шарами. Характерна риса цієї технології полягає в подачі крапель сполучного матеріалу на шар порошку, звідси її інша назва - Drop on Powder.

Технології 3D-друку категорії Binder Jetting, як і технології 3D-друку категорії Material Jetting, відносяться до струменевих технологій. Відмінність між ними полягає в тому, що в першому випадку в зону побудови впорскують сполучний реагент, а в другому – будівельний матеріал.

Зовнішній вигляд 3DP-принтера показано на рис. 2.12, схему 3DP-процесу – на рис. 2.13.



Рисунок 2.12 – 3DP-принтер ExOne M-Flex. Робоча зона: 400×250×250 мм

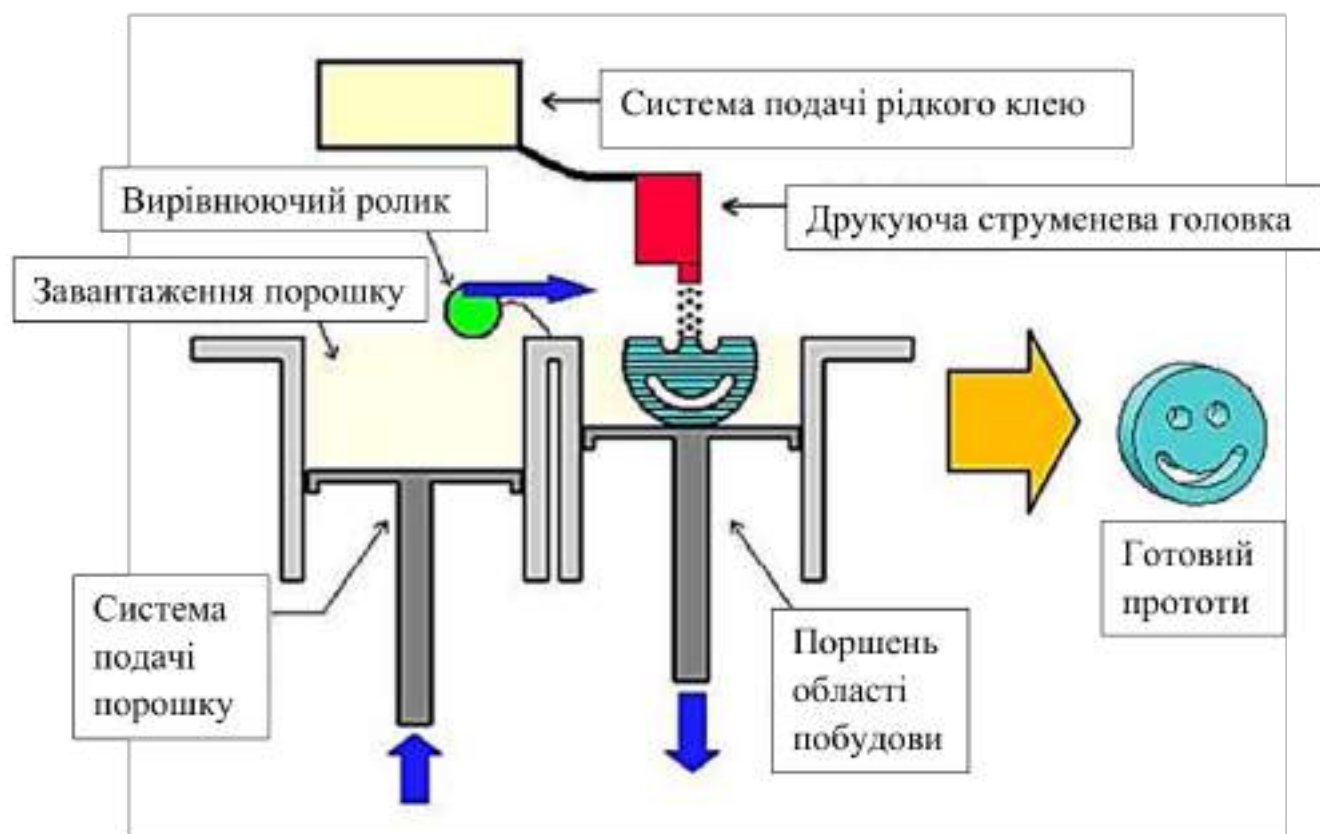


Рисунок 2.13 – Схема 3DP-процесу

2.4.6. Laminated Object Manufacturing

Сутність LOM-технології: листовий будівельний матеріал пошарово укладається в стопку, шари з'єднуються (склеюються) один з одним, причому з кожного шару вирізуються форми необхідної конфігурації, а надлишки матеріалу видаляються.

Таким чином, LOM-процес реалізується за схемою "пакування-з'єднання-різання зі склеюванням", звідси його інша назва - Stack-bond-cut-Glue-Sheet Lamination (SBC-Glue-SL).

Будівельний матеріал зазвичай використовується у вигляді стрічки, намотаної в рулон: це можуть бути тонколистий папір, полімерна плівка, металева фольга тощо. Поверхня стрічки попередньо покривається клеєм, що термоактивується.

Побудова виробу за LOM-технологією відбувається так: листовий будівельний матеріал періодично подається з рулону на робочу платформу; нагрітий валик прокочується на шарі, поданому на платформу, забезпечуючи його приклеювання до нижчого шару; лазерний промінь вирізує в цьому шарі форму потрібної форми, при

цьому зайві залишки шару розрізаються на дрібні шматочки для подальшого видалення; далі процедури побудови повторюються, після завершення їх весь зайвий матеріал видаляється, а отриманий виріб знімається з платформи.

Схему LOM-процесу показано на рис. 2.14, зовнішній вигляд 3DP-принтера – на рис. 2.15.

Різновидом LOM-технології є SDL-технологія, яка відрізняється тим, що листи будівельного матеріалу, що послідовно укладаються, склеюються не повністю по всій площі, а тільки по окремих ділянках, які підлягають з'єднанню в процесі побудови виробу.

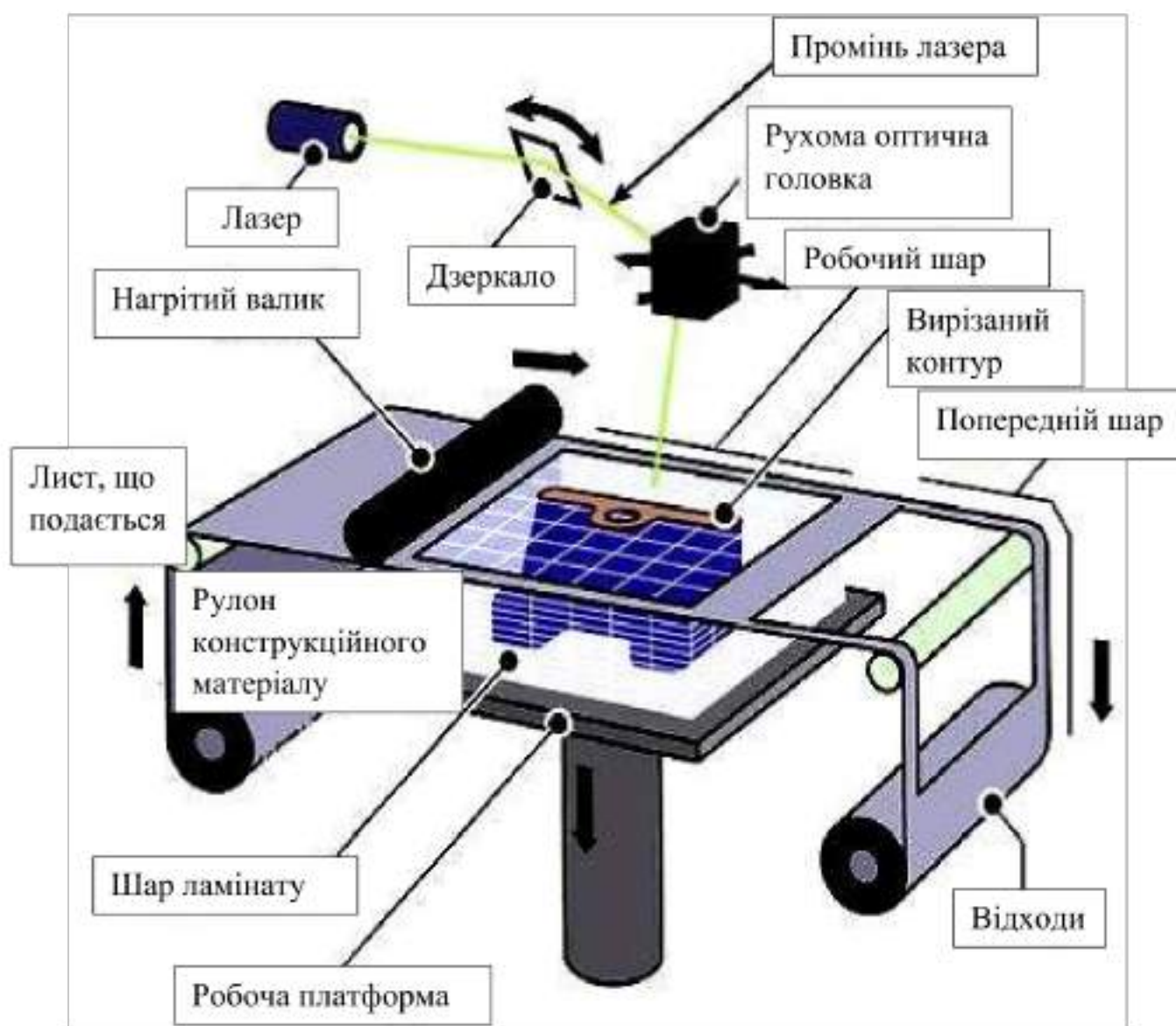


Рисунок 2.14 – Схема LOM-процесу



Рисунок 2.15 – LOM-3D-принтер Matrix 300+. Робоча зона: 256×169×150 мм

2.4.7. Ultrasonic Additive Manufacturing

Сутність UAM-технології: металева фольга пошарово укладається в стопку, шари з'єднуються один з одним за рахунок ультразвукового (УЗ) зварювання з наступним вирізанням у кожному шарі викрійки необхідної конфігурації за допомогою різального інструменту або лазерного променя та видаленням надлишків матеріалу.

Таким чином, UAM-процес реалізується за схемою "пакування-з'єднання-різання з ультразвуковим зварюванням", звідси його інша назва - Stack-bond-cut-US-Weld-Sheet Lamination (SBCUS-Weld-SL). На рис. 2.16 показано схему UAM-процесу.

Тонка металева фольга, що пошарово укладається, піддається обробці УЗ хвилеводом, який притискає верхній шар фольги до нижчого шару. Одночасно хвилевод вібрує з частотою 20 кГц перпендикулярно до напрямку руху. В результаті забезпечується УЗ зварювання шарів фольги, які утримуються в певному місці за допомогою затискного та натяжного механізмів. Кожен шар фольги піддається контурному розкрою за допомогою фрези.

2.4.8. Stack-cut-bond-Sheet Lamination

Сутність SCB-SL-технології: металеві листи по чергово укладають у стопку та вирізають із них лазером викрійки, які з'єднують одну з одною. За характером з'єднання викрійок розрізняють два варіанти даної технології: Stack-cut-bond-Solder-

Sheet Lamination (Solder – «паяння») та Stack-cut-bond-D-Weld-Sheet Lamination (D-Weld = Diffusion Weld - "дифузійне зварювання").

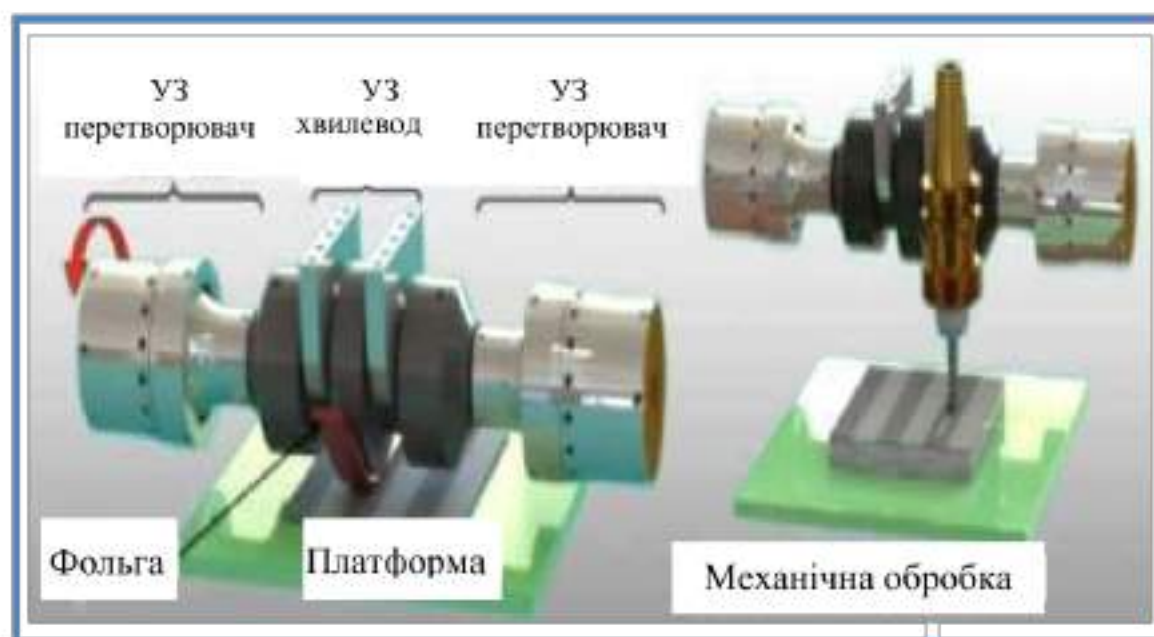


Рисунок 2.16 – Схема UAM-процесу

Stack-cut-bond-Solder-Sheet Lamination, SCB-Solder-SL – металеві листи послідовно пакують і розрізають лазером, кожен отриманий листову викрійку покривають шаром паяльної пасту, який вирівнюють шляхом прокатки ролик, потім стопку викрійок стискають нагрітими плитами, в результаті чого між викрійками створюється паяне з'єднання. Схему SCB-Solder-SL-процесу показано на рис. 2.17.

Основними компонентами SCB-Solder-SL-3D-принтера є механізм подачі, який просуває металевий лист над робочою платформою, лазер для вирізування контуру деталі в кожному шарі листа, дозатор, який розподіляє паяльну пасту на металеві листи, валик, що розгладжує пасту до однорідного шару, нагрівальні пластини для застосування тиску і тепла для склеювання листів, покритих паяльною пастою, один з одним. Процес можна розділити на два етапи, перший з яких включає різання та укладання шарів, а другий – з'єднання шарів для виробництва кінцевого продукту.

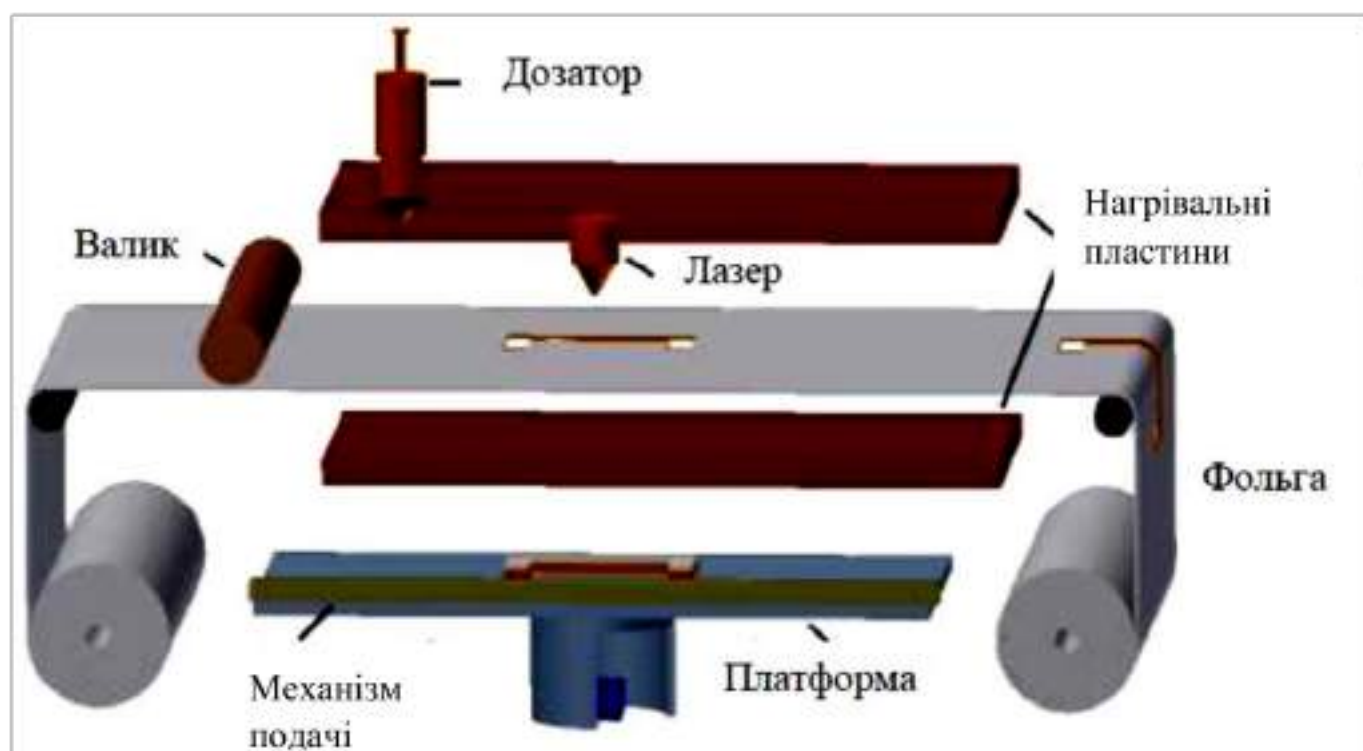


Рисунок 2.17 – Схема SCB-Solder-SL-процесу

Stack-cut-bond-D-Weld-Sheet Lamination, SCB-D-Weld-SL – металеві листи почергово пакують і розрізають лазером, отримані викрійки з'єднують дифузійним зварюванням, для чого стопки викрійок піддають пресуванню в печі.

Дифузійно-зварювальне з'єднання пакетованих металевих листів відбувається в результаті їх пресування при високій температурі протягом певного часу, достатнього для того, щоб листи з'єдналися по всій площі з повним закриттям усіх мікроскопічних пор на межі розділу.

2.4.9. Cut-stack-bond-Sheet Lamination

Сутність CSB-SL-технології: з листового будівельного матеріалу вирішуються форми необхідної конфігурації, які послідовно укладаються в стопку і з'єднуються одна з одною.

Таким чином, в даному випадку SL-процес реалізується за схемою «різання-пакетування-з'єднання» («cut-stack-bond»), що відбивається в назві процесу.

При побудові за схемою CSB листи будівельного матеріалу зазвичай розкрояють в автоматизованому режимі за допомогою лазерних або фрезерних

розкрійних верстатів, що серійно випускаються (рис. 2.28 і 2.19).



Рисунок 2.18 – Верстат лазерного різання LaserCUT-3015-1. Розкрійний стіл: 1,5×3 м. Листові матеріали, що різуться: сталь, алюмінієві та мідні сплави



Рисунок 2.19 – Фрезерний розкрійний верстат SG1630. Розкрійний стіл: 1,55×3 м. Листові матеріали, що різуться: деревина, пластик, кольоровий метал

Наступне пакування отриманих листових викрійок та їх з'єднання важко піддаються автоматизації, тому ці операції виконують вручну. Під час пакування викрійок важливо забезпечити їх точне взаєморозташування в стопці, для чого в них

роблять, наприклад, спеціальні отвори через які проходять напрямні стрижні. Можливі й інші способи фіксації положення викрійок, що укладаються в стопку (за допомогою виступів, прорізів, спеціальних пристосувань-упорів). Листи в стопці з'єднують за допомогою клею, паянням, зварюванням, також їх можна стягувати болтами. Листи, що використовуються при побудові виробів, в силу особливостей поводження з ними повинні мати певну жорсткість, тому їх товщина, як правило, значно більша, ніж у листових будівельних матеріалів, що використовуються в інших варіантах SL-технології – тонколистового паперу, полімерної плівки, металевої фольги і т.п.

2.4.10. Stereolithography Apparatus

Сутність SLA-технології: шари рідкого фотополімеру, що послідовно наносяться, селективно тверднуть під дією випромінювання лазера, що працює в ультрафіолетовому (УФ) діапазоні.

SLA-процес здійснюється таким чином. У залитий фотополімером бак занурюється платформа, виконана з можливістю вертикального переміщення. Платформа спочатку встановлюється так, щоб над нею був сформований шар рідкого фотополімеру заданої товщини. Цей шар піддається дії променя УФ-лазера, що сканує поверхню шару. При цьому шар селективно твердне, в результаті чого створюється перший шаруватий елемент виробу. Потім платформа занурюється в бак, так щоб над цим елементом утворився новий шар рідкого фотополімеру, який селективно твердне, і т.д. до повної побудови виробу.

Сканування лазерним променем поверхні шару рідкого фотополімеру здійснюється шляхом відхилення променя призмами та/або дзеркалами, які рухаються спеціальною автоматизованою системою. При цьому промінь рядковим чином засвічує ті області шару, які повинні бути затверділими (полімеризованими). Схему SLA-процесу показано на рис. 2.20, зовнішній вигляд SLA-3D-принтера – на рис. 2.21.

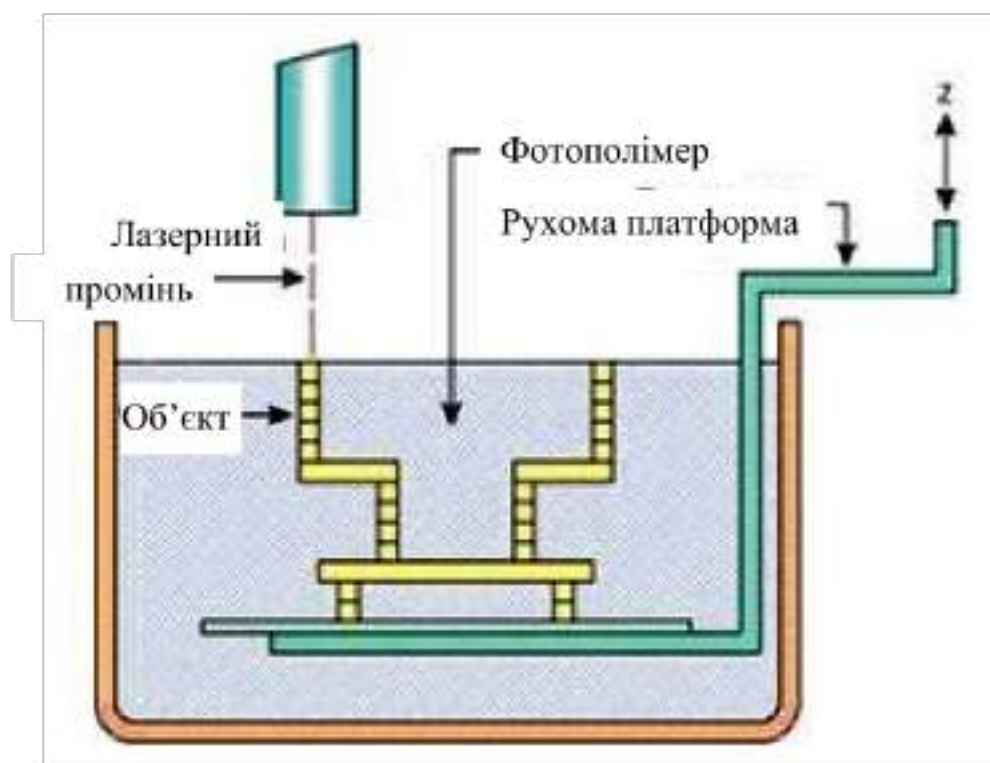


Рисунок 2.20 – Схема SLA-процесу



Рисунок 2.21 – SLA-3D-принтер Wiiboox 3DSL450

2.4.11. Digital Light Processing

Сутність DLP-технології: процес відбувається за аналогією з SLA-процесом, відмінність полягає в тому, що шари рідкого фотополімеру селективно тверднуть під дією не лазерного УФ променя, а потоку УФ випромінювання, сформованого

матрицею точкових джерел світла (цифровим світлодіодним проектором).

Основним елементом проектора є цифровий мікродзеркальний пристрій (Digital Micromirror Device), що є матрицею з мікроскопічних дзеркал, на які падає потік світла. Дзеркала виконані з можливістю програмної зміни своєї орієнтації за допомогою спеціальної мікроелектронної системи. Кожне дзеркало можна переводити в одне з двох положень: у першому положенні воно відображає світловий потік, що потрапляє на нього, направляючи його на лінзу і далі на шар рідкого фотополімеру, у другому положенні – відхиляє світловий потік у бік від лінзи (на світлопоглинач). В результаті злагодженого впливу всієї матриці на шар рідкого фотополімеру падає світлова картинка певної конфігурації, викликаючи його селективне затвердіння.

Отже, на відміну від SLA-3D-принтера, рядково скануючого поверхню шару лазерним променем, DLP-3D-принтер проектує світлову картинку відразу на всю поверхню шару до селективного затвердіння фотополімеру, після чого формується і селективно твердіє новий шар фотополімеру.

Схему DLP-процесу показано на рис. 2.22, зовнішній вигляд 3DP-принтера – на рис. 2.23.

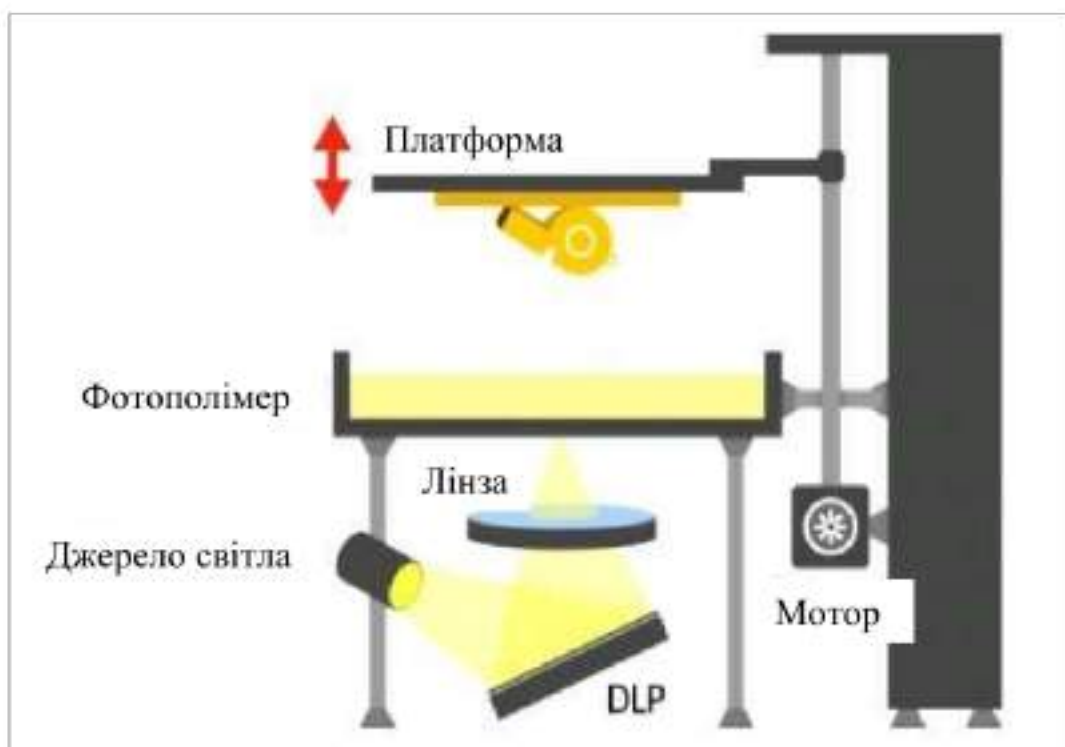


Рисунок 2.22 – Схема DLP-процесу



Рисунок 2.23 – DLP-3D-принтер DM250. Робоча зона: 250×140×250 мм

2.4.12. Mask Projection Stereolithography

Сутність MPSL-технології: процес відбувається за аналогією з SLA-процесом, відмінність полягає в тому, що шари рідкого фотополімеру селективно тверднуть під дією не лазерного УФ променя, а потоку УФ випромінювання, сформованого лампою і проходить через маску (фотошаблон) відповідного контуру.

MPSL-процес включає два цикли. Перший цикл – маскування: на скляну пластину наноситься необхідний візерунок за допомогою фотокопіювальної системи, що видаляється після світлової обробки. Інший цикл – побудова виробу: затвердіння шару рідкого фотополімеру під впливом потоку світла через маску. Далі цикли повторюються до завершення побудови виробу.

Схему MPSL-процесу показано на рис. 2.24, зовнішній вигляд MPSL-3D-принтера – на рис. 2.25.

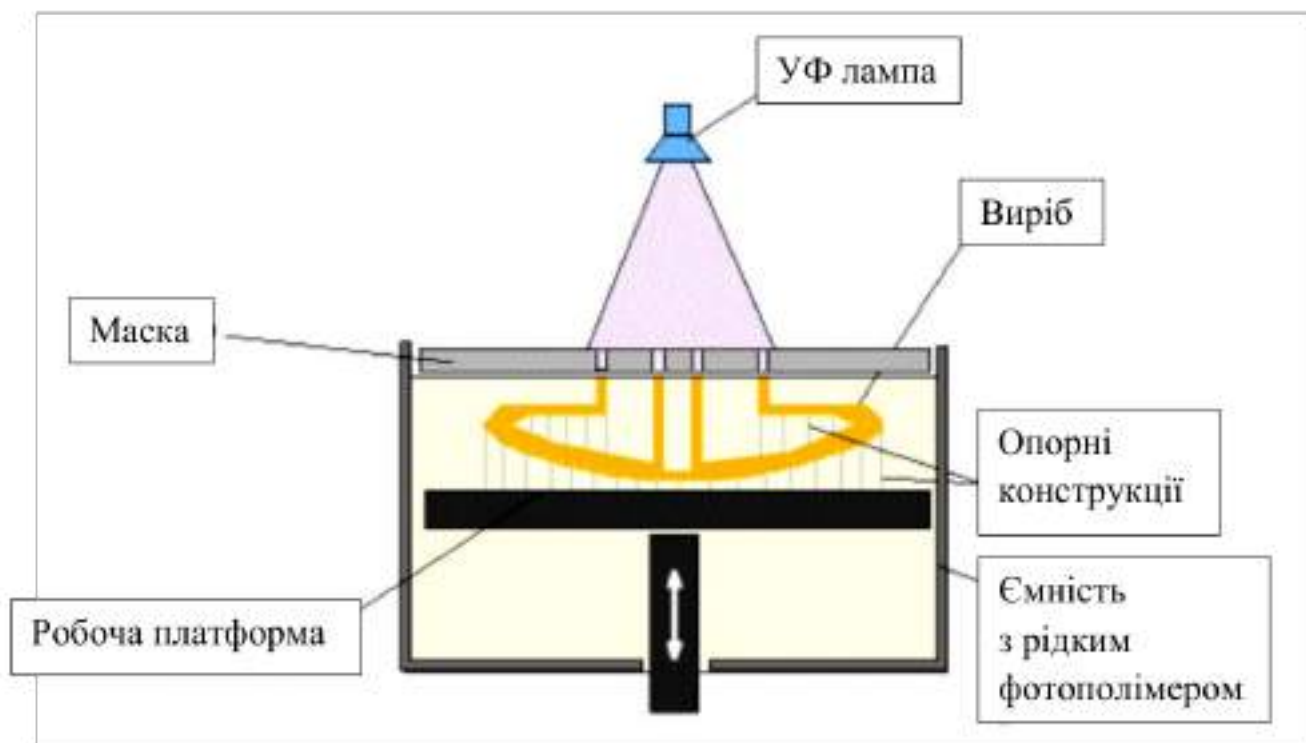


Рисунок 2.24 – Схема MPSL-процесу



Рисунок 2.25 – MPSL-3D-принтер 3D Systems V-Flash FTI 230. Робоча зона: 250×140×250 мм

2.4.13. Selective Laser Sintering

Сутність SLS-технології: шари порошку, що послідовно наносяться, селективно спікаються лазером.

SLS-процес здійснюється наступним чином. Спеціальний механізм подає порошок із камери з витратним будівельним матеріалом в камеру побудови виробу, формуючи шар порошку заданої товщини. Цей шар піддається селективному спіканню лазерним променем, що сканує поверхню шару. Одночасно він спікається з нижчим раніше спеченим шаром. Потім будівельна платформа опускається вниз на крок, рівний товщині шару, що формується. Усі операції повторюються до того часу, поки виріб буде повністю побудовано.

Лазерному спіканню можна піддавати як однорідні по складу порошки, так і порошкові суміші.

При спіканні однорідного складу порошку в результаті лазерного нагріву забезпечується поверхневе оплавлення його частинок, при цьому ядра частинок залишаються твердими. Завдяки пливці розплаву, що утворилася на поверхні, частки зв'язуються одна з одною. Після припинення дії лазерного променя розплав твердне і утворюється спечене монолітне тіло.

Насправді широкого поширення набуло лазерне спікання сумішей двох порошків, що мають різні температури плавлення. При цьому легкоплавкі частинки повністю розплавляються, огортаючи тугоплавкі частинки, які залишаються твердими. Даний варіант спікання технічно простіший у здійсненні і дозволяє отримувати щільніше спечене тіло. Замість суміші двох порошків можна спікати лакований порошок, що складається з тугоплавких частинок, покритих легкоплавкою оболонкою. В якості будівельних матеріалів використовуються порошки різних металів, полімерів, скла, кварцовий пісок і т.п.

Схему SLS-процесу показано на рис. 2.26, зовнішній вигляд SLS-3D-принтера – на рис. 2.27.

2.4.14. Selective Laser Melting

Сутність SLM-технології: шари порошку, що послідовно наносяться, селективно сплавляються лазером. SLM-процес здійснюється за аналогією з SLS-процесом, особливість його полягає в тому, що лазерній обробці піддаються порошки

металів (сталі, кольорових металів та їх сплавів), які в результаті лазерного нагріву не спікаються, а сплаваються (переплавляються).

Важливою умовою здійснення SLM-процесу є створення захисного середовища, що запобігає окисленню металевих порошків, для чого використовують інертні гази – аргон або азот.

Схему SLM-процесу показано на рис. 2.28, зовнішній вигляд SLM-3D-принтера – на рис. 2.29.

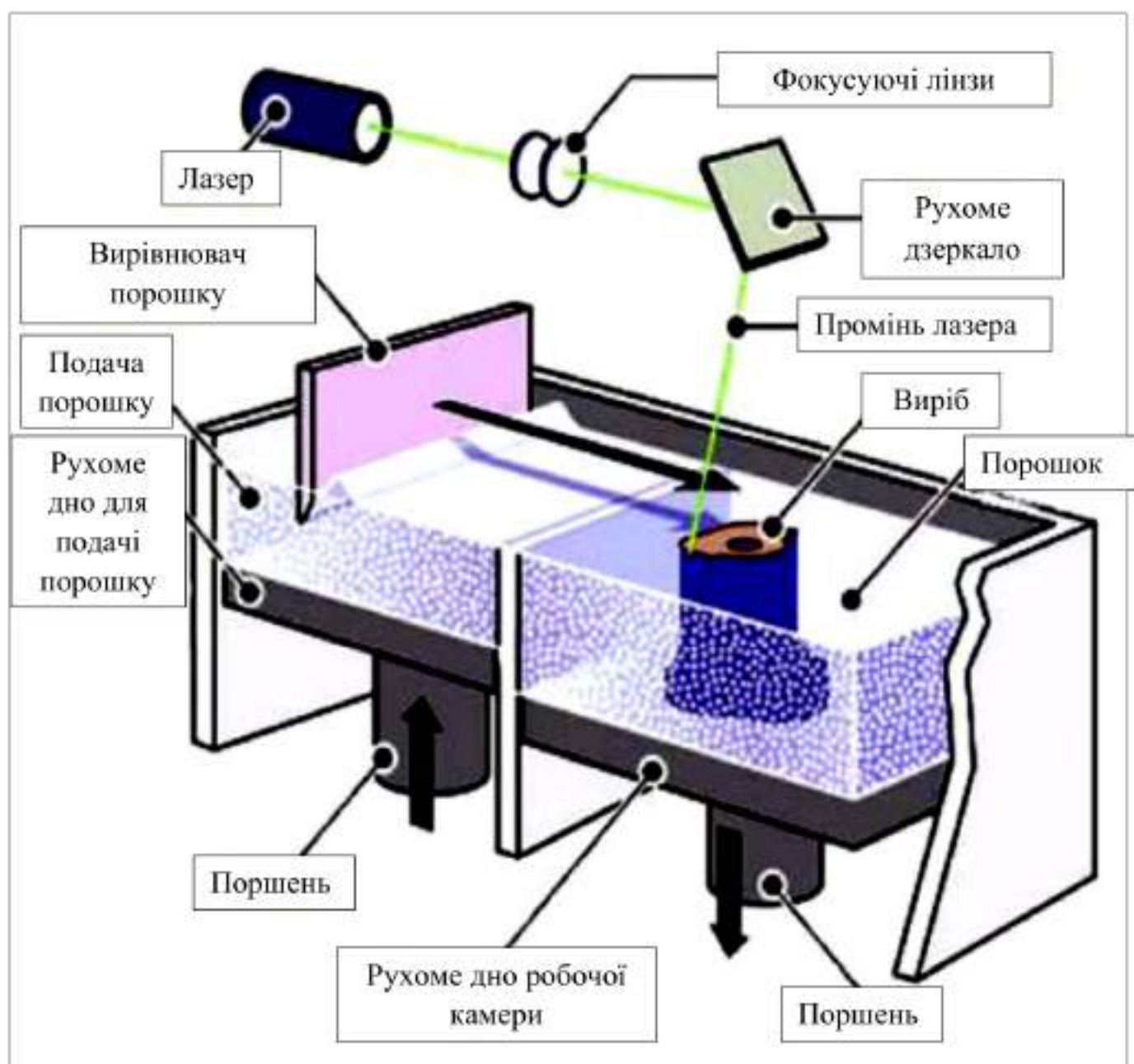


Рисунок 2.26 – Схема SLM-процесу



Рисунок 2.27 – SLS-3D-принтер 3D Red Rock. Робоча зона: 200 200 180 мм.
Будівельний матеріал: порошковий пластик

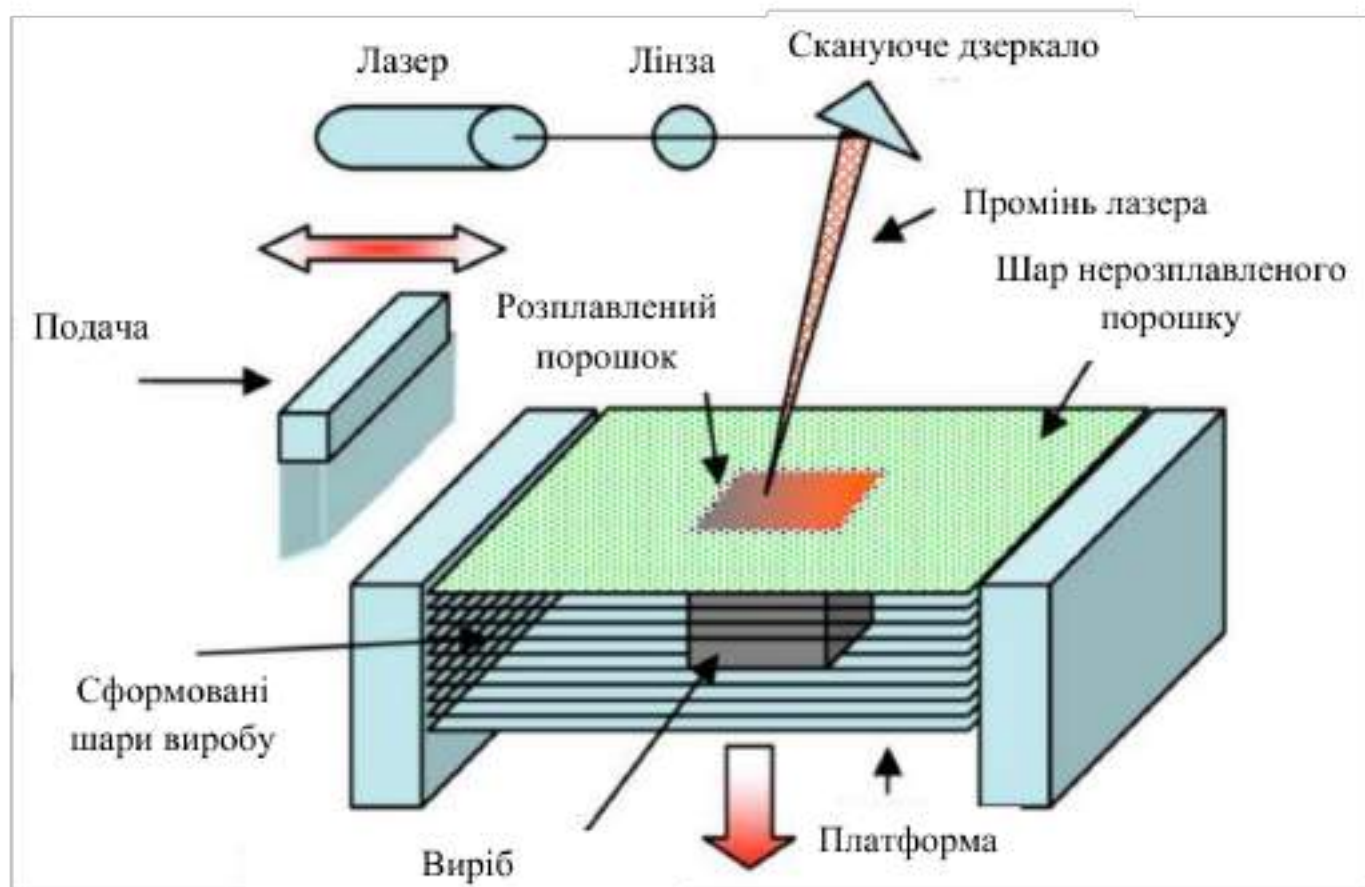


Рисунок 2.28 – Схема SLM-процесу



Рисунок 2.29 – SLM-3D-принтер SLM 500. Робоча зона: 500×280×365мм

2.4.15. Electron Beam Melting

Сутність EBM-технології: процес відбувається за аналогією із SLM-процесом, відмінність полягає в тому, що шари металевого порошку плавляться не лазером, а електронним променем. Характерна здатність EBM-процесу полягає в тому, що його необхідно проводити у вакуумі.

Зовнішній вигляд EBM-3D-принтера показано на рис. 2.30.



Рисунок 2.30 – 3D-принтер Arcam EBM Q10plus. Робоча зона: 200×200×180мм

2.4.16. Direct Laser Metal Deposition

Сутність DLMD-технології: металевий порошок (або дріт) подається безпосередньо в місце побудови виробу, де піддається лазерному пошаровому наплавленню.

Схему DLMD-процесу показано на рис. 2.31, зовнішній вигляд DLMD-3D-принтера – на рис. 2.32.

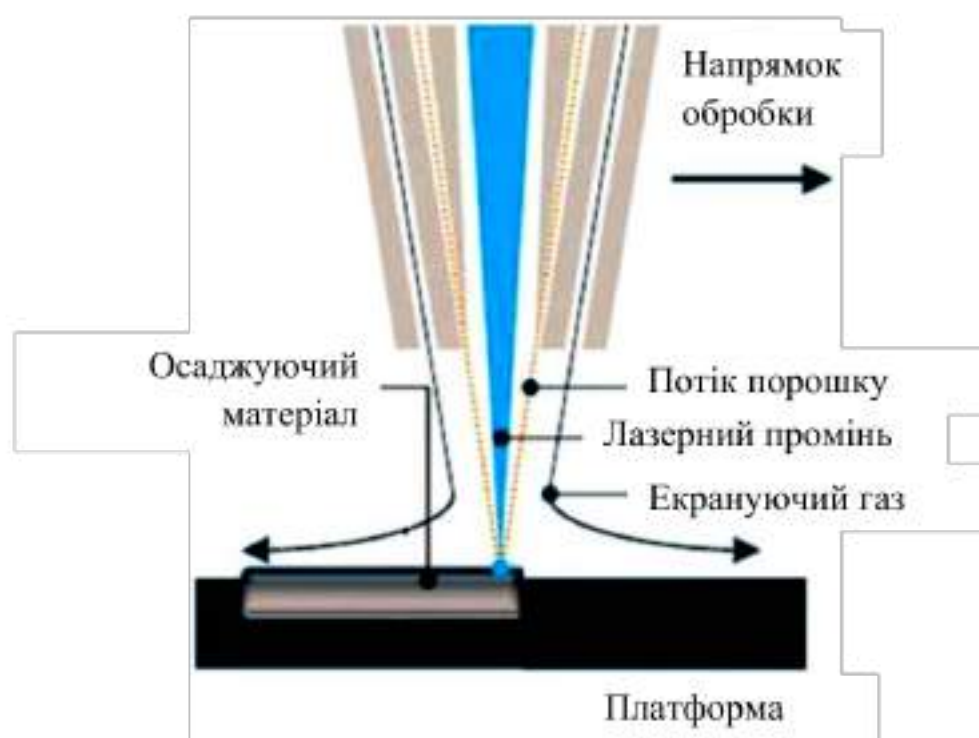


Рисунок 2.31 – Схема DLMD-процесу



Рисунок 2.32 – DLMD-3D-принтер

За аналогією з DLMD-процесом здійснюється LENS-процес, відмінність його полягає в тому, що в зону лазерного наплавлення може подаватися не один вид, а два або більше видів металевих порошків, в результаті створюються вироби з градієнтним складом.

2.5. Порівняльна оцінка адитивних та традиційних технологій

АМ-технології в порівнянні з традиційними технологіями мають ряд переваг, описаних нижче.

1. Висока гнучкість виробництва, висока швидкість освоєння випуску нових виробів.

Комп'ютерні 3D-моделі майбутніх виробів, що створюються в рамках реалізації АМ-технологій, можуть за допомогою електронної пошти швидко передаватися на підготовку до 3D-друку, а потім – у наступну 3D-друк, у тому числі, за потреби, вони можуть пересилатися на будь-які відстані. Для цього не потрібно мати традиційні креслення та натурні моделі. Це означає, що фахівці, які створюють комп'ютерні 3D-моделі та готують їх до 3D-друку, і оператори 3D-принтерів, які виготовляють вироби на основі цих моделей, можуть перебувати в будь-яких точках світу, але, незважаючи на це, обмін технічною інформацією між ними буде проводитися без затримок (майже миттєво). Як наслідок, час від комп'ютерного 3D-моделювання до запуску у виробництво суттєво скорочуватиметься.

При створенні нових виробів, адитивні технології дозволяють виключати з виробничого циклу традиційне проектування, а замість цього оперативно вносити коригування в комп'ютерні 3D моделі виробів, що проектуються, і пересилати файли зі зміненими проектними рішеннями електронною поштою для 3D-друку прототипів (експериментальних зразків) виробів та їх подальших випробувань.

Завдяки застосуванню АМ-технологій можна отримувати практично готові вироби, у яких або немає припусків на обробку, або ці припуски мінімальні, в тому числі можна отримувати такі вироби, які за своїми характеристиками перевершують вироби, створені за допомогою традиційних технологій.

2. Велика свобода проектування виробів.

АМ-технології відкривають шлях до широкого використання передових методів проектування, включаючи топологічну оптимізацію та біологічний дизайн. Як наслідок стає можливим отримувати вироби такої конструкції, яка не може бути досягнута при їх виготовленні іншими способами, у тому числі: створювати вироби складної нестандартної форми; замінювати складання декількох простих деталей однією складнішою деталлю, що поєднує в собі прості деталі; формувати сітчасті та комірчасті структури замість суцільних структур; забезпечувати функціонально-градієнтний розподіл властивостей матеріалу виробу за рахунок зміни параметрів процесу адитивної побудови.

Наприклад, АМ-технології дозволяють створювати у виробі внутрішні звивисті канали або закриті конформні порожнини, чого неможливо досягти за допомогою традиційних технологій, таких як лиття, обробка різанням або тиском.

3. Низька собівартість виробництва одиничних виробів (малих партій виробів).

Економічна ефективність застосування АМ-технологій в умовах одиничного виробництва, особливо коли вироблені вироби мають складну форму, забезпечується за рахунок відсутності необхідності спеціально створювати дороге формоутворювальне оснащення або здійснювати складну механічну обробку, а також за рахунок малих відходів матеріалів, що йдуть на виготовлення (рис. 2.33).

Разом з тим АМ-технології мають наступні недоліки, що стримують їх широке застосування:

- 1) обмежена номенклатура витратних матеріалів;
- 2) обмежені розміри робочої зони АМ-обладнання (3D-принтерів), і, відповідно, обмежені розміри виробів, що виготовляються;
- 3) недостатньо висока точність виготовлення виробів, що визначається точністю роботи обладнання, а також деякими технологічними факторами (наприклад, усадкою порошкового матеріалу при спіканні або сплавленні);
- 4) недостатньо низька шорсткість поверхні виготовлених виробів, зокрема наявність ступінчастого рельєфу поверхні, обумовленого пошаровим характером побудови виробів;

5) необхідність у ряді випадків проводити подальшу обробку (постобробку) виготовлених виробів, у тому числі:

- термообробку для покращення структури та механічних властивостей матеріалу виробів;
- видалення опорних (підтримуючих) структур;
- очищення виробів від залишків сировинних матеріалів;
- усунення дефектів побудови виробів;
- обробку поверхні виробів для досягнення необхідної шорсткості, нанесення спеціальних покриттів;

б) висока вартість 3D-принтерів та витратних матеріалів (для окремих видів АМ-технологій); неконкурентна вартість продукції за великих обсягів випуску.

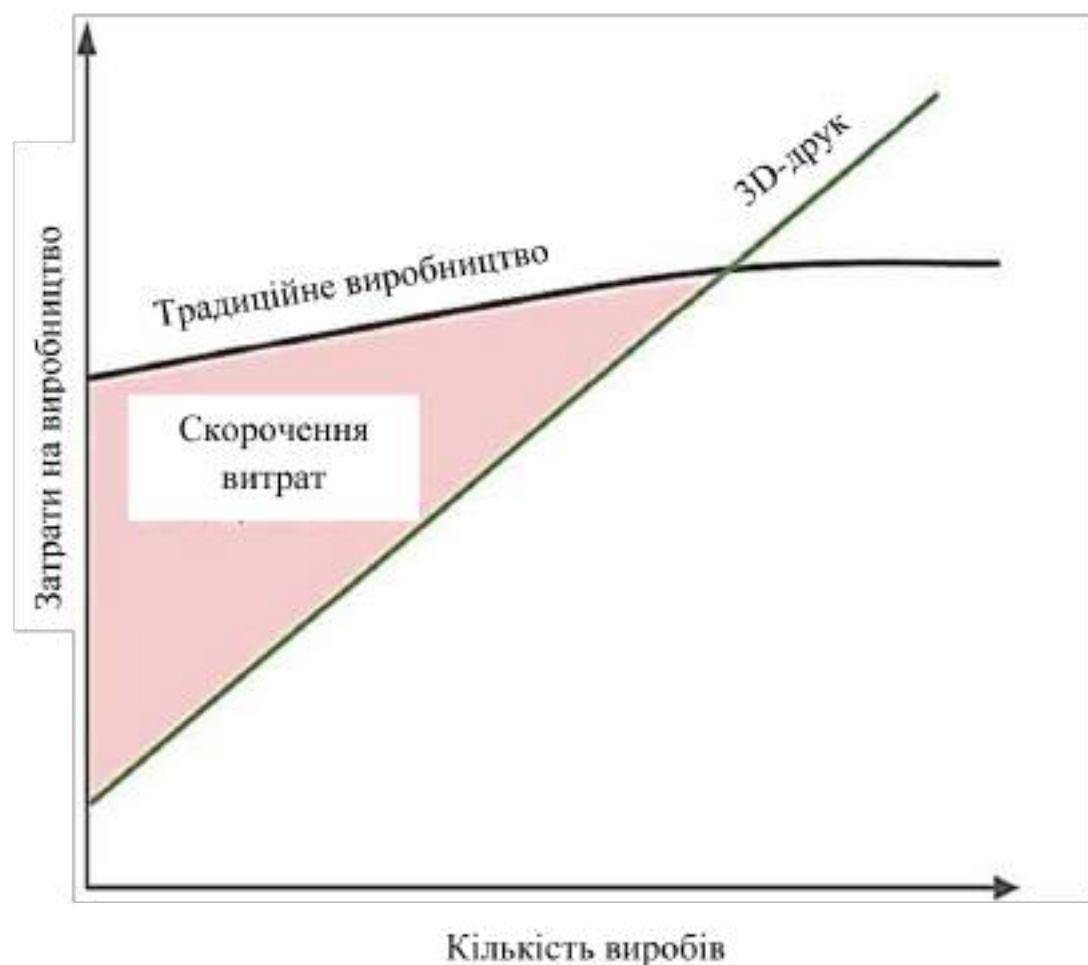


Рисунок 2.33 – Залежність вартості моделей виробу від кількості зразків, виготовлених за традиційними технологіями та АМ-технологіям

До факторів, що стримують широке застосування АМ-технологій, належать не тільки властиві їм недоліки, розглянуті вище, але також:

- відсутність нормативних документів (стандартів), що регламентують діяльність виробничих підприємств, які освоюють АМ-технології;
- відсутність висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно виробляти та експлуатувати 3D-принтери;
- консерватизм керівництва виробничих підприємств, їхня низька інноваційна сприйнятливість, неготовність до освоєння АМ-технологій.

2.6. Порівняльна оцінка різних видів адитивних технологій

АМ-технології різних видів мають свої особливості та, відповідно, свої переваги та недоліки, які слід враховувати при виборі найбільш прийнятної АМ-технології виготовлення виробів (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Переваги та недоліки різних видів АМ-технологій

Переваги 1	Недоліки 2
FDM	
Висока точність та швидкість, низька вартість, технічна простота реалізації друку; широкий спектр будівельних термопластиків	Розплавлені термопластичні волокна при пошаровому укладанні сплющуються, так що поверхня виробів набуває рельєфу, для згладжування якого доводиться застосовувати постобробку; необхідність створювати підтримуючі елементи для побудови виробів з частинами, що нависають.
MJM	
Мала товщина шару, що наноситься; висока роздільна здатність друку; можливість поєднання будівельних матеріалів з різними властивостями	Необхідність створювати підтримуючі елементи для побудови виробів з частинами, що нависають.
3DP	
Низька вартість, технічна простота реалізації друку без необхідності створювати підтримуючі елементи; широкий спектр будівельних порошкових матеріалів	Велика шорсткість поверхні; надрукований матеріал потребує постобробки (спікання) для зниження шорсткості, підвищення щільності та міцності

1	2
LOM	
Можливість друку великогабаритних виробів без необхідності створювати підтримуючі елементи; висока продуктивність друку за рахунок укладання готових шарів виробу; широкий спектр доступних недорогих будівельних листових матеріалів	Низька точність виготовлення виробів та якість поверхні (виражений ступінчастий рельєф, для згладжування якого доводиться застосовувати постобробку)
SLA	
Висока точність друку; мала товщина шару, що наноситься; висока роздільна здатність друку; можливість виготовлення тонкостінних виробів	Вузький спектр дорогих (часто токсичних) вихідних будівельних матеріалів (рідких фотополімерів); необхідність створювати підтримуючі елементи для побудови виробів з частинами, що нависають; необхідність рекуперації чи утилізації відпрацьованих матеріалів (полімерів та розчинників)
SLS	
Можливість друку без необхідності створювати підтримуючі елементи; широкий спектр будівельних порошкових матеріалів	Надруковані вироби мають пористу структуру та велику шорсткість поверхні, тому зазвичай вимагають постобробки
SLM / LENS	
Можливість друку без необхідності створювати підтримуючі елементи	Висока вартість будівельних матеріалів (металевих порошоків); необхідність здійснювати друк у захисному газовому середовищі

2.7. Гібридні адитивні технології

АМ-технології не можуть повністю замінити традиційні технології виготовлення або ремонту виробів, часто й ті та інші технології застосовуються спільно, доповнюючи одна одну. Оскільки і ті, й інші технології можуть мати як переваги, так і недоліки, то при їхньому спільному застосуванні ставиться завдання досягти найбільшого ефекту виготовлення або ремонту виробів за рахунок максимального виділення переваг та виключення недоліків цих технологій.

Поєднання АМ-технологій та традиційних технологій у рамках єдиного циклу

виготовлення виробів позначають терміном "гібридні АМ-технології" ("комбіновані АМ-технології"). Також використовується термін "адитивно-субтрактивні технології", щоб підкреслити принципову відмінність в особливостях реалізації цих технологій.

Існують різні види гібридних АМ-технологій:

- поєднання АМ-технологій виготовлення прототипів та традиційних технологій виготовлення виробів;
- поєднання АМ-технологій і традиційних технологій виготовлення виробів;
- поєднання АМ-технологій виготовлення виробів і традиційних технологій постобробки;
- поєднання АМ-технологій виготовлення оснастки або інструменту та традиційних технологій виготовлення виробів.

Як особливий вид гібридних АМ-технологій, можна розглядати поєднання різних АМ-технологій виготовлення виробів.

Перелічені вище різновиди гібридних АМ-технологій характеризуються певними особливостями поєднань АМ-технологій та традиційних технологій і, відповідно, різною роллю, яку відіграють АМ-технології під час виготовлення виробів у кожному такому поєднанні.

Загалом усі АМ-технології, що застосовуються для виготовлення виробів, діляться на технології прямого і непрямого виготовлення.

АМ-технології прямого виготовлення забезпечують одержання готового виробу безпосередньо в результаті реалізації. При цьому допускається застосування АМ-технологій прямого виготовлення у поєднанні з традиційними технологіями виготовлення, коли без них неможливо повністю виготовити виріб, або у поєднанні з традиційними технологіями постобробки, коли необхідно усунути специфічні недоліки адитивного виготовлення виробів, що зумовлені пошаровим характером їх побудови.

У свою чергу АМ-технології непрямого виготовлення не дозволяють безпосередньо отримувати готовий виріб.

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИРОБУ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ 3D-ДРУКУ

Для оптимізації підбору параметрів 3D-друку в залежності від необхідних фізико-механічних та експлуатаційних властивостей деталі, необхідно розробити автоматизовану програму, оскільки в даний час програми з подібним функціоналом відсутні.

3.1. Математичний опис коефіцієнтів параметрів 3D-друку, що впливають на характеристики міцності виробу

Як відомо, на міцнісні та експлуатаційні характеристики надрукованого виробу з пластмаси впливають такі параметри: швидкість друку; висота шару; подання матеріалу; відсоток заповнення; температура нагрівання матеріалу.

Для спрощення визначення характеристик деталі залежно від параметрів 3D-друку необхідно встановити залежність між характеристиками міцності філаменту та характеристиками міцності готових зразків. Тоді в укрупненому вигляді певна характеристика деталі, виготовленої на 3D-принтері за FDM технологією, визначатиметься за формулою:

$$X_p = Z \times X_f \times K_v \times K_h \times K_e \times K_f \times K_t \quad (3.1)$$

де Z – масштабний коефіцієнт;

X_f - деяка характеристика філаменту;

X_p - деяка характеристика деталі;

K_v - коефіцієнт, що враховує швидкість друку;

K_h - коефіцієнт, що враховує висоту шару друку;

K_e – коефіцієнт, що враховує подачу матеріалу;

K_f – коефіцієнт, що враховує відсоток заповнення деталі;

K_t – коефіцієнт, що враховує температуру нагрівання термопластичного матеріалу.

Масштабний коефіцієнт Z визначається ставленням площі поперечного перерізу деталі F_d до площі поперечного перерізу філаменту F_ϕ :

$$Z = F_d / F_\phi \quad (3.2)$$

В якості характеристик філаменту і деталі можуть використовуватися: міцність на розтяг; міцність на стискання; ударна в'язкість.

Матриця значень коефіцієнта K_v , що враховує швидкість друку, матиме вигляд

$$K_v = \{K_v\} = \begin{pmatrix} K_{v11} & K_{v12} & K_{v13} \\ K_{v21} & K_{v22} & K_{v23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{vm1} & K_{vm2} & K_{vm3} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Матриця значень коефіцієнта K_h , що враховує висоту шару, матиме вигляд

$$K_h = \{K_h\} = \begin{pmatrix} K_{h11} & K_{h12} & K_{h13} \\ K_{h21} & K_{h22} & K_{h23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{hm1} & K_{hm2} & K_{hm3} \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Матриця значень коефіцієнта K_e , що враховує подачу матеріалу, матиме вигляд

$$K_e = \{K_e\} = \begin{pmatrix} K_{e11} & K_{e12} & K_{e13} \\ K_{e21} & K_{e22} & K_{e23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{em1} & K_{em2} & K_{em3} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Матриця значень коефіцієнта K_f , що враховує відсоток заповнення деталі, матиме вигляд

$$K_f = \{K_f\} = \begin{pmatrix} K_{f11} & K_{f12} & K_{f13} \\ K_{f21} & K_{f22} & K_{f23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{fm1} & K_{fm2} & K_{fm3} \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Матриця значень коефіцієнта K_t , що враховує температуру нагрівання термопластичного матеріалу, матиме вигляд

$$K_t = \{K_t\} = \begin{pmatrix} K_{t11} & K_{t12} & K_{t13} \\ K_{t21} & K_{t22} & K_{t23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{tm1} & K_{tm2} & K_{tm3} \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

У всіх матрицях елементи першого, другого та третього стовпців містять значення коефіцієнтів для параметрів друку при позитивній (+20°C) та негативній (-30°C та -50°C) температурах відповідно.

Використовуючи результати отриманих випробувань (таблиці 3.1 – 3.5), а також методи регресійного аналізу програмного забезпечення Microsoft Office Excel, було встановлено, що зміна відсотка заповнення, модифікатора подачі та швидкості друку має лінійну залежність до міцності деталі, а зміна висоти шару – параболічну (поліноміальну) залежність.

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від швидкості друку

Швидкість, мм/с	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
15	34,97	35,29	36,395	35,55
30	34,96	35,085	34,805	34,95
45	35,455	34,735	34,41	34,87
60	36,025	34,86	34,235	35,04
80	33,095	33,555	35,11	33,92

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від висоти шару

Висота шару, мм	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
0,03	32,695	32,645	33,03	32,79
0,06	30,07	28,625	29,865	29,52
0,1	29,095	26,565	25,015	26,89
0,12	23,6	22,895	21,23	22,58
0,2	23,355	24,17	23,415	23,65
0,25	22,715	23,565	23,165	23,15
0,3	24,955	30,5	29,815	28,42

Таблиця 3.3 – Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від подачі матеріалу

Подача	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
0,90	26,395	26,53	30,005	27,64
0,925	25,845	26,03	24,78	25,55
0,95	27,76	28,94	29,32	28,67
0,975	30,07	28,81	29,945	29,61
1,0	29,93	30,735	29,445	30,04
1,025	30,715	29,83	29,805	30,12
1,05	30,995	37,725	33,03	33,92
1,075	38,97	32,81	33,13	34,97
1,1	33,08	32,91	35,155	33,72

Таблиця 3.4 – Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від відсотка заповнення

Заповнення, %	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
20	20,45	19,665	19,42	19,85
40	20,855	20,41	20,52	20,60
60	20,37	20,525	20,72	20,54
80	22,495	23,15	22,02	22,56
100	25,935	30,02	24,615	26,86

Таблиця 3.5 – Результати експериментальних даних залежності міцності на розтяг від температури екструдуювання

Температура, °C	Міцність на розтягування, МПа			
	1	2	3	Середнє
240	39,795	39,735	38,93	39,47
250	39,155	39,44	38,635	39,08
260	39,1	39,315	38,61	39,01
270	38,585	38,815	38,0	38,47

Таким чином, були отримані наступні рівняння коефіцієнтів. Рівняння коефіцієнтів швидкості друку має вигляд:

$$K_{vm1} = -000.5 X_1 + 0,8775 \quad (3.8)$$

де X_1 – швидкість робочих переміщень друкувальної головки 3D-принтера (швидкість друку), мм/с.

Інтервал допустимих значень швидкості друку:

$$\{X_1 \in N: 0 < X_1 \leq V_{max}\} \quad (3.9)$$

де V_{max} – максимально можлива швидкість друку 3D-принтера, мм/с.

Рівняння коефіцієнтів висоти шару має вигляд:

$$K_{hm1} = 12,9013X_2^2 - 4,79417X_2 + 1,10606 \quad (3.10)$$

де X_2 - Висота шару друку, мм.

Інтервал допустимих значень висоти шару друку:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 \in Q: 0 < X_2 \leq H_{max} \\ X_2: H_{min} \end{array} \right. \quad (3.11)$$

де H_{max} – максимально можлива висота шару друку 3D-принтера, мм;

H_{min} – мінімальна висота шару друку 3D-принтера, мм.

Рівняння коефіцієнтів подачі матеріалу має вигляд:

$$K_{em1} = 1,2495X_3 - 0,3507 \quad (3.12)$$

де X_3 – величина модифікатора подачі 3D-принтера.

Інтервал допустимих значень модифікатора подачі:

$$\{X_3 \in R: 0,9 < X_3 \leq 1,1\} \quad (3.13)$$

Діапазон величин X_3 обумовлений рекомендованими виробниками 3D-принтерів та філаменту значеннями.

Рівняння коефіцієнтів заповнення має вигляд:

$$K_{fm1} = 0,00236X_4 + 0,5098 \quad (3.14)$$

де X_4 – величина відсотка заповнення внутрішньої структури деталі, %.

Інтервал допустимих значень відсотка заповнення:

$$\{X_4 \in R: 0 \leq X_4 \leq 100\} \quad (3.15)$$

Рівняння коефіцієнтів температури нагріву має вигляд:

$$K_{tm1} = -0,00076X_5 + 1,155798 \quad (3.16)$$

де X_5 – температура нагрівання термопластичного матеріалу.

Інтервал допустимих значень температури нагріву:

$$\{X_5 \in R: T_{min} \leq X_5 \leq T_{max}\} \quad (3.17)$$

Діапазон величин X_5 обумовлений рекомендованими виробниками філаменту значеннями мінімальної T_{min} та максимальної T_{max} температур екструзії конкретного термопластичного матеріалу.

Для визначення масштабного коефіцієнта Z було розраховано середні значення відношення величини міцності матеріалу, отриманої експериментально, до розрахункового значення міцності за кожним експериментом. За величину масштабного коефіцієнта приймаємо середнє значення Z по п'яти експериментах. Отже, приймаємо $Z = 1,79$.

3.2. Алгоритми роботи програми підбору режимів 3D-друку

Програма для вибору режимів 3D-друку повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- зберігання, пошук, редагування даних характеристик філаментів;
- зберігання, пошук, редагування даних параметрів 3D-принтерів;
- визначення параметрів 3D-друку, що забезпечують потрібні

характеристики деталі;

- створення та відкриття звітів за розрахунками.

Для реалізації перерахованих вище функцій програма поділена на кілька модулів: бази даних, розрахунку, звітів (рис. 3.1).

Модуль баз даних складається з двох незалежних баз даних «Матеріали» та «3D-принтери». Кожна база даних містить дані, необхідні для виконання повноцінного розрахунку параметрів 3D-друку. З урахуванням постійного розвитку 3D-принтерів, а також появи нових матеріалів, у базах даних передбачено можливість додавання нових записів, редагування вже існуючих, а також видалення

записів. Додавання даних можна виконувати як на основі існуючого матеріалу, коли відмінності незначні, так і повністю нових матеріалів.

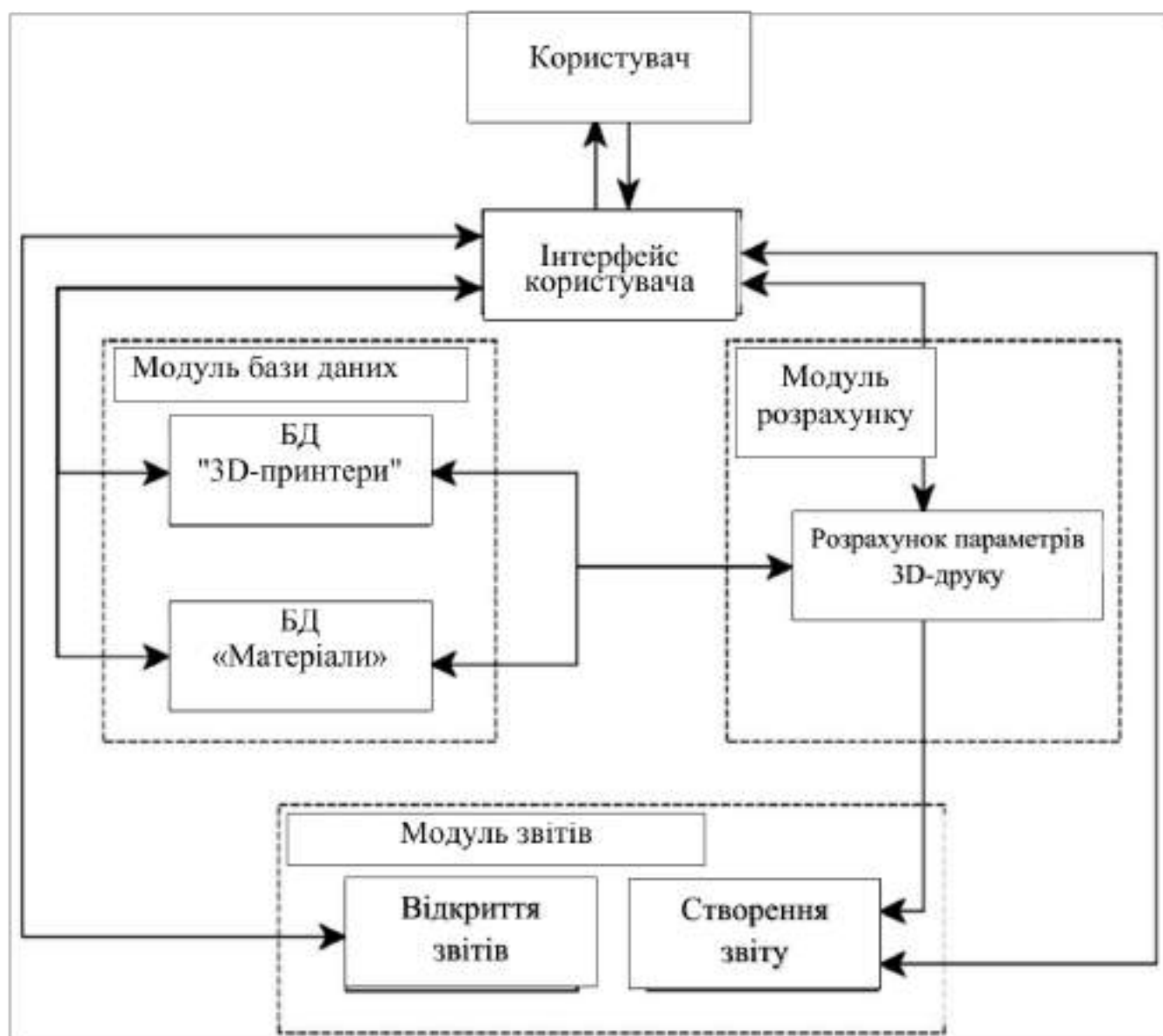


Рисунок 3.1 – Структура модулів програми та зв'язків між ними

Модуль розрахунку виконує основну функцію програми - визначення параметрів 3D-друку, що задовольняють умови розрахунку. Блок-схема структури модуля розрахунку представлена рис. 3.2.

Перед початком запуску розрахунку необхідно здійснити введення вихідних даних. Ця процедура починається з вибору розрахункової характеристики. Залежно від виконаного вибору відбувається редагування користувальницького інтерфейсу форми.

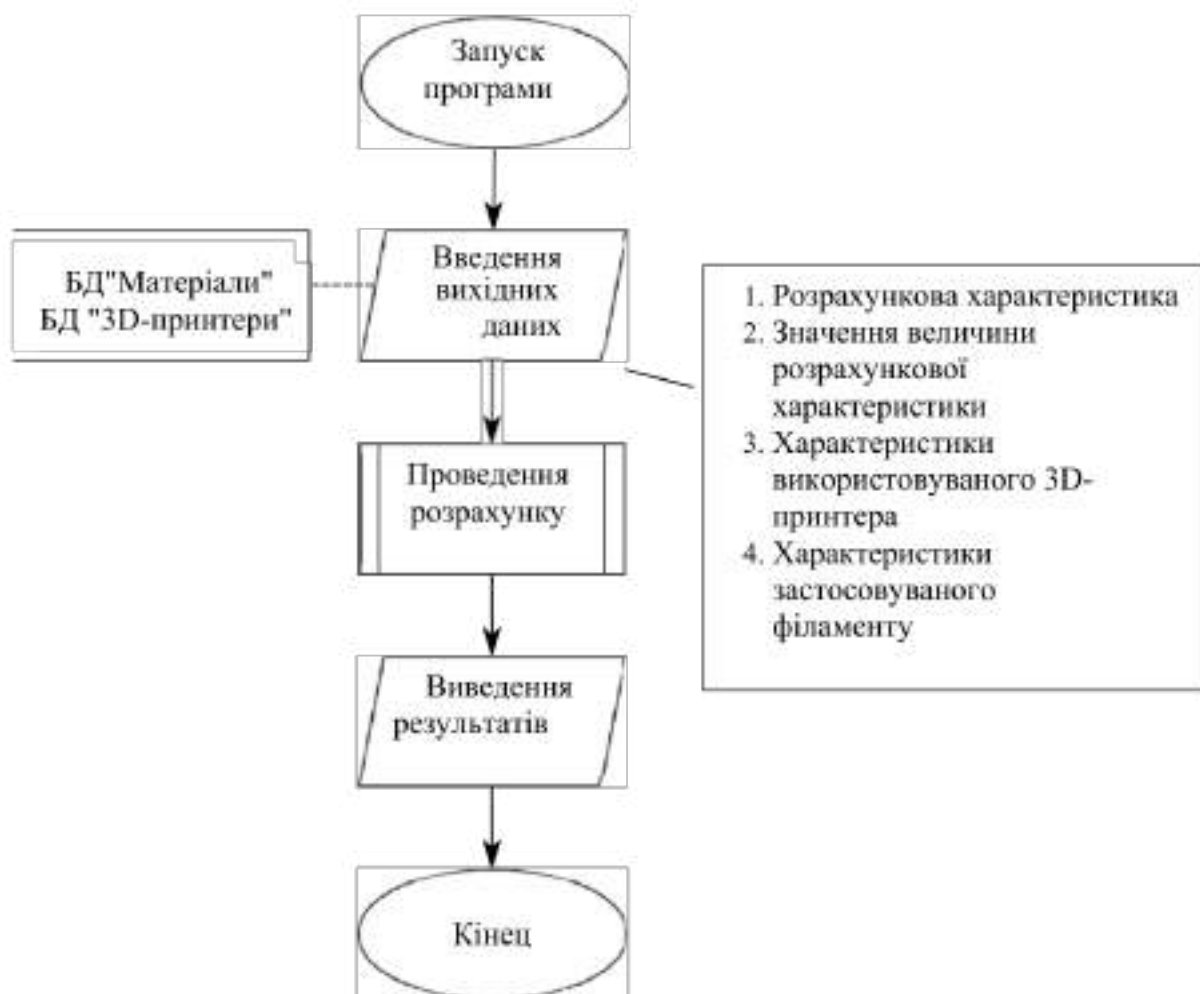


Рисунок 3.2 – Блок-схема структури модуля розрахунку

Ключовим моментом перевірки вихідних даних є порівняння величин заданої розрахункової характеристики і цієї характеристики філаменту. У разі, якщо величина розрахункової характеристики перевищує значення характеристики філаменту, продовження розрахунку неможливе. Це обумовлено тим фактом, що під час друку завжди відбувається зниження міцнісних характеристик матеріалу щодо міцнісних характеристик вихідного філаменту.

Розрахунок провадиться з урахуванням визначених у розділі 3.1 формул. Блок-схема підпрограми представлена рис. 3.3.

Програма розрахунку є п'ять вкладених циклів. Кожен цикл відповідає за один із параметрів 3D-друку. За всі цикли перевіряються всі можливі комбінації параметрів та їх поєднання, що задовольняють величину розрахункової характеристики, записуються в пам'ять програми. З кожною відповідною

комбінацією параметрів збільшується значення лічильника k . Також з кожним повним циклом збільшується значення загального лічильника всіх перевірених комбінацій параметрів kk .

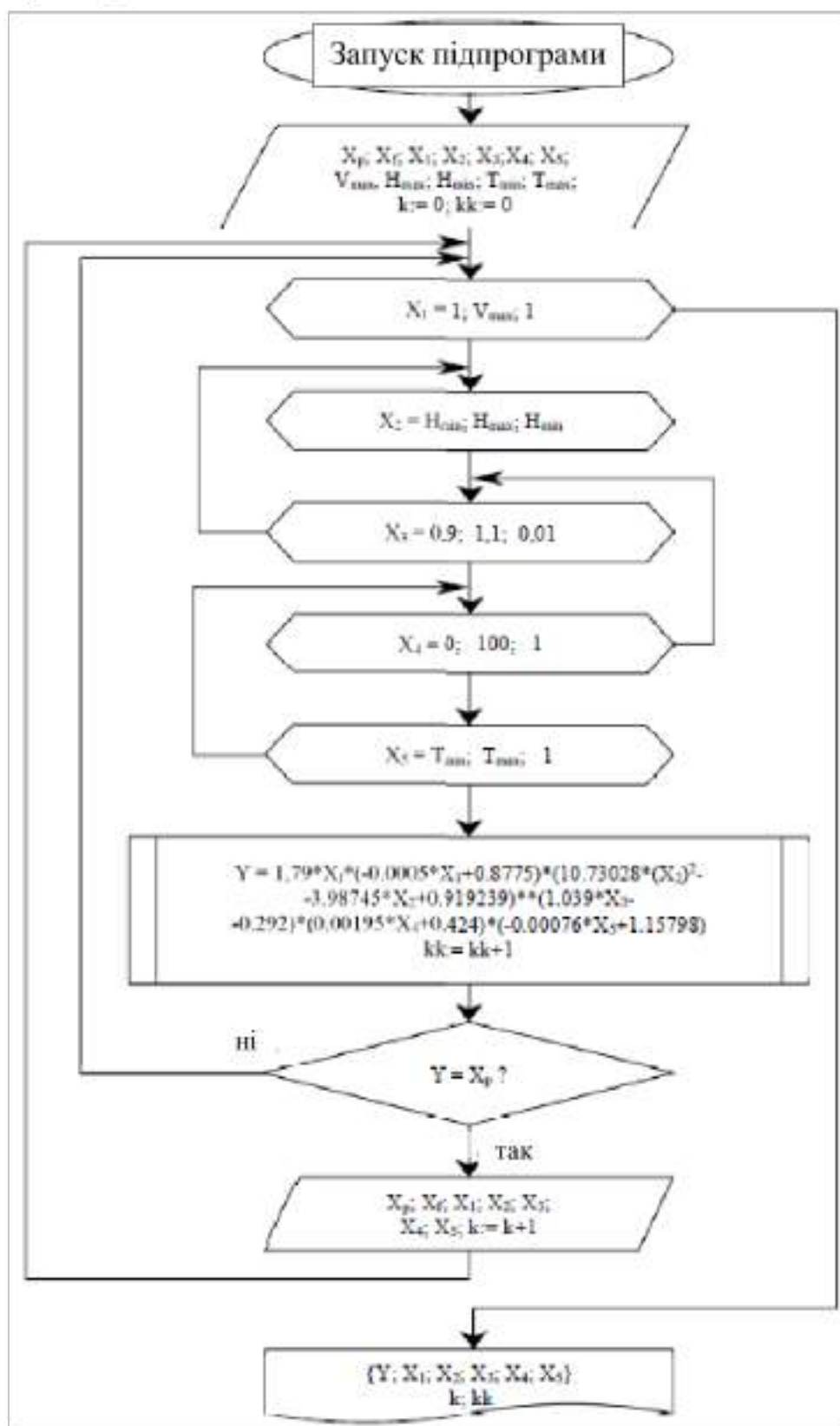


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму визначення параметрів 3D-друку

Після закінчення виконання всіх циклів програми проводиться висновок отриманих комбінацій даних користувачеві. З цих комбінацій користувач самостійно вибирає найбільш підходящу (наприклад, з міркувань витрат часу на друк).

Розроблений алгоритм розрахунку дозволяє здійснити підбір оптимальних співвідношень параметрів режимів 3D-друку з урахуванням зазначених технологічних особливостей та характеристик міцності матеріалу. Слід порівняти дані, одержані в результаті моделювання з експериментальними даними.

3.3. Моделювання розрахунку параметрів 3D-друку на прикладі ABS філаменту

Для підтвердження правильності проведених у розділі 3.1 розрахунків щодо визначення коефіцієнтів рівнянь, що описують залежності впливу параметрів друку на міцність при розтягуванні, проведемо моделювання розрахунку у розробленій програмі.

Внесемо характеристики використовуваного філаменту до бази даних матеріалів (рис. 3.4). Після додавання матеріал буде доступним для вибору при призначенні вихідних параметрів для розрахунку. У розробленій програмі можна обійтися без додавання матеріалу до бази даних та внести необхідні значення безпосередньо до модуля розрахунку.

Властивість	Значення
Матеріал	ABS
Виробник	ABC 3D
Марка	ABS 98C
Країна	Укрaina
Тип	Y-файл
Діаметр філаменту, мм	1.75
Щільність, г/см ³	1.05
Міцність на розтяг, МПа	33.9
Відносно подовження при розтягуванні, %	95.4
Модуль пружності на розтягування, ГПа	1.28
Ударна в'язкість, кДж/м ²	188.14
Міцність на тиск, МПа	82.4
Міцність на стиск, МПа	49.3
Твердість по Шору, HSD	70
Температура роз'їмання, °C	100
Температура екструдера, °C	min: 240, max: 270
Температура столу, °C	min: 50, max: 110
Температура камери, °C	min: -40, max: 30

Рисунок 3.4 – Додавання філаменту до бази даних матеріалів (робоче вікно ПЗ)

На наступному етапі необхідно запуснути модуль розрахунку та внести вихідні дані по 3D-принтеру та вибрати філамент (рис. 3.5). Як вихідні дані необхідно вказати розрахункову характеристику. Вибираємо розрахунок за міцністю при розтягуванні.

Як технічні характеристики 3D-принтера вказуються такі параметри: максимальна температура екструдера, °C; максимальна температура столу, °C; максимальна швидкість друку, мм/с; мінімальна висота шару, мм; діаметр філаменту, що застосовується, мм; діаметр сопла, мм.

Вищезазначені характеристики 3D-принтера необхідні для визначення меж інтервалів регулювання параметрів 3D-друку в модулі розрахунку та паралельної перевірки можливості застосування зазначеного філаменту на вибраному 3D-принтері.

Рисунок 3.5 – Введення вихідних даних по 3D-принтеру та вибір філаменту (робоче вікно ПЗ)

Далі вказуємо величини параметрів 3D-друку та отримуємо розрахункове значення міцності на розтягу (рис. 3.6).

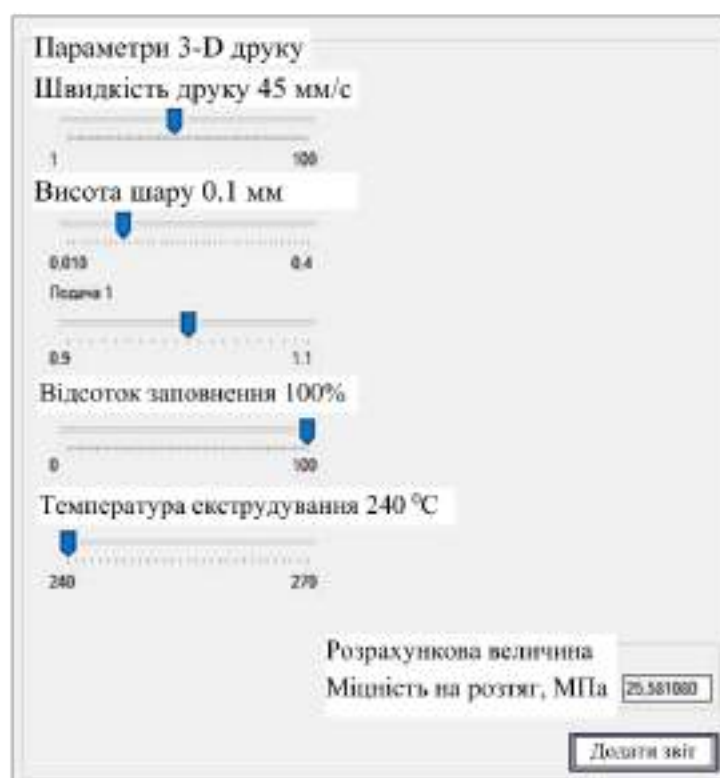


Рисунок 3.6 – Вибір параметрів друку та отриманий результат розрахунку (робоче вікно ПЗ)

Отримані в результаті розрахунку дані формуються в окремий звіт (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Звіт за результатами розрахунку (робоче вікно ПЗ)

Так як із зазначеними при моделюванні параметрами були виготовлені зразки та проведено експериментальне дослідження міцності на розтяг, порівняємо отримані значення. Розрахункове значення міцності на розтяг становить 25,581 МПа. Отримане експериментально значення міцності на розтягнення дорівнює 26,89 МПа. Величина розрахункового значення нижче за експериментальні значення, отже, конструкція матиме запас за міцністю. Варіація складає 4,87%, що підтверджує високу точність розробленої математичної моделі.

Дослідження процесів зміни властивостей матеріалів, що використовуються при ремонті полімерних деталей транспортних засобів представлено в додатку А.

РОЗДІЛ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ 3D-ДРУКУ

4.1. Розробка програми автоматизованого вибору компонентів для ремонту пластмасових деталей машин із використанням методів 3D-друку

Залежно від функціонального призначення деталі та основного матеріалу для ремонту можуть використовуватись різні наповнювачі, що додаються в сировину для виготовлення пластмасової нитки. Наповнювачі дозволяють досягати необхідних фізико-механічних та експлуатаційних властивостей матеріалу, а також у деяких випадках знижують вартість виготовлення філаменту.

Розрізняють дисперсні та волокнисті наповнювачі. Дисперсні наповнювачі мають ширше поширення в адитивних технологіях з низки технологічних причин. Насамперед це пов'язано з тим, що для застосування у 3D-друку філаменту з дисперсним наповнювачем не потрібно спеціального обладнання. Волокнисті наповнювачі рідше використовуються в технології моделювання методом пошарового наплавлення (англ. Fused Deposition Modeling, FDM) через необхідність встановлення зносостійких сопел у друкуючих голівках, а також застосування дорогих 3D-принтерів при друкуванні філаментом з безперервним армуючим волокном.

Питання підбору відповідних наповнювачів розглядається в наукових роботах [7]. Проте, за умов великого розмаїття номенклатури наповнювачів необхідно скоротити час підбору відповідних матеріалів. Це можна зробити шляхом автоматизованого підбору компонентів [11].

Основною метою створення алгоритму є автоматизація пошуку оптимального конструкторсько-технологічного рішення при створенні деталей дорожніх машин із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). Критерієм оптимальності в цьому випадку буде одна з основних технічних характеристик готового ПКМ.

Основні завдання, які вирішуються у процесі роботи алгоритму:

- 1) формування списку вихідних даних;
- 2) перевірка правильності введення користувачем вхідних даних;
- 3) розрахунок можливих комбінацій компонентів ПКМ, що задовольняють задані параметри;
- 4) розрахунок характеристик ПКМ, які відповідають заданим параметрам;
- 5) формування звіту, що містить вихідні та розраховані значення компонентів ПКМ.

Незалежно від вибору кінцевої характеристики розрахунок ведеться за законом адитивності:

$$X_k = X_m V_m + X_n V_n \quad (4.1)$$

де X_k , X_m , X_n – деяка характеристика ПКМ, матриці та наповнювача відповідно; V_m і V_n – об'ємна частка матриці (сполучного) та наповнювача відповідно.

Для комбінацій компонентів необхідно розрахувати такі характеристики кінцевого ПКМ: густина, ρ [кг/м³]; руйнівна напруга (міцність) при стисканні $\sigma_{сж}$ [МПа]; руйнівна напруга (міцність) при розтягуванні $\sigma_{р}$ [МПа]; теплостійкість (температура розм'якшення) t [°C]; відносне подовження E [%].

Вихідними даними є:

- 1) основний матеріал;
- 2) розрахункова характеристика ПКМ Як розрахункову вибирається одна з характеристик готового ПКМ.

Результуючими (вихідними) даними є: найменування сполучного та наповнювача для кожного ПКМ, їх об'ємні частки; вихідні дані; характеристики готових ПКМ (щільність, міцність при розтягуванні та стисканні, теплостійкість та відносне подовження).

За першої деталізації структуру алгоритму пошуку оптимального конструкторсько-технологічного рішення за заданими кінцевими властивостями ПКМ можна розділити на п'ять рівнів (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Укрупнена структурна блок-схема алгоритму

Основними обмеженнями, що накладаються на введення вихідної інформації є:

1) вибір матеріалу деталі можливий лише із наведеного списку (заборонено введення власного варіанту);

2) вибір розрахункової якості ПКМ можливий лише з наведеного списку; введення власного варіанта, а також одночасний вибір більше одного варіанта розрахункової якості заборонені;

3) введення величини розрахункової властивості здійснюється виключно арабськими цифрами.

Блок-схема, представлена рис. 4.2., показує послідовність роботи алгоритму.

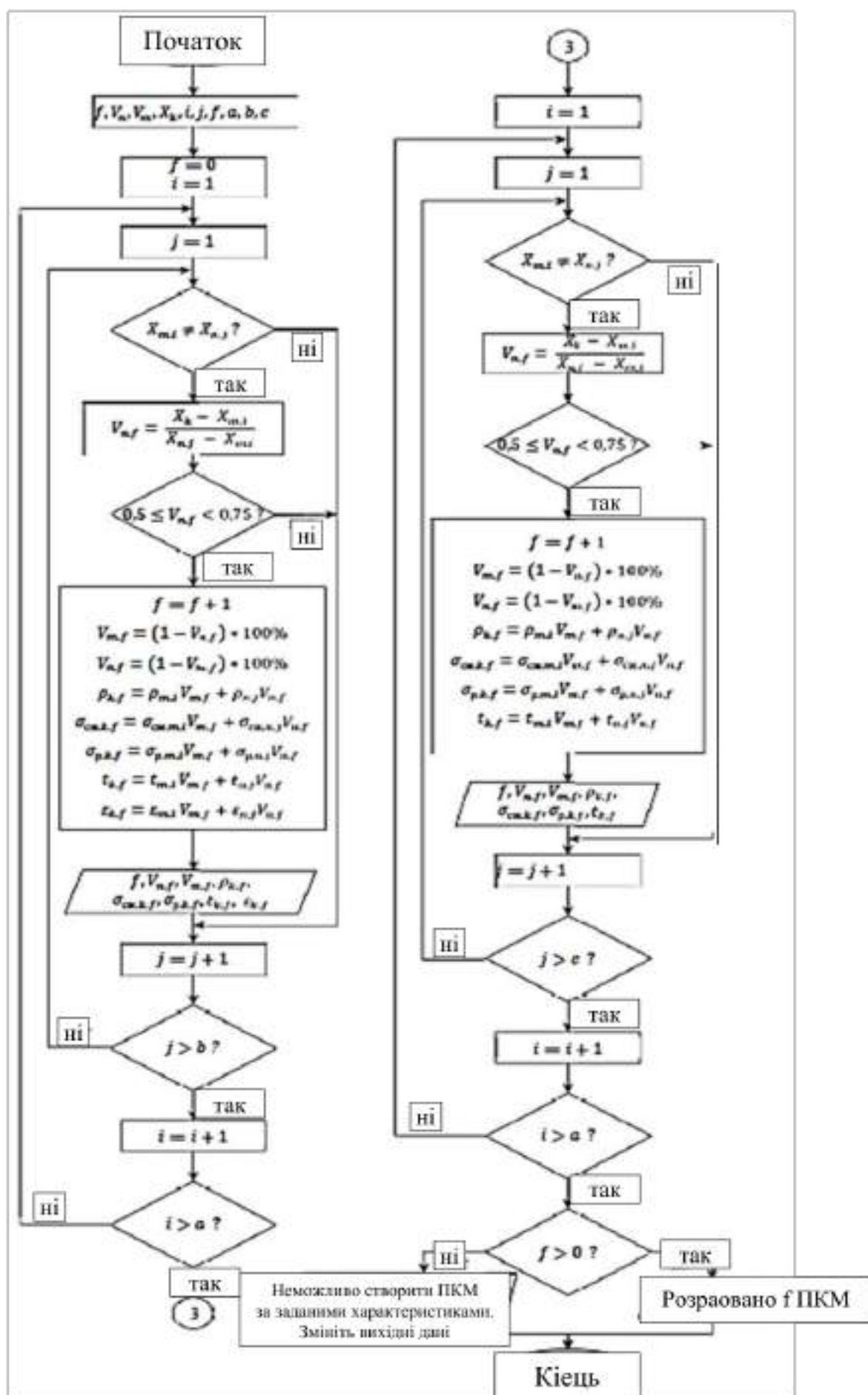


Рисунок 4.2 – Блок-схема обробки даних

Спочатку призначаємо змінні для розрахунку, де: f – лічильник кількості підібраних комбінацій компонентів ПКМ; V_n – об'ємна частка наповнювача; V_m – об'ємна частка сполучного (матриці); X_k – величина розрахункової характеристики ПКМ; i – лічильник порядкового номера сполучного; j – лічильник порядкового номера наповнювача; a – загальна кількість сполучних у вихідних таблицях; b – загальна кількість волокнистих наповнювачів у вихідних таблицях; c – загальна кількість дисперсних наповнювачів у вихідних таблицях.

Лічильник f кількості підібраних комбінацій компонентів ПКМ необхідний для того, щоб програма наприкінці розрахунку могла визначити кількість розрахованих комбінацій ПКМ. На підставі величини лічильника f програма виводить інформаційні повідомлення, що вказують на кількість розрахованих ПКМ або на необхідність зміни вихідних даних у зв'язку з неможливістю проведення розрахунку за поточними вихідними даними.

Визначення об'ємних часток сполучного V_m та наповнювача V_n є першочерговим завданням роботи алгоритму. Саме при певному співвідношенні об'ємних часток компонентів ПКМ отримує необхідні величини значень характеристик.

Лічильники i та j порядкового номера сполучного та наповнювача відповідно призначені для визначення номера компонента з вихідних таблиць, у яких компоненти ПКМ мають свій порядковий номер.

Так як програма повинна мати можливість поповнення таблиць вихідних даних, що містять характеристики ПКМ, для цієї мети були передбачені змінні a , b і c . За допомогою цих змінних програма визначає останній заповнений рядок у кожній із таблиць з вихідними даними. У разі занесення до таблиці нового сполучного або наповнювача програма враховує внесені зміни при проведенні нового розрахунку.

Привласнюємо змінною f значення $f := 0$ (встановлюємо лічильник розрахованих комбінацій ПКМ у нульове значення), а змінної $i := 1$, тобто для розрахунку вибираємо тип сполучного, що знаходиться першим у вихідних таблицях.

Проводимо почерговий перебір волокнистих сполучних. Для цього призначаємо $j: = 1$ (перший волокнистий наповнювач у вихідних таблицях). Порівнюємо величини вихідної (розрахункової) характеристики матриці та величину відповідної характеристики наповнювача:

$$X_{m,i} \neq X_{n,j} \quad (4.2)$$

Якщо величини порівнюваних характеристик рівні, то переходимо до наступного наповнювача, при цьому присвоюємо $j: = j+1$. Виконання цього порівняння необхідно проводити для виключення появи нуля у знаменнику при розрахунку об'ємної частки наповнювача.

У разі коли величини $X_{m,i}$ і $X_{n,j}$ не рівні один одному, розраховуємо величину об'ємної частки наповнювача в ПКМ за формулою:

$$V_{n,f} = \frac{X_k - X_{m,i}}{X_{n,j} - X_{m,i}} \quad (4.3)$$

Розрахована величина V_n за визначенням складу ПКМ має відповідати умові:

$$0,5 \leq V_{n,f} < 0,75 \quad (4.4)$$

Якщо ця умова не виконується, то переходимо до розрахунків з наступним наповнювачем ($j: = j+1$), в іншому випадку, коли умова виконується, проводимо розрахунок за такими формулами:

Величину значення лічильника розрахованих комбінацій ПКМ збільшуємо на одиницю:

$$f: = f + 1 \quad (4.5)$$

Розраховані значення характеристик заносяться до відповідних граф таблиці звіту, а також вказуються найменування сполучного та наповнювача даного ПКМ.

Повторюємо розрахунки компонентів доти, доки виконається умова, що означає закінчення перебору всіх волокнистих наповнювачів:

$$j > b. \quad (4.6)$$

Після того, як умова 4.6 виконається, відбувається збільшення змінної $i: = i+1$ і знову проводять розрахунки по всіх волокнистих наповнювачах. Повторюємо розрахунки компонентів доти, доки не будуть перевірені всі сполучні.

Сигналом, що означає виконання, є така умова:

$$i > a \quad (4.7)$$

Виконання цієї умови означає, що під час проведення розрахунків було перебрано все сполучні, які у таблиці вихідних даних.

Так як необхідно підібрати комбінації не тільки з волокнистими, але і з дисперсними наповнювачами, то присвоюємо змінної значення $i := 1$ (повертаємося до першого сполучного) і робимо розрахунки, аналогічні розрахункам для волокнистих наповнювачів, з урахуванням таких винятків:

1) відносне подовження для ПКМ з дисперсним наповнювачем не розраховується;

2) умова закінчення перебору всіх дисперсних наповнювачів, що містяться у таблиці вихідних даних:

$$j > c. \quad (4.8)$$

Після того, як було виконано умову формули 4.8, програма перевіряє кількість розрахованих значень ПКМ:

$$f > 0. \quad (4.9)$$

Якщо значення змінної лічильника розрахованих комбінацій задовольняє умові формули 4.9, виводиться повідомлення «Розраховано f ПКМ», де f – число розрахованих комбінацій ПКМ. Якщо ж у результаті роботи алгоритму жодна з комбінацій компонентів ПКМ не задовольнила вихідні дані, виводиться повідомлення «Неможливо створити ПКМ за заданими характеристиками. Змініть вихідні дані».

Алгоритм передбачає також розрахунок за заданими компонентами та діапазоном кінцевих властивостей ПКМ. Вихідними даними є:

- 1) основний матеріал деталі: задається марка сполучного;
- 2) тип наповнювача: волокнистий чи дисперсний;
- 3) наповнювач: задається марка наповнювача;
- 4) розрахункова характеристика ПКМ: вибирається одна з характеристик готового ПКМ;
- 5) величина розрахункової характеристики визначається з точністю до двох

знаків після коми.

Результуючими (вихідними) даними є: найменування сполучного та наповнювача для кожного ПКМ, їх об'ємні частки; вихідні дані; характеристики готових ПКМ (щільність, міцність при розтягуванні та стисканні, теплостійкість та відносне подовження).

Розроблений алгоритм пошуку оптимального конструкторсько-технологічного рішення з використанням заданих компонентів та діапазону кінцевих властивостей ПКМ дозволяє:

- здійснювати введення вихідних даних та перевіряти його правильність;
- оповіщати користувача про введення неповних чи некоректних вихідних даних;
- проводити розрахунок об'ємних часток сполучного та наповнювача ПКМ;
- проводити розрахунок за обома заданими компонентами;
- проводити розрахунок за одним заданим компонентом;
- розраховувати характеристики ПКМ;
- враховувати можливе поповнення таблиць із характеристиками компонентів ПКМ;
- формувати звіт, який містить вихідні дані, дані розрахунку;
- оповіщати користувача про кількість розрахованих комбінацій компонентів ПКМ або про неможливість створення ПКМ за заданими вихідними даними.

4.2. Технологічний процес створення сировини для ремонту пластмасових деталей машин із використанням методів 3D-друку

Витратним матеріалом для FDM 3D-друку є полімерна нитка, що називається філаментом. Як правило, філамент крім основного матеріалу містить наповнювачі, що забезпечують різні фізико-механічні властивості, в тому числі колір, пластичність та міцність. В даний час на ринку витратних матеріалів представлено велику різноманітність філаментів, що відрізняються матеріалом і функціона-

льним призначенням виробів, що виготовляються [11].

У разі відсутності готового філаменту для 3D-друку можна його виготовити. Для цього використовуються спеціальні екструдерні лінії, призначені для отримання філаменту каліброваного діаметра. Технологічний процес створення філаменту для ремонту пластмасових деталей дорожніх машин представлений на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Схема операцій технологічного процесу виготовлення філаменту для 3D-друку

Аналіз конструкції деталі проводиться з метою визначення марки матеріалу, умов роботи та діючих навантажень. Умови роботи визначаються залежно від функціонального призначення та розташування деталі в конструкції дорожньої машини. Навантаження, що діють на деталь, також визначаються схемою закріплення деталі та функціональним призначенням.

Залежно від раніше визначених параметрів здійснюється підбір компонентів ПКМ за допомогою програми автоматизованого вибору (див. розділ 4.1). Компоненти дозуються відповідно до розрахованих масових частин. Для дозування компонентів можуть використовуватися дозатори різної конструкції, наприклад вагові.

Змішування компонентів здійснюється з використанням спеціальних міксерів.

Безпосередньо виготовлення полімерної нитки провадиться на спеціальних

екструдерних лініях, що дозволяють виконувати послідовно кілька операцій: екструдування; охолодження; сушіння; контроль діаметра нитки та намотування на котушки (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Лінія для екструзії філаменту

Екструдування здійснюється на шнекових екструдерах. Технологічні режими залежать від компонентів, що використовуються при виготовленні. Найбільш важливими параметрами є температура розплаву та тиск. Тиск необхідно контролювати для сталості якості нитки, що екструдується через фільтру: якщо тиск буде непостійним у часі, діаметр філаменту також матиме відхилення. Температура контролюється в кількох частинах екструдера для визначення в'язкості розплаву полімеру, а також визначення швидкості екструдування [17].

Охолодження полімерної нитки провадиться під час проходження нитки через ємності, заповнені водою. Температура води контролюється та підтримується постійне її значення. На виході з ванни з водою нитку обдувають потоком повітря для первинного сушіння перед контролем діаметра.

Контроль діаметра філаменту здійснюється безконтактними методами вимірювання. Найбільш поширеним методом є вимірювання лазерними тіньовими датчиками (рис. 4.5).

Цей принцип вимірювання заснований на тому, що лазерний стрижень розташований поруч з лазерним променем і світлочутливою матрицею. Лазерний промінь, що проходить через систему лінз, утворює прямокутний односпрямований

пучок світла. Оскільки філамент знаходиться між випромінювачем і приймачем, вон відкидає тінь на матрицю приймача. Процесор вимірювальної системи обчислює значення діаметра контрольованого об'єкта на основі області тіні, що відкидається об'єктом. Для більшості 3D-принтерів використовують філамент діаметром 1,75 мм із відхиленням $\pm 0,03$ мм.



Рисунок 4.5 – Лазерний вимірювач діаметру EAST ALPHA LST-25

Перед намотуванням на котушку полімерна нитка проходить через механізм протягання, який багато в чому визначає діаметр майбутньої нитки. Далі нитка заправляється в моталку і намотується на котушку.

Після намотування, котушки з полімерною ниткою відправляються в шафу для остаточної сушіння. Температура процесу сушіння для філаменту з різних матеріалів наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Температура процесу сушіння різних полімерних матеріалів

Найменування полімеру	Температура, °C
Полівінілхлорид (PVC)	65 ... 80
Акрилонітрилбутадієнстірол (ABS)	75 ... 85
Поліпропілен (PP)	65 ... 80
Полікарбонат (PC)	100 ... 120
Поліетилен (PE)	65 ... 80

Після закінчення процесу сушіння, котушки з філаментом можна одразу використати для друку або при необхідності тривалого зберігання упакувати їх у вакуумні упаковки.

4.3. Технологія ремонту пластмасових деталей машин

Пропонована технологія ремонту пластмасових деталей дорожніх машин полягає у відновленні працездатності виробів із використанням методів 3D-друку. Як відомо (див. розділ А.3), деталі в процесі експлуатації ушкоджуються і можуть бути втрачені окремі елементи. На рис. 4.6 представлено блок-схему технології ремонту пластмасових деталей з неповною комплектністю.



Рисунок 4.6 – Блок-схема технологічного процесу ремонту пластмасових деталей машин із застосуванням адитивних технологій

Відповідно до запропонованої технології, ремонт пластмасових деталей починається з попередньої оцінки пошкоджень деталі на машині. На цьому етапі вивчається конфігурація деталі, способи її кріплення, що діють у процесі експлуатації навантаження. Якщо деталь було демонтовано раніше або пошкоджено її кріпильні елементи, деталь оглядається вже окремо від машини.

Якщо на деталі є сильні зовнішні забруднення, їх необхідно видалити за допомогою існуючих методів миття (наприклад, миття під тиском).

Наступним етапом є демонтаж пошкодженої деталі з машини. При цьому слід звернути увагу на наявність окремих кріпильних елементів, які могли залишитись на машині внаслідок руйнування деталі. При виявленні таких елементів слід оцінити можливість відновлення деталей з їх використанням.

Після демонтажу деталь вирушає на мийку для видалення всіх слідів експлуатаційних забруднень. Після закінчення миття потрібно провести сушіння деталі для видалення води з поверхні. Цю операцію можна виконати шляхом обдування деталі стисненим повітрям.

Дефектація деталі проводиться з метою встановлення точного переліку дефектів, їх типу, розміру та місця розташування. Вона виконується візуально або із застосуванням вимірювальних інструментів, якщо вони потрібні. У процесі дефектації проводиться вивчення маркувань деталі. Це необхідно виконувати з кількох причин. Перша причина полягає у складанні бази ремонтних елементів, а також визначенні номенклатурного артикула деталі, що ремонтується. Друга причина полягає у визначенні матеріалу деталі, оскільки від цього залежить правильний підбір матеріалу філаменту. Перелік встановлених дефектів, а також матеріал деталі вноситься до карти дефектації [4].

Далі необхідно механічно підготувати поверхню деталі під майбутній ремонтний елемент. Підготовка виконується з допомогою пневматичного абразивного чи ріжучого інструмента. У цьому слід бути уважним і перегрівати деталь шляхом тривалої обробки. Режим механічної обробки вибираються залежно від матеріалу деталі [14].

3D-модель ремонтного елемента виробу, що відновлюється, створюється в будь-якій системі автоматизованого проектування типу Autocad 3D, SolidWorks, КОМПАС-3D і т.д. При моделюванні слід враховувати коефіцієнт усадки матеріалу та подальшу постобробку, так це вплине на дійсні розміри надрукованого виробу [6]. Поправка на усадку матеріалу та припуск на механічну обробку визначається шляхом масштабування моделі по кожній з трьох осей.

Після того, як 3D-модель готова, її необхідно зберегти у форматі, що сприймається програмою для підготовки завдань друку (STL).

Для друку ремонтного виробу насамперед необхідно підготувати завдання друку. Для цього файл 3D-моделі у форматі STL завантажується в програму-слайсер. Вибирається оптимальна орієнтація виробу у просторі та задається опорна поверхня, яка буде базою для побудови всієї деталі. При виборі розташування деталі на столі 3D-принтера слід прагнути: мінімізувати нависаючі структури (елементів моделі які «висять» у повітрі і не мають під собою опори); до вибору як базової площини поверхню моделі із найбільшою площею; до відсутності отворів з горизонтально розташованими осями. Режими друку визначаються через програму автоматизованого призначення режимів друку.

Після створення завдання друку необхідно підготувати 3D-принтер до друку. Підготовка полягає у завантаженні філаменту, калібруванні столу та обробці столу складами, що збільшують адгезію першого шару матеріалу до поверхні столу [9]. Завантаження філаменту та калібрування столу здійснюється відповідно до посібника з експлуатації використовуваного 3D-принтера. Калібрування столу є важливим етапом у підготовці 3D-принтера до друку, оскільки саме від цього залежить якість першого шару і всієї деталі в цілому. Як правило, калібрування столу зводиться до виставлення площини столу паралельно площині руху друкувальної голівки. Нанесення адгезійного складу на поверхню столу дозволяє забезпечити гарне прилипання полімеру до столу та мінімізувати жолоблення деталі в процесі друку. Як такий склад застосовують розчини,

Друк ремонтного виробу повинен здійснюватися за постійних режимів друку, що визначаються на стадії підготовки завдання на друк. Для друку бажано використовувати 3D-принтер із зоною друку закритого типу, оскільки це дозволяє мінімізувати температурну деформацію надрукованого виробу. Виріб повинен охолонути разом зі столом 3D-принтера. Після повного остигання необхідно зняти надрукований ремонтний елемент із поверхні столу 3D-принтера [6].

Після закінчення друку ремонтного елемента необхідно провести його обробку з метою отримання заданої якості поверхні та видалення матеріалу

підтримуючих структур [9]. Постобробка повинна проводитись у три етапи. Перший етап полягає у видаленні матеріалу підтримуючих структур. Залежно від того, який матеріал використовувався для підтримки, варіюватиметься спосіб їх видалення. Якщо підтримки виготовлялися з того самого матеріалу, що й основна деталь, видалити їх можна тільки механічно. При виготовленні підтримуючих структур з матеріалу, що відрізняється від основного матеріалу, їх видалення можна здійснити хімічно шляхом занурення деталі в ємність зі спеціальним розчинником матеріалу підтримують структур. Другий етап полягає в механічній обробці деталі з метою зниження шорсткості зовнішніх шарів. Ця обробка проводиться абразивним інструментом, наприклад, наждачним папером з різною зернистістю в порядку зниження розміру зерен абразиву. Третій етап постобробки полягає у хімічній обробці ремонтного виробу. Прикладом такої обробки може бути витримка в ацетонівій бані виробів, надрукованих з пластику ABS.

У технологічному процесі ремонту передбачається контрольна операція після проведення постобробки. Метою цієї операції є встановлення відповідності одержаної просторової геометрії ремонтного елемента заданим технічним вимогам. Контроль може здійснюватися як за допомогою універсальних вимірювальних інструментів (мікрометрів, нутромірів, штангенциркулів тощо), так і за допомогою методів сканування геометрії виробу 3D-сканерами (рис. 4.7).



Рисунок 4.7 – 3D-сканер Range Vision Spectrum

У разі відповідності ремонтного елемента технічним вимогам, він монтується на деталь, що відновлюється. Перед початком монтажу поверхні, що з'єднуються, знежирюються. Перш ніж проводити знежирення необхідно переконатися, що знежирювач хімічно нейтральний до матеріалу деталей. Знежирювач наноситься на чисту бавовняну тканину та нею обробляються поверхні. Після обробки необхідно почекати деякий час для того, щоб з поверхні деталей зникли сліди знежирювача. Ремонтний елемент потім встановлюється на попередньо підготовлений монтажний майданчик деталі і фіксується в необхідному положенні. Перевіряється правильність установки елемента, після чого він з'єднується з деталлю методом 3D-зварювання з режимами, визначеними у розділі Б.4. При необхідності відремонтована деталь забарвлюється за відомими технологіями [5].

Завершальний контроль якості здійснюється за допомогою вимірювальних інструментів та спеціального обладнання (наприклад, 3D-сканера). Якщо проведений ремонт виконано якісно, проводиться монтаж відремонтованої деталі на машину відповідно до інструкцій заводу-виробника.

Способи створення отворів та різьбових поверхонь у деталях машин, виготовлених методами 3D-друку представлено в додатку Б.

4.4. Оцінка техніко-економічної ефективності технологічного процесу ремонту полімерних деталей дорожніх машин з використанням методів 3D-друку

Для визначення техніко-економічної ефективності від застосування запропонованого способу ремонту пластмасових деталей транспортних засобів необхідно провести порівняння методів відновлення [5, 9]. Найбільш доцільно проводити його за величиною собівартості ремонту.

Повна собівартість проведення ремонту пластмасової деталі C_{Σ} визначається

за формулою [15]:

$$C_{\Sigma} = C_M + C_{\text{ОЗП}} + C_{\text{ДЗП}} + C_{\text{СТР}} + C_{\text{ЕЛ}} + H_{\text{АМ}} + H_{\text{ЦЕХ}} + H_{\text{ЗАВ}}, \quad (4.10)$$

де C_M – витрати на матеріали та запасні частини, необхідні для ремонту, грн.; $C_{\text{ОЗП}}$ – основна зарплата виробничих робітників, що виконують ремонтні роботи, грн.; $C_{\text{ДЗП}}$ – додаткова зарплата виробничих робітників, що враховує оплату неявочного часу (відпусток, лікарняних і т.д.), грн.; $C_{\text{СТР}}$ – страхові внески, які нараховуються на основну та додаткову зарплату виробничих робітників відповідно до чинного законодавства, грн.; $C_{\text{ЕЛ}}$ – витрати на електроенергію при проведенні ремонту, грн.; $H_{\text{АМ}}$ – амортизаційні відрахування, грн.; $H_{\text{ЦЕХ}}$ – витрати на управління цехом, амортизацію, технічне обслуговування та ремонт будівель, заходи з охорони праці, грн.; $H_{\text{ЗАВ}}$ – витрати на зарплату адміністративного персоналу, грн.

Для найбільшої наочності в якості прикладу виберемо корпус блок-фари (рис. 4.8), так як саме вони є пластмасовими елементами транспортних засобів, що часто пошкоджуються.



Корпус блок-фари Lexus 3 GS190 2006-2011 (вартість 5460,00 грн. – 10920,00 грн.)



Корпус блок-фари Mercedes Benz W212 2009-2012 (вартість 4680,00 грн. – 9360,00 грн.)



Корпус блок-фари Mercedes Benz W221 2009-2013 (вартість 5460,00 грн. – 10920,00 грн.)



Корпус блок-фари BMW X5 F15 2013-2018 AL Bosch (вартість 6240,00 грн. – 12480,00 грн.)

Рисунок 4.8 – Корпусу блок-фар автомобілів

Витрати на допоміжні матеріали та запасні частини в залежності від методу ремонту наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Витрати матеріали залежно від способу ремонту

Метод ремонту	Матеріал (запасна частина)	Ціна матеріалу, грн./кг	Кількість матеріалу, кг	Вартість матеріалів, грн.
Заміна деталі	Блок-фара	-	-	9766
Встановлення ремонтного кронштейна	Ремонтний кронштейн	-	-	2 500
Зварювання нагрітим газом	Присадний пруток	8 440	0,02	168,8
Склеювання	Клей 3M FPRM	12 566	0,000315	3,96
Ремонт із застосуванням 3M™ Automix™	Очищувач клеїв 3M 08984	2 441	0,01	24,41
	Активатор адгезії 3M 05917	4 805	0,01	48,05
	Плівка для формування 3M 4903	16 020	0,01	160,2
	Клей 3M 55045	42 680	0,02	853,6
3D-зварювання	Адгезійний склад.	326	0,001	0,33
	Філамент	2120	0,012	25,44

Основна зарплата виробничих робітників розраховується за такою формулою:

$$C_{\text{ОЗП}} = C_{\text{год}} * t_{\text{факт}}, \quad (4.11)$$

де $C_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка робітника, грн./нормо-год.;

$t_{\text{факт}}$ – трудомісткість ремонту, нормо-год.

Додаткова зарплата виробничих робочих $C_{\text{ДЗП}}$ приймається рівною 10% від $C_{\text{ОЗП}}$.

Страхові внески, що нараховуються на основну та додаткову зарплату виробничих робітників, розраховуються за формулою:

$$C_{\text{СТР}} = 0,3(C_{\text{ОЗП}} + C_{\text{ДЗП}}). \quad (4.12)$$

Витрати на зарплату виробничих робочих залежно від методу ремонту наведено у таблиці 4.3.

Страхові внески, що нараховуються на основну та додаткову зарплату, залежно від методу ремонту наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Витрати на зарплату виробничих робочих залежно від методу ремонту

Метод ремонту	Кваліфікація працівника, розряд	Вартість 1 нормо-години, грн.	Трудомісткість ремонту, нормо-год.	Основна зарплата, грн.	Додат. зарплата, грн.
Заміна деталі	2	600	0,4	240	24
Встановлення ремонтного кронштейна	3	1100	0,7	770	77
Зварювання нагрітим газом	4	1300	1,4	1 820	182
Склеювання	3	1100	0,5	550	55
Ремонт із застосуванням 3M™ Automix™	4	1300	0,75	975	97,5
3D-зварювання	4	1300	3,25	4 225	422,5

Таблиця 4.4 – Страхові внески, що нараховуються на основну та додаткову зарплату, залежно від методу ремонту

Метод ремонту	Основна зарплата з ремонту, грн.	Дод. зарплата з ремонту, грн.	Страхові внески, грн.
Заміна деталі	240	24	79,2
Встановлення ремонтного кронштейна	770	77	254,1
Зварювання нагрітим газом	1 820	182	600,6
Склеювання	550	55	181,5
Ремонт із застосуванням 3M™ Automix™	975	97,5	321,75
3D-зварювання	4 225	422,5	1 394,25

Витрати на електроенергію $S_{\text{ЕЛ}}$ розраховуються за такою формулою:

$$S_{\text{ЕЛ}} = (N * K_{\text{ч}} * K_{\text{N}} * K_{\text{W}} * K_{\text{M}} * t_{\text{факт}} * C) / \eta, \quad (4.13)$$

де N – потужність технологічного обладнання, кВт; $K_{\text{ч}}$ – коефіцієнт завантаження обладнання за часом; K_{N} – коефіцієнт завантаження обладнання за потужністю;

K_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі (1,6); K_m – питома вага машинних операцій; $t_{\text{факт}}$ – трудомісткість ремонту, нормо-год.; C – тариф на електроенергію (5,73 грн. / кВт); η - коефіцієнт корисної дії (0,9) [12].

Витрати на електроенергію залежно від методу ремонту наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати на електроенергію залежно від методу ремонту

Метод ремонту	Потужність обладнання, кВт	K_v	K_N	K_m	$t_{\text{факт}}$	Витрати електроенергію, грн.
Заміна деталі	0	-	-	-	0,4	0
Встановлення ремонтного кронштейна	0	-	-	-	0,7	0
Зварювання нагрітим газом	2,3	0,5	0,5	0,65	1,4	5,33
Склеювання	0	-	-	-	0,5	0
Ремонт із застосуванням ЗМ™ Automix™	0	-	-	-	0,75	0
3D-зварювання	0,75	0,95	0,8	0,9	3,25	16,98

Амортизаційні відрахування H_{AM} (при розрахунку виробничої програми 500 рем./рік) визначаються за формулою:

$$H_{AM} = \frac{C_{об} \times H_a}{100} \quad (4.14)$$

де $C_{об}$ – вартість технологічного обладнання, грн.;

H_a – норма амортизації, %.

Амортизаційні відрахування залежно від методу ремонту наведено у таблиці 4.6.

Витрати на управління цехом, амортизацію, технічне обслуговування та ремонт будівель, заходи з охорони праці $H_{цех}$ приймаємо рівними 28% від основної та додаткової зарплат виробничих робітників:

$$H_{цех} = 0,28(C_{озп} + C_{дзп}). \quad (4.15)$$

Таблиця 4.6 – Амортизаційні відрахування залежно від методу ремонту

Метод ремонту	Вартість технологічного обладнання, грн.	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, грн./рік	Амортизаційні відрахування, грн. / рем.
Заміна деталі	-	-	0	0
Встановлення ремонтного кронштейна	-	-	0	0
Зварювання нагрітим газом	8 692	-	0	0
Склеювання	-	-	0	0
Ремонт із застосуванням 3M™ Automix™	-	-	0	0
3D-зварювання	150 000	10	15 000	30

Витрати на зарплату адміністративного персоналу $H_{Зав}$ приймаємо 44% від основних витрат:

$$H_{Зав} = 0,44 (C_M + C_{ОЗП} + C_{ДЗП} + C_{СТР} + C_{ЕЛ}). \quad (4.16)$$

Витрати $H_{ЦЕХ}$ і $H_{Зав}$ в залежності від методу ремонту наведено у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати $H_{ЦЕХ}$ і $H_{Зав}$ в залежності від методу ремонту

Метод ремонту	Витрати $H_{ЦЕХ}$, грн	Витрати $H_{Зав}$, грн
Заміна деталі	73,92	4 448,05
Встановлення ремонтного кронштейна	237,16	1 584,48
Зварювання нагрітим газом	560,56	2 363,68
Склеювання	169,4	347,8
Ремонт із застосуванням 3M™ Automix™	300,3	1 091,42
3D-зварювання	1 301,3	2 677,18

Розрахунок собівартості відновлення пластмасових деталей транспортних

засобів на прикладі блок-фари із застосуванням різних методів ремонту представлений у таблиці 4.8 та на рис. 4.9 та 4.10.

Таблиця 4.8 – Собівартість відновлення блок-фари різними методами ремонту

Метод ремонту	Заміна деталі	Встановлення ремонтного кронштейна	Зварювання нагрітим газом	Склеювання	Ремонт із застосуванням 3М™ Automix™	3D-зварювання
Показник						
C_M	9766	2 500	168,8	3,96	1 086,26	25,77
$C_{OЗП}$	240	770	1 820	550	975	4 225
$C_{ДЗП}$	24	77	182	55	97,5	422,5
$C_{СТР}$	79,2	254,1	600,6	181,5	321,75	1 394,25
$C_{ЕЛ}$	0	0	5,33	0	0	16,98
N_{AM}	0	0	0	0	0	30
$N_{ЦЕХ}$	73,92	237,16	560,56	169,4	300,3	1 301,3
$N_{ЗАВ}$	4 448,05	1 584,48	2 363,68	347,8	1 091,42	2 677,18
C_{Σ}	14 631,2	5 422,74	5 700,97	1 307,66	3 872,23	10 092,98
Частка, %	100	37,06	38,96	8,94	26,47	68,98

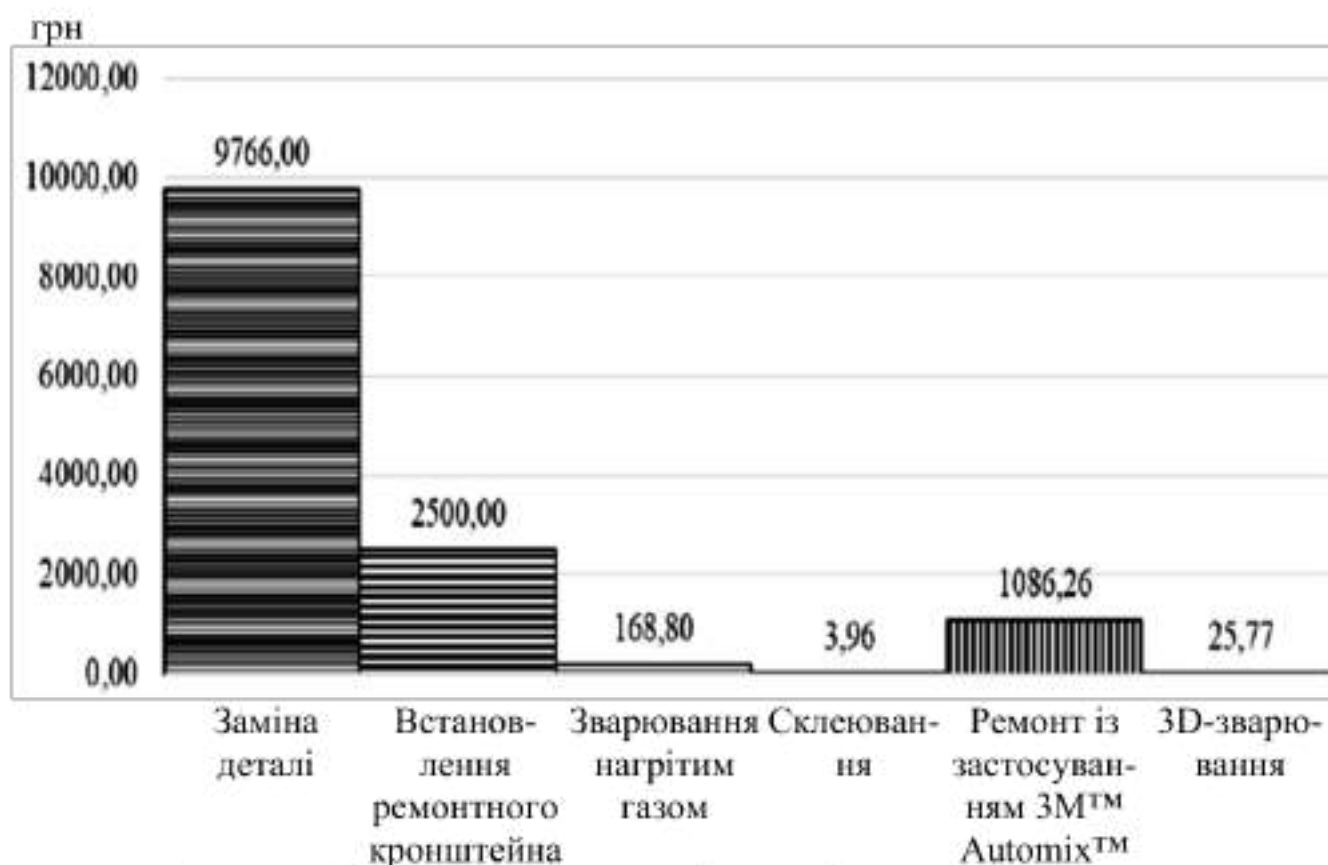


Рисунок 4.9 – Витрати на матеріали за різних методів ремонту

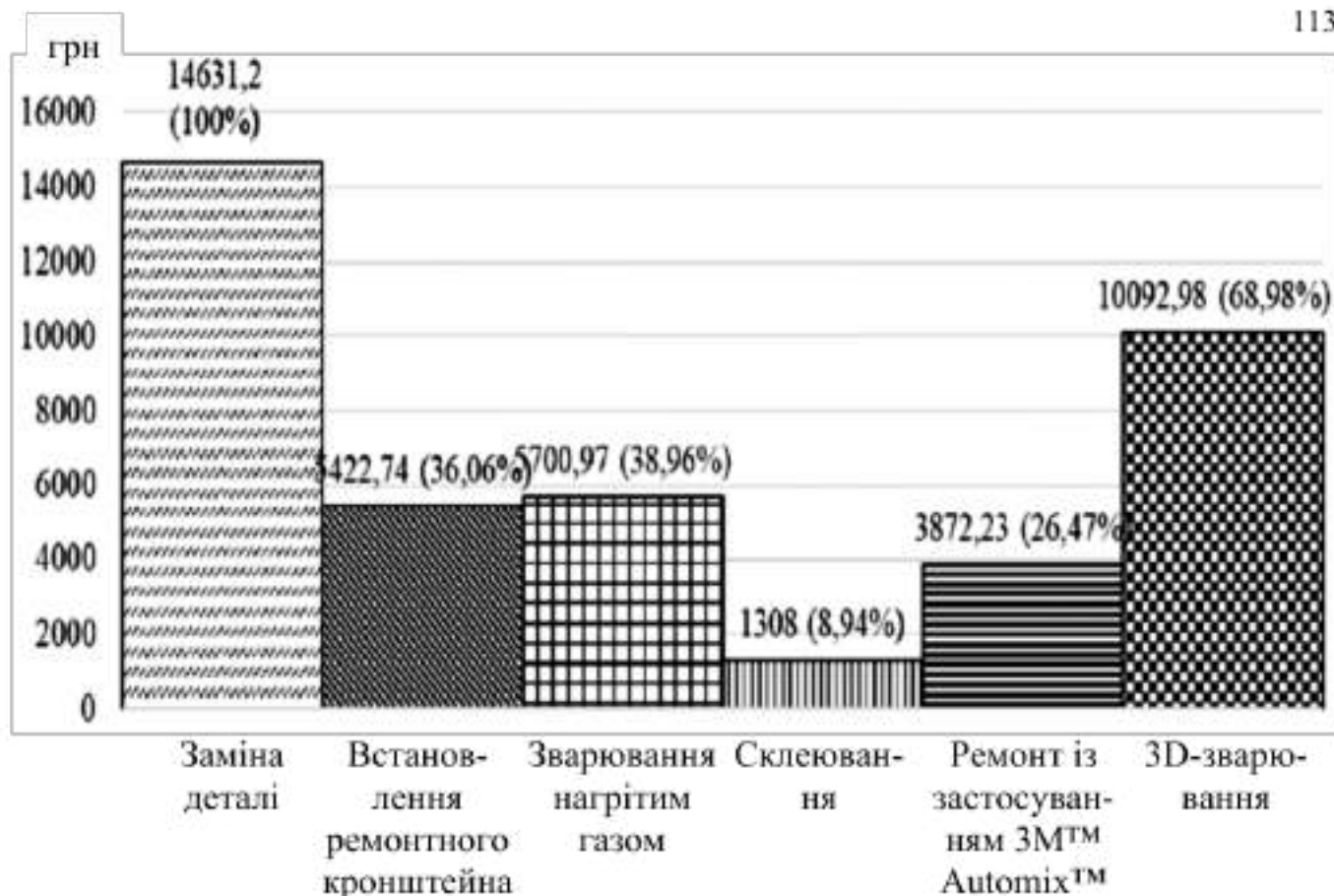


Рисунок 4.10 – Собівартість відновлення за методами ремонту

Проведені розрахунки показують, що застосування розробленої технології відновлення пластмасових деталей транспортних засобів є доцільною, незважаючи на те, що собівартість ремонту перевищує собівартість інших методів (за винятком заміни деталі).

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основне завдання охорони праці – мінімізація вірогідності виникнення виробничого травматизму та захворювань під час забезпечення нормованих показників умов праці.

Незадовільний стан охорони праці спроможний стати причиною соціально-економічних проблем працівників та їх родин. Тому соціально-економічне значення охорони праці полягає у: зростанні продуктивності праці, збільшенні сукупного національного продукту, зменшенні витрат на оплату лікарняних та компенсаційних виплат за важкі умови праці та інше.

У цьому розділі проводиться аналіз небезпечних, шкідливих і уражаючих для працівника та навколишнього довкілля факторів, які виникають при проведенні вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист». В ньому розглядаються, зокрема, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з безпеки при проведенні вдосконалення, безпека у надзвичайних ситуаціях.

В процесі вдосконалення вказаного процесу на працюючих діють ті або інші небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп згідно [31].

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: підвищена або понижена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, відбита або пряма блискучість, підвищена яскравість світла.

Психофізіологічні НШВФ: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, монотонність праці, перенапруження аналізаторів.

5.1. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.1.1. Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості та швидкості руху повітря, а також інтенсивності теплового випромінювання.

Якщо з технічних чи економічних міркувань оптимальні норми не забезпечуються, то встановлюються допустимі величини параметрів мікроклімату.

Вибираємо для приміщення, в якому проводяться роботи з вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист», категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Ia.

Відповідно до [32] допустимі параметри мікроклімату у робочій зоні для теплового та холодного періодів року наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі показники мікроклімату в приміщенні [32]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °C для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Ia	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий	Ia	22-28	20-30	55 при 28°C	0,1-0,2

Розкид значень температури повітря за висотою робочої зони для всіх категорій робіт дозволяється до 3°C. При опроміненні менше 25% поверхні тіла працівника, нормована інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м².

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК), що використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, з метою контролю за якістю виробничого середовища. ГДК

шкідливих речовин, які утворюються в даному виробничому приміщенні наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр, що нормується	Значення	Клас небезпеки
Полімери	ГДК, мг/м ³	10	4
Бензин	ГДК, мг/м ³	100	4
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4
Іони п ⁺ , п ⁻	число іонів в 1 см ³ повітря	50000	–

Для забезпечення нормованих параметрів мікроклімату і чистоти повітря робочої зони запропоновано такі заходи:

- 1) у приміщенні повинна бути розміщена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року;
- 2) щоденне вологе прибирання;
- 3) припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

5.1.2. Виробниче освітлення

Для створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях великі вимоги пред'являються щодо кількісних та якісних параметрів освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводяться роботи з вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист», відповідно до [33] визначасмо, що вони відповідають III розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – середній, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт *в*.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості для штучного освітлення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення і мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	в	середній	середній	750	200	300	2	1,2

Так як приміщення знаходиться в місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а вікна орієнтовані за азимутом 0° , то для таких умов КПО визначатиметься за виразом [33, 34]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (5.1)$$

де e_n – табличне значення КПО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,b} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,1 (\%).$$

Для забезпечення нормованих значень параметрів освітлення запропоновано такі заходи: за недостатнього природного освітлення у світлу пору доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання штучного освітлення в темну пору доби.

5.1.3. Виробничі віброакустичні коливання

Встановлено, що приміщення, де відбувається робота з вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» може мати робочі місця із шумом та вібрацією, який генерується двигунами системи вентиляції.

З метою запобігання травмуванню працюючих від дії шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Головним документом стосовно виробничого шуму, діючим на території нашої країни, є [35], згідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не мають перевищувати значень, які наведено у таблиці 5.4. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 5.5 для 1-ї категорії (транспортна).

Таблиця 5.4 – Нормовані рівні шуму та еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця 5.5 – Нормовані рівні вібрації [36]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних смугах з середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
68	65	65	71	77	83	62

З метою забезпечення допустимих параметрів віброакустичних коливань в приміщенні передбачено такі заходи:

- 1) своєчасне проведення профілактичного ремонту;
- 2) здійснення контролю рівнів шуму та вібрації.

5.1.4. Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, де проводиться робота з вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів показані у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна чи кутова модуляція)

Номер діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль, λ	ГДР, В/м
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25
6	Гептаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \cdot \lg \lambda$
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3

З метою забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

5.2. Технічні рішення з безпеки при проведенні вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист»

5.2.1. Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, взаємне розташування його елементів та його розміри мають відповідати антропометричним, психофізіологічним і фізіологічним характеристикам працівника, а також характеру праці [37].

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати можливість оптимального

розміщення на робочій поверхні обладнання, що використовується, з урахуванням його кількості, розмірів, конструктивних особливостей та характеру роботи, яка виконується.

У випадку розміщення робочих місць у приміщеннях з джерелами шкідливих та небезпечних виробничих чинників, вони повинні розміщатись в абсолютно відокремлених кабінетах з природним освітленням та організованим повітрообміном. Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, має становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм приміщення – не менше ніж 20 м^3 , висота – не менше $3,2 \text{ м}$ [38].

Інтер'єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі $0,7-0,8$; стін $0,4-0,5$; підлоги $0,2-0,3$. Поверхня підлоги повинна бути рівною, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється застосовувати під час оздоблення інтер'єру полімери, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

5.2.2. Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом у цьому приміщенні можуть бути: робота під напругою під час проведення ремонтних робіт, несправність устаткування, випадкове торкання до струмоведучих частин або металевих частин, які опинилися під напругою. У відповідності до [39] дане приміщення відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність високої (понад 75%) вологості.

Тому безпека експлуатації електрообладнання має забезпечуватись рядом заходів, що включають використання ізоляції струмовідних елементів, захисного заземлення, захисних блокувань тощо [40].

5.3. Безпека у надзвичайних ситуаціях

Згідно [41] приміщення, в якому проводиться робота з вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на

базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист», відноситься до категорії пожежної небезпеки А, що характеризується наявністю легкозаймистих рідин з температурою спалаху не більше 28 °С, які використовуються при проведенні вдосконалення. Це приміщення відноситься до 1-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці 5.7 і являють собою час, протягом якого конструкції затримують поширення вогню, оцінюється межею вогнестійкості. Межа вогнестійкості конструкції визначається часом в хвилинах від початку сприймання вогню до утворення в конструкціях наскрізних тріщин або отворів, підвищення температури на поверхні, що не обігривається вище допустимої, руйнування конструкції.

Таблиця 5.7 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [41]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
1	REI 150 M0	REI 75 M0	E 30 M0	EI 30 M0	R 150 M0	R 60 M0	REI 60 M0	RE 30 M0	R 30 M0

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см.

В таблиці 5.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд. З метою попередження поширенню пожежі з одної споруди на іншу між ними

влаштовують протипожежні розриви, що залежать від ступеня вогнестійкості будівлі. Ширина евакуаційного виходу (дверей) із приміщень визначається в залежності від загальної кількості людей, які евакуюються через цей вихід та кількості людей на 1 м ширини виходу (дверей). Найбільша допустима кількість поверхів споруди, найбільша допустима площа підлоги між протипожежними стінами приймається в залежності від категорії пожежної небезпеки і ступеня вогнестійкості.

Таблиця 5.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [42]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	A	1	40	25	15	45	9	9	12	6	н.о.	н.о.	н.о.

Примітка: н.о. – не обмежується

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежегасіння проводиться із урахуванням властивостей фізико-хімічних та пожежонебезпечних горючих речовин, їхньої взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів та площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків і установок.

Вибираємо, що приміщення, де проводиться робота з вдосконалення, має бути обладнане двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також смістю з піском [43].

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз дефектів пластмасових деталей транспортних засобів, що виникають в ході експлуатації, причин їх виникнення та існуючих способів ремонту. Встановлено, що традиційні методи ремонту пластикових деталей автомобілів не дозволяють повністю усунути пошкодження, особливо в разі втрати елементів. Показано, що застосування технологій 3D-друку дозволить суттєво автоматизувати процес ремонту автомобілів та підвищити якість виконуваних робіт.

2. Розроблено теоретичні основи розрахунку характеристик міцності пластмасових деталей транспортних засобів, що відновлюються з використанням методів 3D-друку. Математична модель дозволяє визначити величини параметрів режиму 3D-друку, при яких будуть досягнуті задані характеристики виробу. В результаті проведення моделювання встановлено, що експериментальні значення міцності при розтягуванні зразків, виготовлених із розрахованими величинами параметрів режиму 3D-друку, перевищують розрахункові в середньому на 5%. Отже, передбачається запас міцності виробів.

3. Розроблено програму для вибору параметрів 3D-друку, яка може призначати параметри відповідно до заданих характеристик міцності конструкції і розраховувати характеристики міцності відповідно до заданих параметрів 3D-друку. Реалізовано можливість редагування та поповнення баз даних, що містять фізико-механічні характеристики існуючих на ринку філаментів для 3D-друку та технічні характеристики 3D-принтерів, які використовуються для виконання основного розрахунку.

4. Вивчено вплив технологічних факторів на в'язко-пружні та міцнісні характеристики пластмасових деталей автомобілів, відновлених з використанням 3D-друку. Встановлено, що збільшення швидкості друку та температури екструзії філаменту надає обернено пропорційний вплив на міцнісні та в'язкопружні характеристики. Збільшення відсотка заповнення та модифікатора подачі прямо пропорційно впливає на міцнісні та в'язкопружні характеристики.

Вплив зміни висоти шару на міцнісні та в'язкопружні характеристики носить нелінійний характер.

5. Вивчено вплив технічних факторів на експлуатаційні характеристики кишластикових деталей транспортних засобів, відновлених за допомогою 3D-друку. Встановлено, що збільшення швидкості друку та висоти шару призводить до збільшення відсотка вологопоглинання, а збільшення модифікатора подачі, відсотка заповнення та температури призводить до зниження відсотка вологопоглинання.

6. Досліджено міцність різних способів з'єднання елементів деталей між собою, у тому числі при низьких температурах. Визначено, що найбільш міцним способом з'єднання є 3D-зварювання (60% від міцності цільних зразків). Склеювання є другим за міцністю способом з'єднання деталей (40,4% від міцності цільних зразків). Таким чином, автоматизоване з'єднання 3D-зварюванням дозволить підвищити міцність з'єднання за рахунок рівномірної подачі присадкового матеріалу та зниження впливу людського фактора на технологічний процес.

7. Розроблено технологію ремонту пластмасових деталей транспортних засобів з використанням методів 3D-друку. Встановлено, що застосування адитивних технологій дозволить підвищити технологічність ремонту та надійність пластмасових деталей машин, а також знизити матеріаломісткість ремонту автомобілів.

8. Розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з безпеки при проведенні вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист», безпека у надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барановський В. М., Спірін А. В., Полєвода Ю. А., Твердохліб І. В. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2018. Випуск 1 (100). С. 24-28.
2. Гунько І. В. Гуцаленко О. В. Транспорт – актуальні проблеми та сьогодення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.
3. Borysiuk D., Spirin A., Trukhanska O., Shvets L., Zelinsky V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin–Rzeszow, 2017. Vol.17, No1, P. 41-48.
4. Spirin A., Baranovsky V. Matematical model of diagnostication of fuel apparatus of automotive diesels. *Scientific journal innovative solutions in modern science*. 2018. №2 (21). P. 33-46.
5. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Методи та засоби діагностування тракторів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 1 (89). т. 2. С. 16-20.
6. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 2 (94). С. 34-36.
7. Біліченко В. В., Романюк О. Н., Яцковський В. І., Борисюк Д. В. Монтаж акселерометрів при віброакустичному діагностуванні машин і механізмів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 2 (97). С. 52-55.
8. Гунько І. В., Спірін А. В., Холодюк О.В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. Вінниця : ВНАУ. 2006. 76 с.
9. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 207 с.
10. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2022. 225 с.
11. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Значення технічного діагностування

тракторів і автомобілів в сільському господарстві. *XLVI-а наук.-техн. конф. фак.-ту машинобудування та транспорту ВНТУ, м. Вінниця, 27-28 березня 2017 р.* : тези доповіді. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt2017/paper/view/1764/2362> (дата звернення: 12.04.2018).

12. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 221 с.

13. Борисюк Д. В. Перспективи розвитку методів і засобів діагностування сільськогосподарських тракторів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : X-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 23-25 жовтня 2017 р.*: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 138-142.

14. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 50 с.

15. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Методи віброакустичного діагностування технічного стану вузлів і агрегатів машин. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій : VI-а Міжн. конф., м. Вінниця, 13-15 вересня 2018 р.*: тези доповіді. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 34-36.

16. Борисюк Д. В. Виброакустическая диагностика дефектов и неисправностей подшипников качения. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2014. № 4 (76). С. 50-53.

17. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 51 с.

18. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : VI-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 12-13 квітня 2018 р.*: тези доповіді. Вінниця, 2018. С. 28-30.

19. ДСТУ 9118:2021. Технічна діагностика. Діагностування технічного стану матеріалів конструкцій. Загальні вимоги. [Чинний від 2022-01-07]. Вид. офіц. Київ, 2021.

20. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування і контроль технічного стану. Терміни і визначення. [Чинний від 1995-07-01]. Вид. офіц. Київ, 1995. 24 с.
21. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Вид. офіц. Київ : Мінтранс України, 1998. 16 с.
22. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2011. 56 с. (Інформація та документація).
23. Волков В. П., Гризук І. В., Волков Ю. В. та ін. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків, 2018.
24. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 384 с.
25. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 2. Організація, планування і управління / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 383 с.
26. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 3. Ремонт автотransпортних засобів / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 495 с.
27. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
28. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Основи будови та експлуатації автопоїздів / О. П. Строков, М. Г. Макаренко, В. Ф. Орлов, В. О. Павленко. Київ : Грамота, 2005. 352 с.
29. 3D printing trends 2020: industry highlights and market trends. *Trend report*. 2020. P. 38.
30. B. van den Berg, E. Kosta. 3D Printing: Legal, Philosophical and Economic Dimensions. T.M.C. ASSER PRESS. 2016. 212 p.
31. ДСТ 12.0.003-74*. ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори Класифікація.
32. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

33. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

34. Бондаренко С.А., Дрончак В.О. Освітлення виробничих приміщень : довідник. Вінниця : ВНТУ, 2011. 61 с.

35. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

36. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

37. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги.

38. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. Вінниця : ВНТУ, 2012. 64 с.

39. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. Харків: "Форт", 2009. 736 с.

40. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електро-установках будинків і споруд.

41. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

42. СНиП 2.09.02-85. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

Загальні вимоги.

43. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

44. Борисюк Д.В., Наумов В.Г. Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей автомобілів. *Матеріали XVI-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць*, 2023. С. 76-78.

Додаток А (обов'язковий).

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ, ЩО
ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ РЕМОНТІ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ РЕМОНТІ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

А.1. Дослідження характеристик міцності матеріалів, що використовуються для ремонту пластмасових деталей машин із застосуванням методів 3D-друку залежно від технологічних параметрів друку

При вихідному контролі якості деталей, виготовлених з використанням 3D-друку, досить часто обмежуються візуальним контролем робочих поверхонь надрукованих деталей. Можливо, цього достатньо для моделей, що друкуються як об'єкти візуалізації, але у разі застосування їх у вузлах дорожніх машин, що працюють під навантаженнями, необхідно знати, які параметри друку більшою мірою впливають на експлуатаційні властивості надрукованої деталі.

Відповідно до поставлених завдань були проведені випробування [7] для визначення залежності показників міцності матеріалу деталей від технологічних параметрів FDM 3D-друку. Для друку зразків використовувався 3D-принтер Magnum Creative 2 Pro та програма-слайсер Repetier Host. Перелік налаштувань та його значень подано у таблиці А.1.

Під швидкістю друку розуміють швидкість робочого руху друкувальної головки в процесі пошарового екструдювання пластику. Залежно від габаритів та конфігурації деталі швидкість може змінюватись у широкому діапазоні, що визначається характеристиками обладнання.

Кожна модель друкується пошарово знизу нагору. Висотою шару є товщина матеріалу, що наноситься за один прохід екструдера (вимірюється по вертикальній осі). Найчастіше мінімальна величина висоти шару визначається точністю механічних комплектуючих 3D-принтера.

Модифікатор подачі (коефіцієнт подачі) визначає об'ємну кількість матеріалу, що подається під час робочого ходу друкувальної головки 3D принтера, або, іншими словами, це відношення об'єму пластику, що подається, до теоретичного об'єму деталі

$$KM = V_{п. п.} / V_{100\%} \quad (A.1)$$

де $V_{п. п.}$ - об'єм пластика, що подається;

$V_{100\%}$ – теоретичний об'єм деталі.

Таблиця А.1 – Параметри 3D-друку зразків для випробувань

Найменування параметру	Розмір параметра
Швидкість друку, мм/с	15; 30; 45; 60; 80
Висота шару, мм	0,03; 0,06; 0,10; 0,12; 0,20; 0,25; 0,3
Модифікатор (коефіцієнт) подачі	0,9; 0,925; 0,95; 0,975; 1,0; 1,025; 1,05; 1,075; 1,1
Відсоток заповнення, %	20; 40; 60; 80; 100
Температура екструдуювання, °С	240; 250; 260; 270

Відсоток заповнення важливий для полегшення деталі та реалізується шляхом зміни кроку рядків або малюнка заповнення деталі. Зміна відсотка заповнення важлива у випадках, коли немає необхідності створення монолітної деталі. Існуючі структури заповнення представлені на рис. А.1.

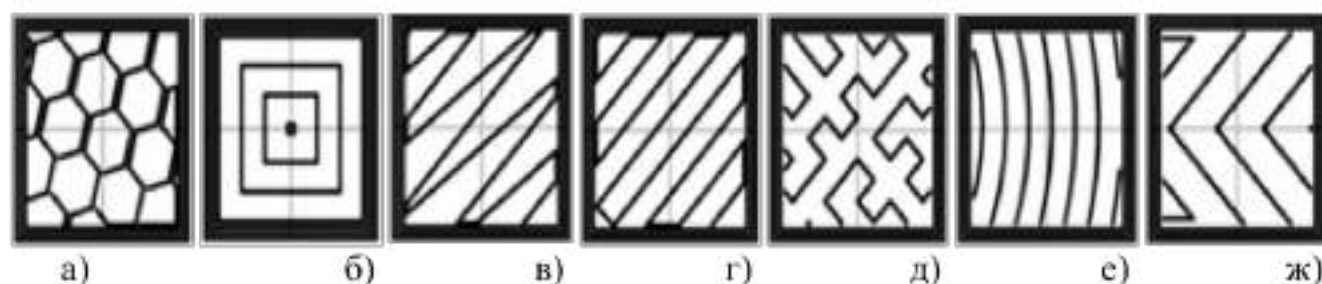


Рисунок А.1 – Типи заповнення тіла деталі матеріалом: honeycomb (а), concentric (б), line (в), rectilinear (г), Hilbert Curve (д), Archimedean Chords (е), Octagram Spiral (ж)

Зразки виготовлялися з акрилонітрилбутадієнстиролу (ABS). Форма та розміри зразків представлені на рис. А.2. Випробування надрукованих зразків на розтяг проводилися на універсальній випробувальній машині UTC-110M-5-0У відповідно до вимог ДСТУ 11262-2017 «Пластмаси. Методи випробувань на розтягування».

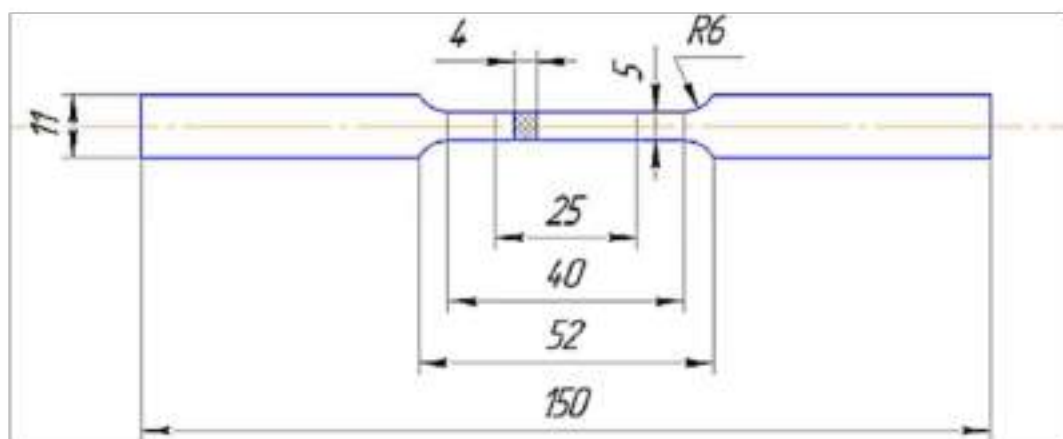


Рисунок А.2 – Зразок для випробувань на міцність під час розтягування

Для визначення впливу кожного з параметрів 3D-друку на характеристики зразків міцності, було прийнято рішення проводити послідовний експеримент. При цьому експеримент реалізовувався у вигляді серій випробувань, у яких умови проведення наступної серії визначалися результатами попередньої. Блок-схема проведення експерименту представлена рис. А.3.

Як початковий параметр вибрано швидкість друку. Друк проводився з висотою шару 0,1 мм, 100% заповненням та коефіцієнтом подачі рівним 1, температура екструзії становила 240°C. Отримані в результаті випробувань графіки наведено на рис. А.4.

Як впливає з отриманих результатів, найбільша міцність зразків досягається за найменших швидкостей друку. Ця залежність справедлива й щодо відносного подовження зразка: що менше швидкість, то більше подовження. Це може бути пояснено тим, що при повільному пересуванні друкуючої голівки відбувається значне локальне нагрівання нанесеного матеріалу, що призводить до кращого сплавлення попереднього та наступного шарів деталі.

Для продовження експерименту були зроблені зразки з різною висотою шару. Друк проводився зі швидкістю 45 мм/с, 100% заповненням і коефіцієнтом подачі рівним 1 температура екструзії становила 240°C. Вибір величини швидкості друку обумовлений оптимальним співвідношенням якості та часу друку. Отримані результати наведено на рис. А.5.

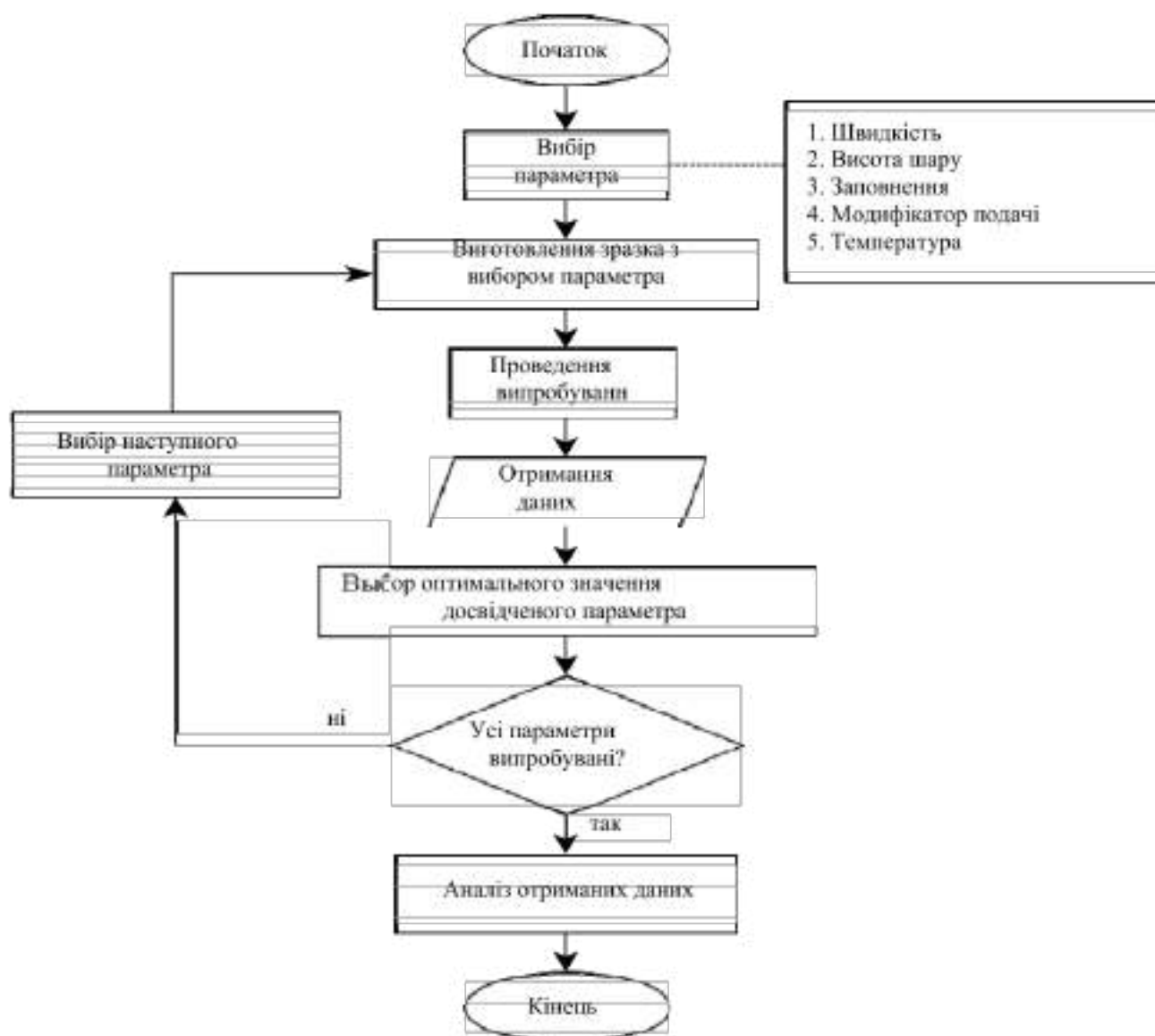


Рисунок А.3 – Блок-схема процесу послідовності випробувань

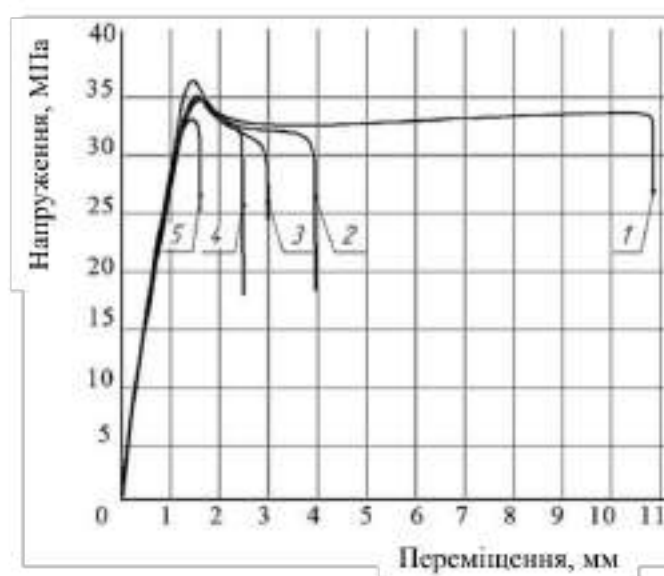


Рисунок А.4 – Вплив швидкості друку на характеристики міцності:

1 – 15 мм/с; 2 – 30 мм/с; 3 – 45 мм/с; 4 – 60 мм/с; 5 – 80 мм/с

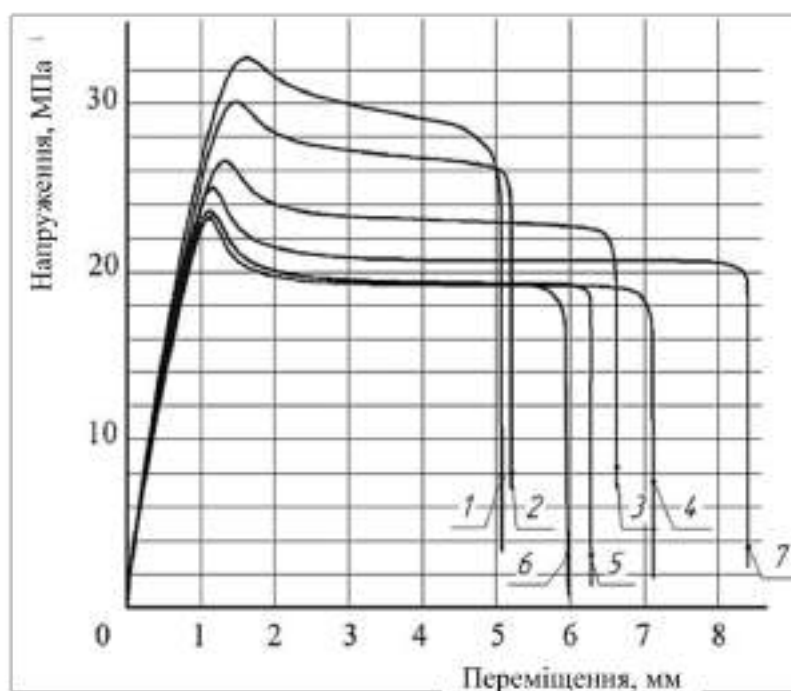


Рисунок А.5 – Вплив висоти шару на характеристики міцності:

1 - 0,03 мм; 2 - 0,06 мм; 3 - 0,1 мм; 4 - 0,12 мм; 5 - 0,2 мм; 6 - 0,25 мм; 7 - 0,3 мм

Чим менша висота шару, тим більша міцність і менше відносне подовження зразка. Ця поведінка матеріалу пояснюється тим, що при малих величинах висоти шару при друку відбувається екструзія пластику із сопла в безпосередній близькості від вже надрукованих шарів, що призводить до утворення плоских шарів (при розгляді в поперечному зрізі) і, отже, до зменшення порожнеч.

Для дослідження впливу модифікатора подачі на властивості міцності були виготовлені образи з наступними технологічними режимами: швидкість 45 мм/с; заповнення 100%, висота шару 0,1 мм, температура екструзування становила 240°C. Вибір висоти шару обумовлений оптимальним співвідношенням "Час-якість" друку. Результати наведено рис. А.6.

При роботі з модифікатором подачі необхідно мати на увазі, що менше його значення, тим менше міцність деталі і відносне подовження. Однак не можна стверджувати, що збільшення модифікатора подачі понад 1,1 (110%) дозволить отримати міцність вище за збереження інших властивостей деталі, в тому числі і якості поверхні, так як збільшення кількості матеріалу призводить до виникнення деформацій деталі. Також зміна модифікатора подачі впливає на подовження деталі: збільшення коефіцієнта призводить до збільшення відносного подовження. Але

після досягнення певного значення модифікатора (1,05) відбувається зниження подовження матеріалу.

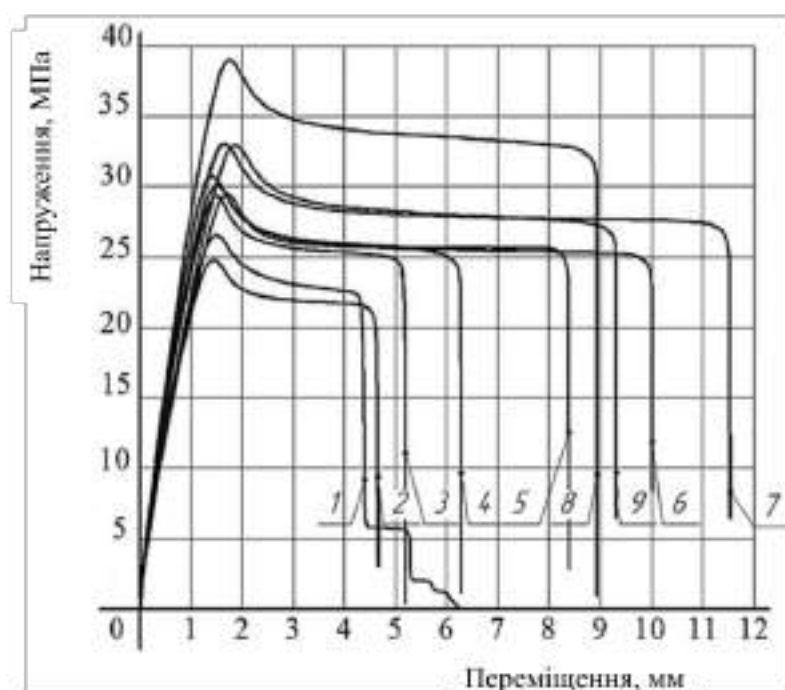


Рисунок А.6 – Вплив модифікатора подачі на характеристики міцності:

1 – 0,9; 2 – 0,925; 3 – 0,95; 4 – 0,975; 5 – 1,0; 6 – 1,025; 7 – 1,05; 8 – 1,075; 9 – 1,1

При виготовленні зразків для оцінки коефіцієнта заповнення було вибрано такі параметри режиму друку зразків: швидкість 45 мм/с; висота шару 0,1 мм; модифікатор подачі 1 температура екструзії склала 240°C. Отримані графіки представлені рис. А.7.

Збільшення відсотка заповнення призводить до збільшення міцності матеріалу та зростання подовження. При цьому слід звернути увагу, що до певного значення (60%) величина заповнення впливає лише на подовження, а міцність матеріалу зростає незначно через те, що більшу частину навантаження, що додається до зразка, сприймає зовнішня оболонка (стінка).

Для визначення впливу температури екструзії на характеристики міцності були виготовлені зразки при наступних параметрах 3D-друку: швидкість 45 мм/с; заповнення 100%, висота шару 0,1 мм, модифікатор подачі 1. На рис. А.8 представлені одержані графіки.

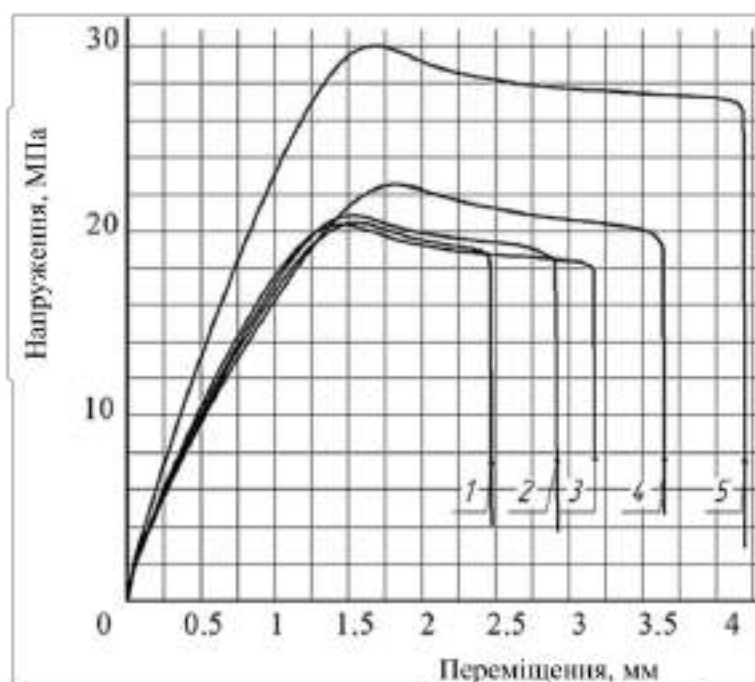


Рисунок А.7 – Вплив відсотка заповнення на характеристики міцності:
1 – 20%; 2 – 40%; 3 – 60%; 4 – 80%; 5 – 100%

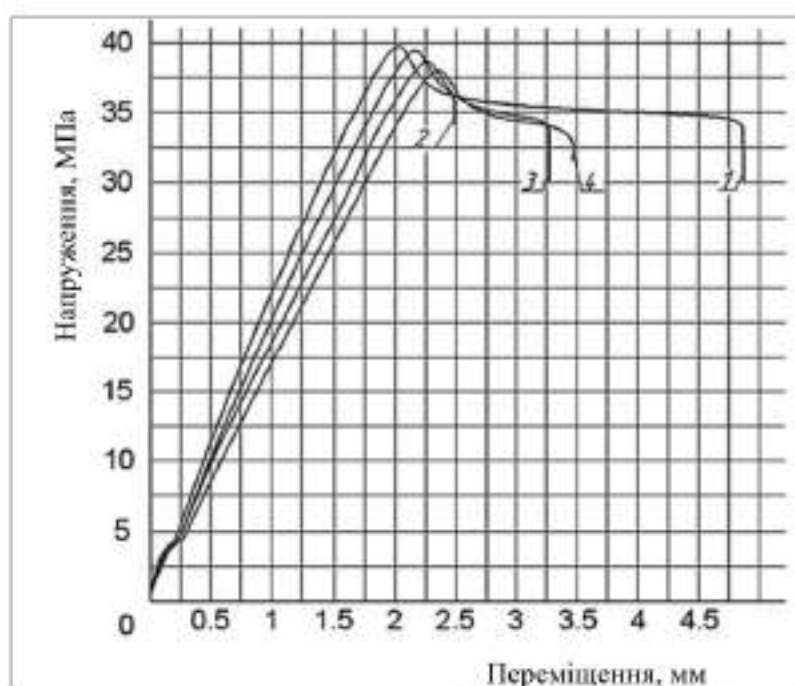


Рисунок А.8 – Вплив температури екструзування на характеристики міцності:
1 – 240 °C; 2 – 250 °C; 3 – 260 °C; 4 – 270 °C

Збільшення температури екструзування призводить до незначного зниження міцності при розтягуванні та зменшенні відносного подовження.

При порівнянні з фізико-механічними характеристиками вихідної сировини,

одержуваного від виробника (міцність при розтягуванні 45,1 МПа, модуль пружності 2079 МПа), слід, що використання технології 3D-друку призводить до зниження характеристик міцності матеріалу на 20-30%.

Оскільки процес 3D-друку передбачає використання спеціального філаменту, який також екструдується на виробництві, а отже, відбувається зниження фізико-механічних характеристик, необхідно визначити характеристики філаменту. Для цього філамент був нарізаний на зразки завдовжки 180 мм. Поперечний переріз філаменту становив 1,75 мм. Ця партія зразків була випробувана на розтяг. За результатами випробувань встановлено, що середнє значення міцності на розтягування філаменту становило 40,8 МПа. Таким чином, процес одержання філаменту знижує міцнісні характеристики сировини приблизно на 10%.

Для навантажених деталей умови експлуатації пред'являють жорсткі вимоги до їхньої мікроструктури, оскільки наявність дефектів призводить до утворення концентраторів напруги або акумуляторів агресивного середовища.

Реальна мікроструктура матеріалу передбачає існування певної кількості неоднорідностей різного походження. Характер цих мікронеоднорідностей визначається специфікою виготовлення виробів, матеріалом та іншими причинами.

Як відомо, навіть для одного матеріалу структура може відрізнятися залежно від технологічних режимів виготовлення. Тому після проведення випробування на розтяг було досліджено вплив різних режимів 3D-друку на структуру одержуваного матеріалу [7].

У ході проведених експериментів було встановлено, що структура матеріалу незалежно від технологічних режимів друку є шарувально-комірчастою. Шаруватість матеріалу визначається технологією виготовлення і, отже, майже неможливо позбутися. Пористість матеріалу виникає за кількома причинами, перша з яких – це форма розплаву, що подається, пластика в поперечному перерізі. Оскільки розплав проходить через отвір круглого перерізу і наноситься на плоску поверхню, то підсумковий переріз кожного надрукованого ряду (нитки) є овалом. При збільшенні швидкості переміщення друкувальної голівки відбувається місцеве подовження матеріалу та деформація його у поперечному перерізі. Таким чином,

при нанесенні кількох паралельних рядів та послідовного накладання шарів можна спостерігати пори.

Другою причиною, що впливає на структуру деталі, що виготовляється, і пов'язаною зі швидкістю друку, є тривалість температурного впливу. Чим менша швидкість друку, тим більше тепла передається через розплав пластику на вже сформовані шари. Це призводить до кращого розтікання пластику і, як наслідок, зменшення кількості пір у матеріалі. Збільшення швидкості друку призводить до зменшення адгезійних зв'язків між шарами та рядами матеріалу.

Збільшення висоти шару призводить до збільшення величини пор у матеріалі. Це особливістю формування низки поперечному перерізі. Мінімальна висота шару забезпечується зазором між соплом друкуючої голівки і вже надрукованим шаром матеріалу. Під час екструзування розплав пластику заповнює зазор. Відповідно, чим більша величина зазору (висота шару), тим ближча форма поперечного перерізу ряду до кола.

Зміна коефіцієнта подачі пластику також впливає на структуру матеріалу. Якщо коефіцієнт менше 1,0 це призведе до збільшення розмірів пір у матеріалі. При його збільшенні більше 1,0 розміри пір зменшуються. Однак при виборі модифікатора слід звернути увагу на те, що як значення коефіцієнта, відмінні від 1,0, призводять до відхилення від заданої геометричної форми деталі.

Зміна відсотка заповнення дозволяє полегшити деталь. Чим менший відсоток заповнення, тим більші пори формуються у матеріалі. Це формування відбувається шляхом математичної обробки деталі на стадії проектування завдання друку. Працюючи з відсотком заповнення слід враховувати, що він впливає лише на структуру заповнення, а чи не на структуру стінок деталі.

Зміна температури екструзування впливає на структуру виробу: чим вища температура, тим менша кількість і розмір пор у матеріалі. Як правило, виробник філаменту вказує діапазон рекомендованих для друку значень температури (наприклад, 240-270 °C для ABS). Вихід за межі цих значень може призвести до погіршення якості друку. Так, при низькій величині температури можливе утворення пробок у тракті подачі пластику, а при надто високій температурі

утворюватимуться повітряні бульбашки через закипання пластику. Також перевищення рекомендованих значень температури екструзії призведе до порушень у формі деталі через надмірно низьку в'язкість розплаву.

На рис. А.9 – А.13 представлена структура зразків, надрукованих за різних режимів 3D-друку.

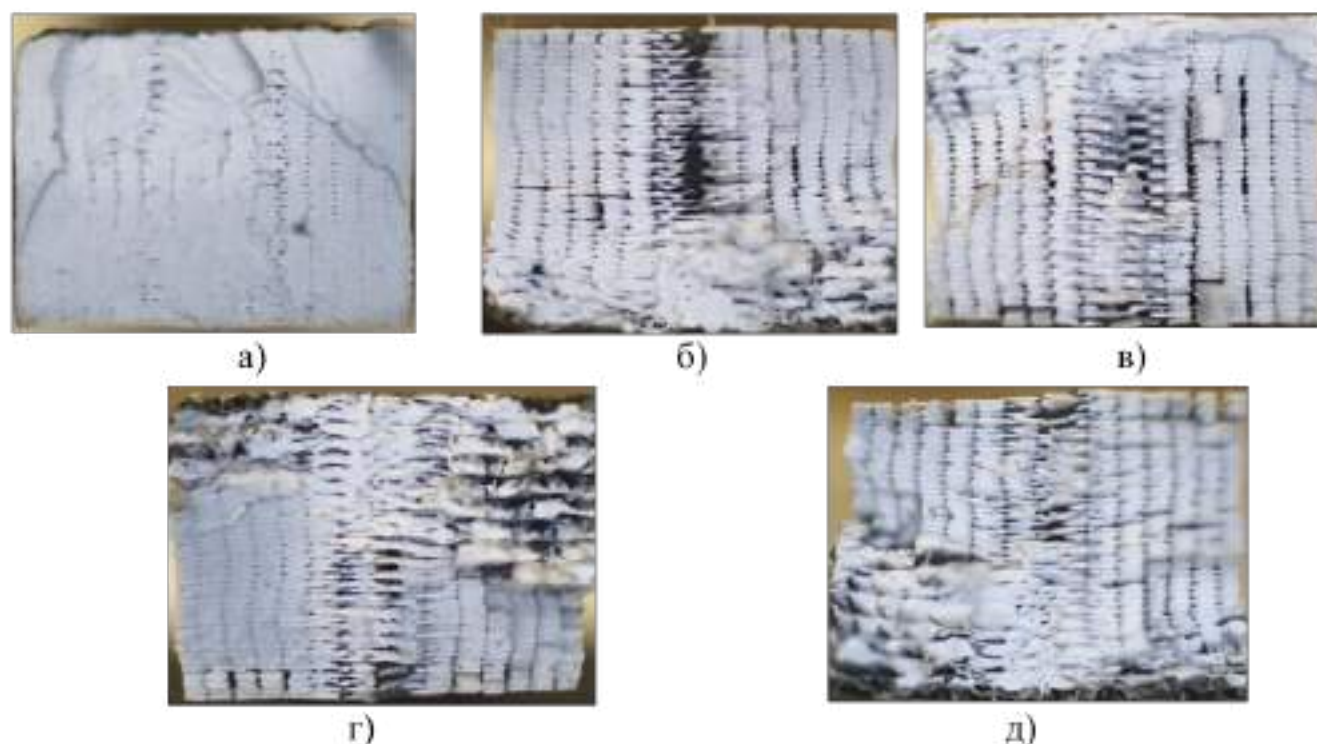


Рисунок А.9 – Структура матеріалу, залежно від швидкості друку:
15 мм/с (а); 30 мм/с (б); 45 мм/с (в); 60 мм/с (г); 80 мм/с (д)

Таким чином, формування структури деталі, виготовленої за допомогою адитивних технологій, можливе при проектуванні завдання. При цьому слід враховувати технологічні особливості процесу 3D-друку: параметри, що впливають на структуру всієї деталі в цілому, та параметри, що змінюють лише певні елементи деталі. Грамотний підбір цих параметрів дозволить створювати деталі з необхідними механічними властивостями з високою часткою повторюваності.

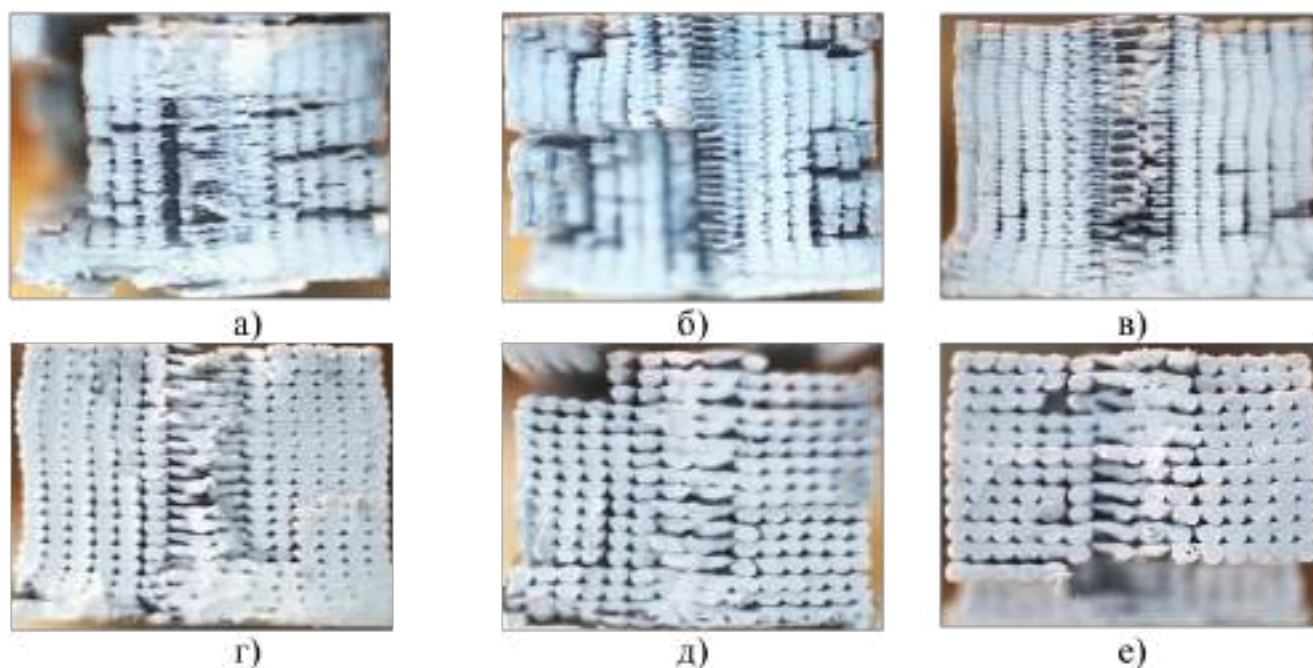


Рисунок А.10 – Структура матеріалу, залежно від висоти шару:

0,03 мм (а); 0,06 мм (б); 0,1 мм (в); 0,2 мм (г); 0,25 мм (д); 0,3 мм (е)

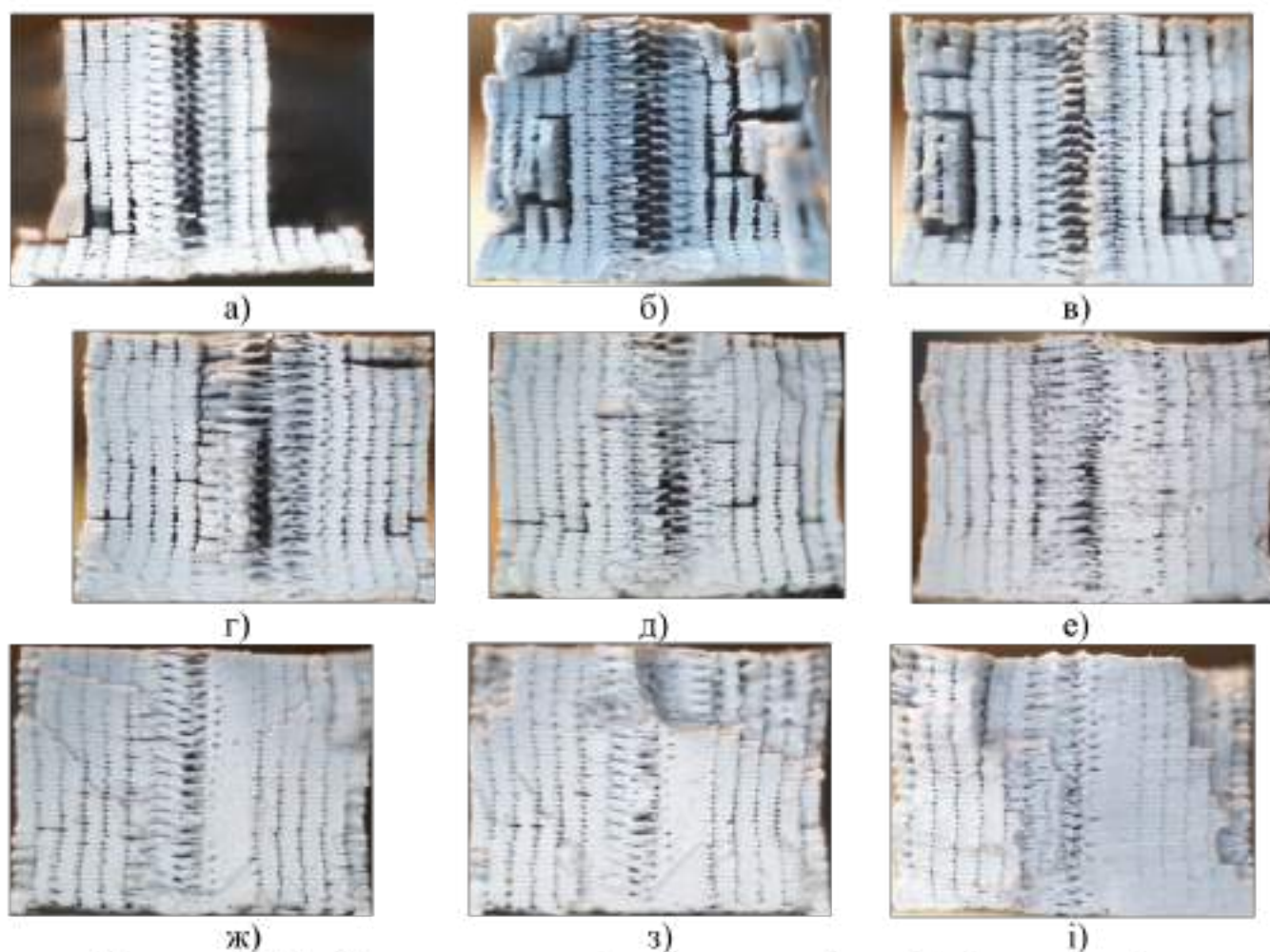


Рисунок А.11 – Структура матеріалу, залежно від коефіцієнта подачі:

0,9 (а); 0,925 (б); 0,95 (в); 0,975 (г); 1,0 (д); 1,025 (е); 1,05 (ж); 1,075 (з); 1,1 (і)

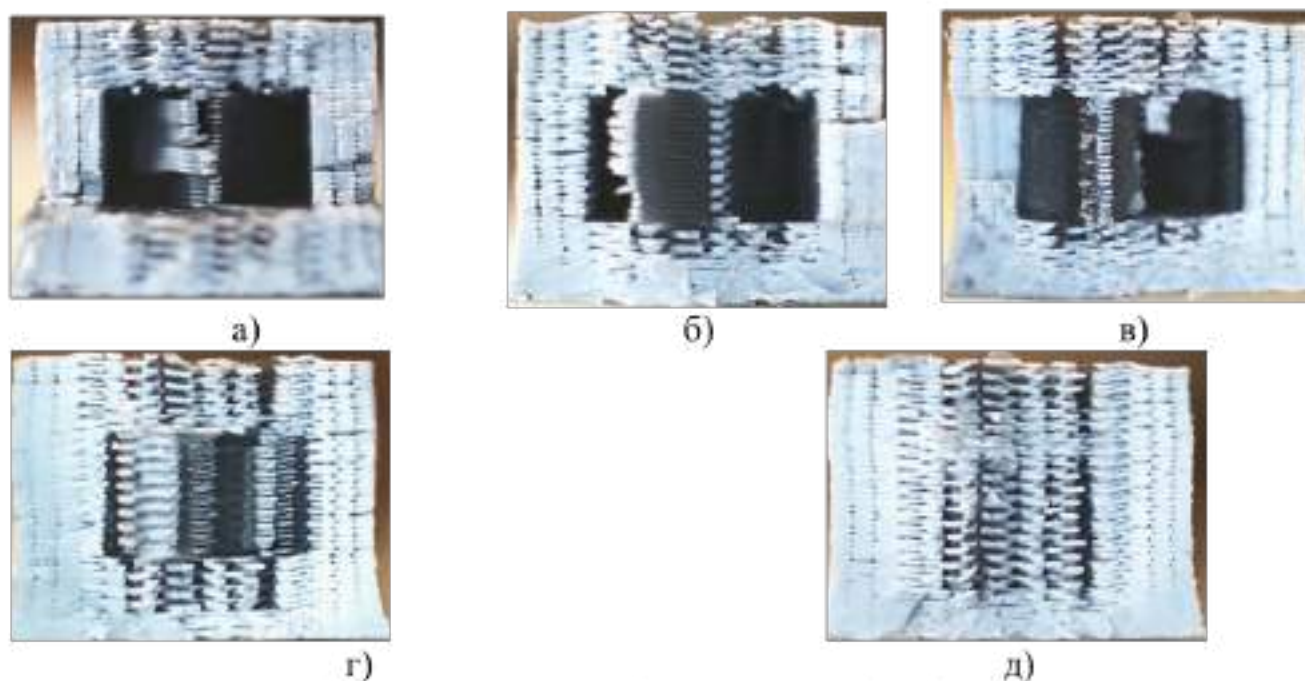


Рисунок А.12 – Структура матеріалу, залежно від відсотка заповнення: 20% (а); 40% (б); 60% (в); 80% (г); 100% (д)

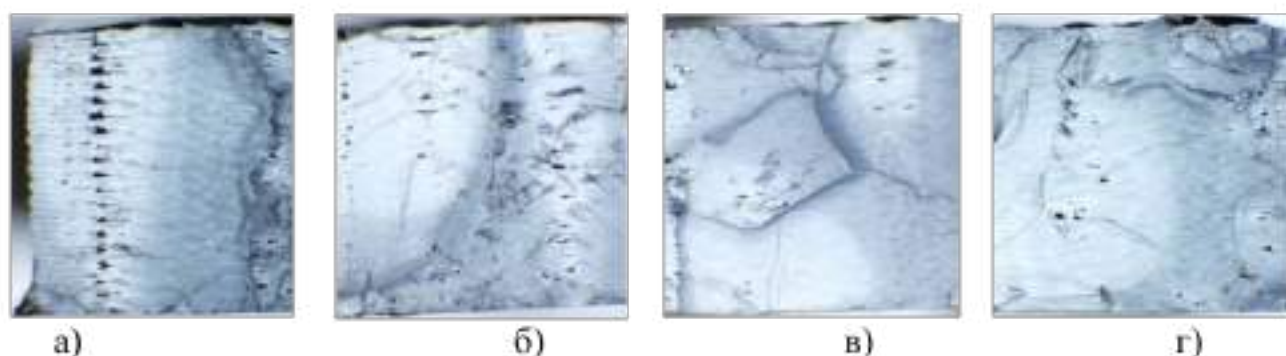


Рисунок А.13 – Структура матеріалу, залежно від температури екструзії: 240 °C (а); 250 °C (б); 260 °C (в); 270 °C (г)

А.2. Дослідження в'язкопружних характеристик матеріалів, що використовуються для ремонту пластмасових деталей машин із застосуванням методів 3D-друку залежно від технологічних параметрів друку

При перевищенні допустимих значень динамічних навантажень деталі машин можуть ушкоджуватися [3]. У зв'язку з цим необхідно визначити вплив технологічних режимів 3D-друку на в'язкопружні властивості пластмасових деталей машин, отриманих адитивними методами.

Для визначення в'язкопружних характеристик пластмасових деталей на 3D-

принтері Magnum Creative 2 Pro були надруковані зразки з габаритними розмірами $50 \times 15 \times 10$ мм. Режими друку наведено у таблиці А.1.

У процесі підготовки завдання на друк зразки мали дві різні орієнтації у просторі на платформі 3D-принтера (рис. А.14). Це було необхідно для отримання різного розташування шарів у зразку.

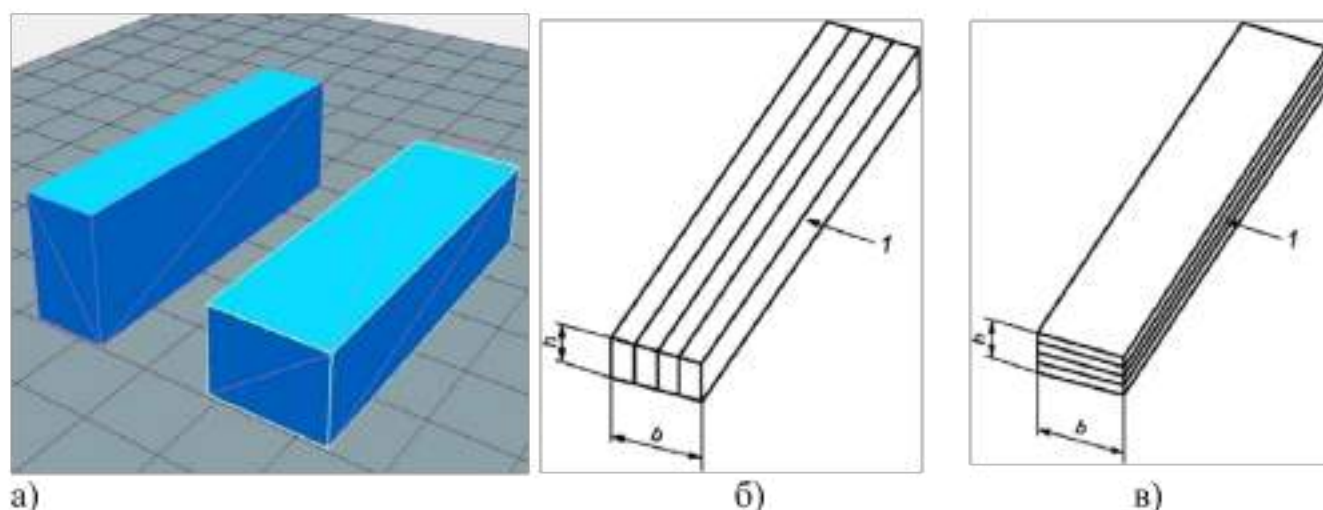


Рисунок А.14 – Орієнтація зразків: під час друку (а); при ударі в ребро перпендикулярно шарам (б); при ударі в ребро паралельно до шарів (в); 1 - напрям удару; h – висота зразка; b – ширина зразка

Виготовлені зразки були поділені на 3 групи. Перша група – контрольні зразки. Друга група – зразки, витримка яких здійснювалася 30 діб за температури -30°C у морозильній камері (рис. А.15, б). Третя група – зразки, витримка яких здійснювалася 30 діб за нормальної температури -50°C кріостаті (рис. А.15, а).



а)



б)

Рисунок А.15 – Кріостат LOIPFT-311-80 (а) та морозильна камера PozisFH-258-1 (б)

Випробування на ударну в'язкість проводили на маятниковому Testsystems TСКМ-300 (рис. А.16) відповідно до вимог ДСТУ 4647-2015 «Пластмаси. Методи визначення ударної в'язкості по Шарпі».



а)



б)

Рисунок А.16 – Копер маятниковий ТСКМ-300(а) та зразок, встановлений на опори копра (б)

Результати випробувань зразків на ударну в'язкість надані в таблиці А.2.

За результатами аналізу отриманих значень ударної в'язкості можна зробити такі висновки. Висота шару незначно впливає зміну ударної в'язкості. Збільшення швидкості друку призводить до зменшення значень ударної в'язкості. Малий відсоток заповнення (до 40%) призводить до збільшення ударної в'язкості, відсоток заповнення рівний 60-80% зменшує ударну в'язкість, а максимальна ударна в'язкість досягається при 100% заповненні. Максимальні значення ударної в'язкості при зміні коефіцієнта подачі було отримано за його значення дорівнює 1,0. Значення коефіцієнта, відмінні від 1,0, призводять до зниження ударної в'язкості. При цьому ударна в'язкість зразків з коефіцієнтами подачі 1,05 та 1,1 вище, ніж у зразків з коефіцієнтами подачі 0,9 та 0,95.

Великий вплив на ударну в'язкість зразка має розташування шарів. При ударі в ребро паралельно до шарів (e_p) значення ударної в'язкості вище, ніж при перпендикулярному ударі (e_n). Таким чином, це слід враховувати при виборі розташування деталі на платформі 3D-принтера при слайсуванні.

Вплив на зразки негативних температур (-30°C , -50°C) призводить до зниження ударної в'язкості. Насамперед це пов'язано з охрупчуванням пластмас.

Зниження температури має на пластмаси неоднозначний вплив. Так, для деяких зразків ударна в'язкість при -50°C більша, ніж при -30°C .

Отримані результати випробувань можна застосовувати для призначення оптимальних режимів 3D-друку з метою досягнення необхідних показників міцності деталей. Використання певної структури заповнення дозволить створити деформовані елементи, які можна використовувати як під час ремонту, так і при виготовленні деталей дорожніх машин.

Таблиця А.2 – Результати випробувань зразків на ударну в'язкість

Параметри друку		Середні значення ударної в'язкості, Дж/см ²								
		20°C			-30°C			-50°C		
		en	ep	Σ	en	ep	Σ	en	ep	Σ
Висота шару	45-0,03-1,0-100	3,22	4,09	3,66	3,39	4,03	3,71	3,49	4,10	3,80
	45-0,06-1,0-100	3,20	3,98	3,59	2,63	3,21	2,92	3,25	3,46	3,35
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99
	45-0,12-1,0-100	4,60	4,85	4,73	4,26	4,66	4,46	4,39	4,14	4,27
	45-0,2-1,0-100	3,46	4,30	3,88	3,62	4,05	3,83	3,05	4,77	3,91
	45-0,25-1,0-100	3,72	4,02	3,87	3,21	3,45	3,33	3,01	3,71	3,36
	45-0,3-1,0-100	3,65	3,80	3,73	3,65	3,93	3,79	4,30	4,32	4,31
Швидкість	15-0,1-1,0-100	4,53	4,17	4,35	4,07	4,44	4,25	3,87	4,25	4,06
	30-0,1-1,0-100	4,96	5,46	5,21	4,82	4,99	4,91	3,61	4,99	4,30
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99
	60-0,1-1,0-100	3,50	3,86	3,68	3,55	3,37	3,46	2,95	3,58	3,26
	80-0,1-1,0-100	2,79	3,45	3,12	2,80	3,35	3,07	2,78	3,87	3,33
Відсоток заповнення	45-0,1-1,0-20	5,57	3,97	4,77	1,99	4,09	3,04	1,82	3,92	2,87
	45-0,1-1,0-40	2,75	7,18	4,97	1,88	6,32	4,10	1,49	4,27	2,88
	45-0,1-1,0-60	1,96	4,77	3,36	1,84	4,99	3,42	1,60	3,82	2,71
	45-0,1-1,0-80	1,85	2,05	1,95	1,73	2,04	1,88	1,51	1,80	1,65
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99
Коефіцієнт подачі	45-0,1-0,9-100	2,95	2,60	2,78	2,62	2,52	2,57	2,42	2,33	2,38
	45-0,1-0,95-100	5,33	2,83	4,08	2,26	2,65	2,46	3,47	2,82	3,14
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99
	45-0,1-1,05-100	3,27	3,95	3,61	3,17	3,88	3,53	3,21	4,02	3,61
	45-0,1-1,1-100	3,80	4,92	4,36	3,48	4,61	4,05	3,74	4,92	4,33

де en - удар в ребро перпендикулярно шарам; ep – удар у ребро паралельно шарам;
Σ - середні значення ударної в'язкості за двома типами удару (en та ep)

А.3. Дослідження впливу технологічних параметрів друку на експлуатаційні властивості пластмасових деталей машин, відновлених з використанням методів 3D-друку

Пластмасові деталі дорожніх машин у процесі експлуатації можуть зазнавати тривалого впливу робочих середовищ (води, олії та ін.), а також додатковий вплив мають протижеледні реагенти в зимовий період. Все це негативно впливає на технічний стан деталей дорожніх машин.

3D-друк пластмасових деталей дорожніх машин може здійснюватися з різними технологічними режимами. Залежно від цих режимів формується структура виробу [3]. У свою чергу, структура виробу впливає на вологопоглинання матеріалу.

Крім вологи в структуру деталі може потрапляти й різні домішки, зокрема й хімічні протижеледні реагенти, що у великій кількості на дорогах. Саме тому необхідно дослідити вплив технологічних параметрів друку на водопоглинання та хімічну стійкість до реагентів.

Випробування визначення водопоглинання здійснювалися відповідно до вимог ДСТУ 4650-2014 «Пластмаси. Методи визначення водопоглинання». Стійкість до дії хімічних середовищ визначалася за методикою, викладеною у ДСТУ 12020-2018 «Пластмаси. Методи визначення стійкості до впливу хімічних середовищ».

Зразки, надруковані з різними режимами (див. таблицю А.1), перед початком випробувань були зважені на терезах, потім занурені у ємність з водою. Витримка зразків становила 90 діб. Після закінчення терміну витримки зразки були вилучені з води і витримувалися на відкритому повітрі протягом доби при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ для просушування зовнішньої поверхні. Після закінчення просушування було здійснено зважування зразків для визначення зміни маси. Результати зміни маси зразків у відсотковому співвідношенні подані на рис. А.17.

За отриманими в ході випробувань даними можна зробити наступні висновки

- збільшення швидкості друку призводить до збільшення відсотка водопоглинання збільшення відсотка заповнення знижує відсоток водопоглинання;
- збільшення коефіцієнта подачі знижує відсоток водопоглинання;

– збільшення висоти шару призводить до збільшення відсотка водопоглинання.

Дослідження стійкості матеріалу до хімічних протижеледних реагентів полягає у приміщенні зразків у ємність хімічним середовищем, витримці протягом 90 діб та подальшій оцінці зміни структури матеріалу. Як хімічне середовище використовувався протижеледний реагент марки ICEMELT міх, що представляє собою гранули неправильної форми. У склад реагенту входять хлорид натрію (50 ... 85%) і хлорид кальцію (15 ... 50%).

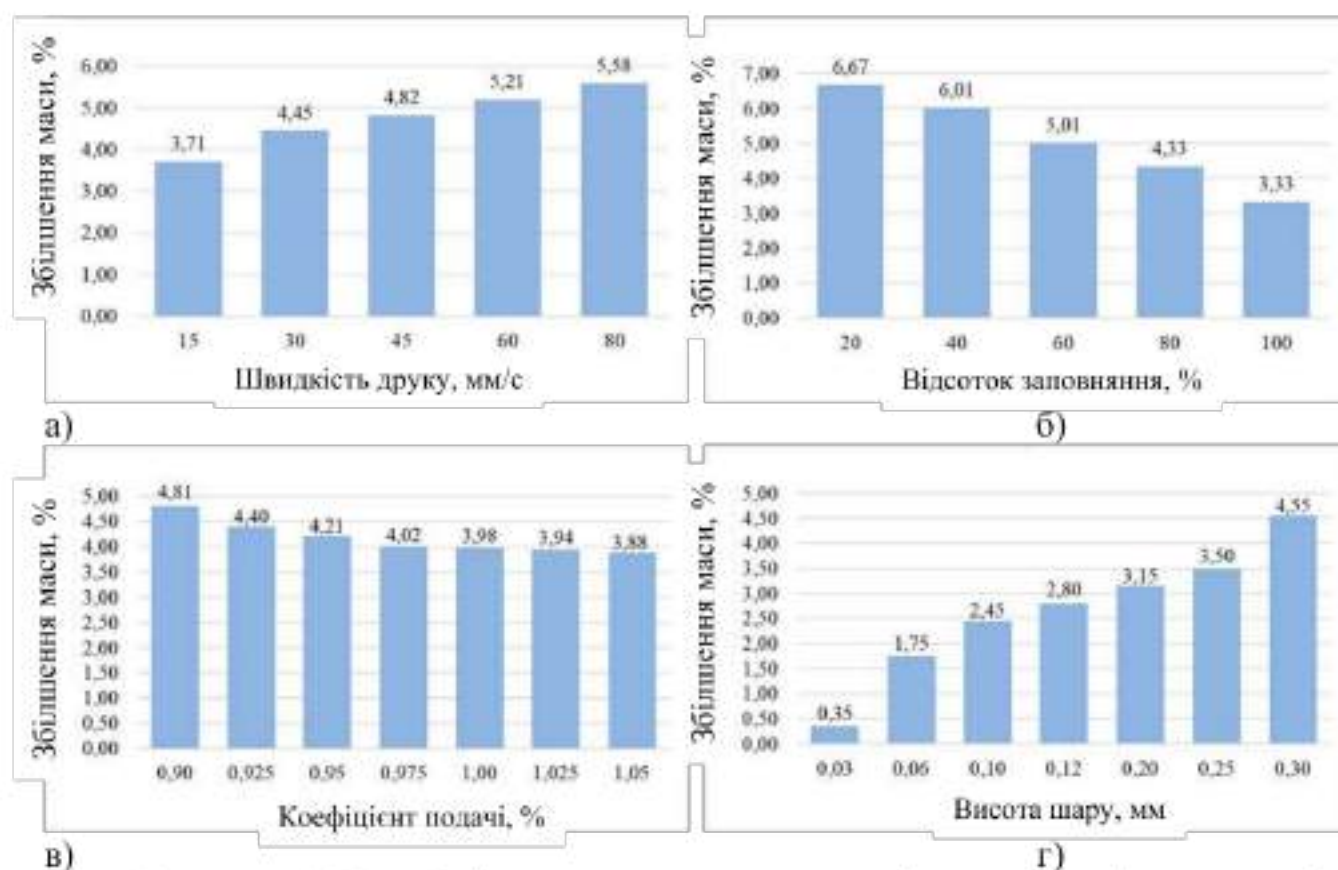


Рисунок А.17 – Зміна водопоглинання зразків залежно від технологічних параметрів друку: швидкості друку, мм/с (а); б) - відсотка заповнення, % (б); коефіцієнта подачі, % (в); висоти шару, мм (г)

Перед початком та наприкінці проведення експерименту було вивчено структуру зразків (рис. А.18).

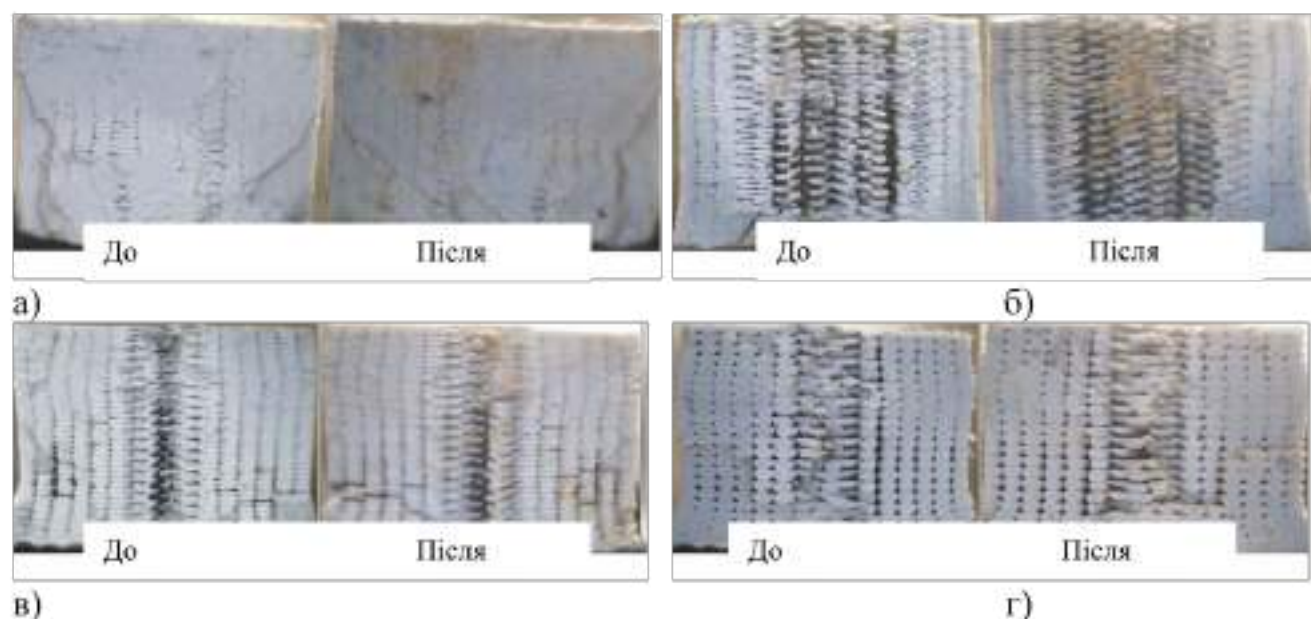


Рисунок А.18 – Вплив хімічного середовища на структуру матеріалу залежно від різних параметрів друку: швидкості друку, мм/с (а); відсотка заповнення, % (б); коефіцієнта подачі, % (в); висоти шару, мм (г)

Отримані результати показали, що структура зразка з ABS-пластику не змінюється під впливом протножеледного реагенту, який застосовується в зимовий період на дорогах загального користування. Щодо стійкості до інших хімічних речовин, що використовуються у машинобудуванні (паливо, моторне масло, охолоджувальна рідина, рідина омивача фар) слід користуватися довідковими даними щодо матеріалу для 3D-друку.

А.4. Дослідження міцності з'єднань пластмасових деталей, надрукованих за допомогою адитивних технологій

Використання 3D-принтера з невеликою робочою зоною при друку виробів дорожніх машин, габарити яких перевищують область побудови 3D-принтера, призводить до необхідності поділу моделі на декілька менших за розмірами частин. Після завершення друку окремі частини необхідно з'єднати між собою в єдину деталь. У тому випадку, коли призначення цієї деталі є виключно демонстраційним, то вимоги пред'являються в першу чергу до зовнішнього вигляду виробу. При друку функціональних виробів дорожніх машин велике значення мають характеристики

міцності з'єднання частин виробу між собою.

Існує кілька методів з'єднання пластмасових деталей між собою: зварювання гарячим повітрям з подачею прутка присадки і склеювання. Гвинтові сполуки у цій роботі не розглядаються.

Зварювання гарячим повітрям є одним із найпоширеніших способів з'єднання пластмасових виробів між собою. Цей спосіб полягає в місцевому розігріванні матеріалу деталей потоком гарячого повітря та одночасною подачею присадного матеріалу в зону паяння. Розплав присадного прутка проникає в розігрітий матеріал деталей і при охолодженні з'єднує їх між собою. Невисока вартість обладнання та низька трудомісткість процесу є основними перевагами цього способу. До недоліків можна віднести високі вимоги до кваліфікації виконавця для отримання якісного з'єднання, ймовірність внесення потоком гарячого повітря сторонніх частинок у розплав, а також велику зону термічного впливу на деталях, що з'єднуються.

Часто склеювання термопластів здійснюють за допомогою органічних розчинників. В результаті обробки поверхні розчинником відбувається їх розм'якшення. З'єднання здійснюється шляхом докладання незначного зусилля до деталей. Витримка у фіксованому положенні має проводитися до утворення твердого поверхневого шару. Перевагами склеювання є можливість з'єднання тонкостінних виробів, економічність витратних матеріалів, відсутність дорогого обладнання, широка номенклатура органічних розчинників. Однак цей спосіб не позбавлений недоліків: тривалий час затвердіння, токсичність розчинників, вплив розчинників на структуру деталей, що склеюються.

Пропонований у цій роботі спосіб з'єднання надрукованих деталей 3D-зварюванням заснований на використанні можливостей 3D-принтера і полягає в наступному [7]. Деталі, що з'єднуються, розміщуються в робочій зоні 3D-принтера і фіксуються. Потім програмними засобами визначаються координати та траєкторія руху друкуючої голівки по майбутньому зварному шву. Розраховується кількість матеріалу, необхідного для заповнення шва, а також вибирається швидкість переміщення друкувальної голівки. Виготовляється попередній підігрів деталей для мінімізації температурних напруг у матеріалі. Після цього здійснюється 3D-

зварювання деталей.

Для визначення характеристик міцності з'єднань були надруковані на 3D-принтері Magnum Creative 2Pro половини зразків габаритними розмірами 110×30×3 мм. Для порівняння також були виготовлені цільні цільні зразки контрольними габаритними розмірами 200×30×3 мм. Режими друку наведено у таблиці А.3.

З'єднання половин зразків між собою представлені на ис. А.19.

Таблиця А.3 – Параметри друку зразків для випробування міцності з'єднань

Параметри	Значення
Швидкість друку, мм/сек	45
Заповнення, %	100
Висота шару, мм	0,12
Температура екструдуювання, °С	235
Матеріал	ABS
Діаметр сопла, мм	0,4

Отримані після друку зразки були механічно оброблені (зроблені фаски на торцях, що з'єднуються) і потім з'єднані попарно трьома різними способами: 3D-зварюванням, зварюванням нагрітим повітрям і склеюванням.



Рисунок А.19 – Зразки, з'єднані 3D-зварюванням (а), склеєні (б), зварені нагрітим повітрям (в), цілісні (г)

У таблиці А.4 наведено параметри режимів з'єднання. З'єднання деталей здійснювалося за кімнатної температури навколишнього середовища.

Таблиця А.4 – Параметри режимів з'єднання зразків

Спосіб з'єднання	Параметр режиму з'єднання	Значення параметра
Зварювання нагрітим повітрям	температура повітря, °С	300
	витрата повітря, л/хв	250
	діаметр присадного прутка, мм	1,75
Склеювання органічним розчинником	тип органічного розчинника	ацетон
	час витримки в розчиннику, сек	30
	зусилля з'єднання не більше, Н	100
3D зварювання	температура екструдювання, °С	235
	швидкість друкувальної головки, мм/хв	10
	довжина присадного матеріалу, мм	60
	температура підігріву деталей, °С	105

Оскільки умови експлуатації дорожніх машин можуть значно відрізнятися залежно від географічного розташування, то експеримент проводився за трьох різних температур: +20°C, -30°C, -50°C. Для визначення впливу негативних температур на характеристики міцності з'єднань, отримані зразки були розділені на три групи. Кожна з груп зразків витримувалася протягом 30 діб за певної температури. Перша групи – контрольна температура витримки +20°C (кімнатна температура). Друга група зразків була вміщена в морозильну камеру PozisFH-258-1 з температурою -30°C (низька температура). Третя партія зразків була завантажена в криостат LOIPFT-311-80 із температурою -50°C.

Після закінчення витримки зразки були випробувані на розтягування на випробувальній машині УТС-110М-50 з використанням системи температурних вимірювань СТІ ТС 3 [8]. Використання даної температурної системи дозволяє забезпечити необхідну

Випробування на розтягування зразків із пластмас, отриманих методом 3D-друку, проводилися відповідно до вимог ДСТУ 11262-2017 «Пластмаси. Метод випробувань на розтяг». Швидкість переміщення захватів випробувальної машини при випробуваннях становила 2 мм/хв. Результати випробувань наведено у таблиці А.5.

Таблиця А.5 - Результати випробувань міцності на розтягування зразків з різними способами з'єднання при +20°C, -30°C і -50°C

Спосіб з'єднання	Характеристики міцності сполук								
	Межа міцності, МПа			Модуль пружності, МПа			Відносна деформація при руйнуванні, %		
	+20°C	-30°C	-50°C	+20°C	-30°C	-50°C	+20°C	-30°C	-50°C
3D-зварювання	16,454	39,801	29,272	548,96	781,06	454,385	3,4	4,1	7,3
Зварювання нагрітим повітрям	1,794	13,65	17,521	622,38	752,69	473,925	0,3	1,6	3,45
Склеювання	11,456	22,026	23,258	445,81	725,66	514,11	2,4	2,25	4,5
Контрольні зразки	28,353	56,343	52,81	607,06	880,86	532,98	6,1	5,75	10,8

Як випливає з результатів випробувань, негативні температури в цілому зміцнюють вплив на з'єднання пластмасових деталей. Запропонований спосіб з'єднання 3D-зварюванням відрізняється найбільшою міцністю при розтягуванні порівняно з традиційними способами з'єднання. Немаловажну роль відіграє відносно низький вплив людського фактора на якість одержуваної зварної сполуки.

Зона руйнування зразків змінювалася залежно від типу з'єднання. Склеєні зразки завжди руйнувалися за місцем склеювання. Зварені нагрітим повітрям руйнувалися межі «зразок – присадочний матеріал». Для зразків, з'єднаних методом 3D-друку, зона руйнування зміщувалася у бік місця з'єднання і проходила по основному матеріалу зразка. Цілісні зразки завжди руйнувалися в довільній області між захопленнями машини. При цьому, руйнування мало «уламковий» характер – зразок руйнувався на кілька великих частин і безліч дрібних частинок.

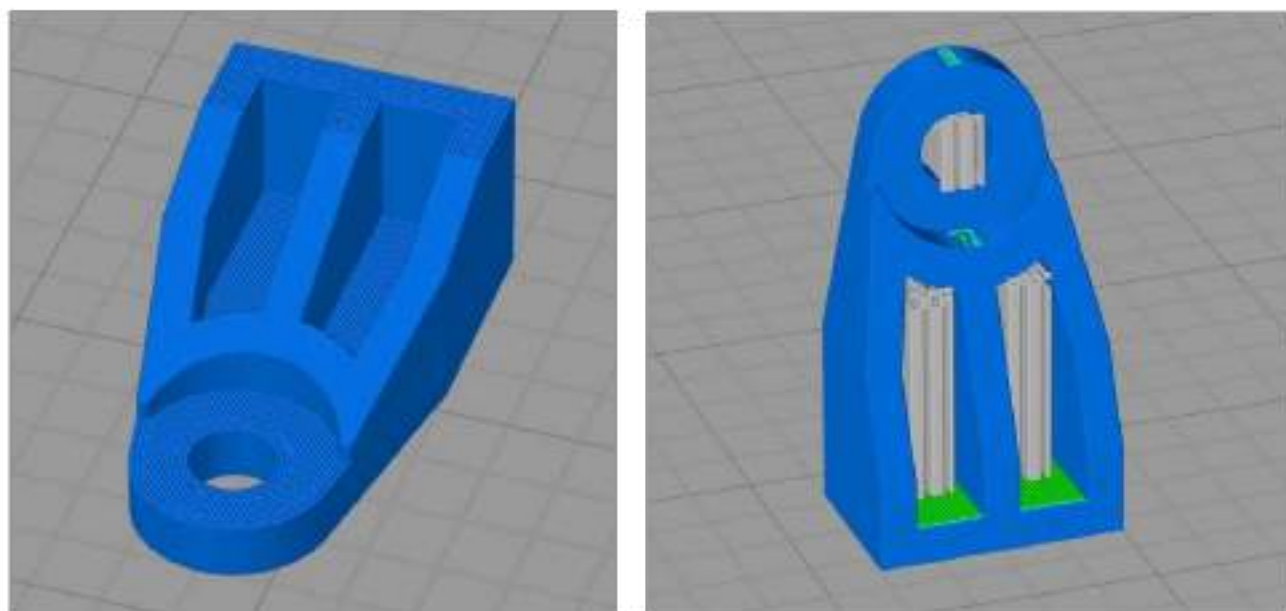
Додаток Б (обов'язковий).

**СПОСОБИ СТВОРЕННЯ ОТВОРІВ ТА РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ У
ДЕТАЛЯХ МАШИН, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДАМИ 3D-ДРУКУ**

СПОСОБИ СТВОРЕННЯ ОТВОРІВ ТА РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ У ДЕТАЛЯХ МАШИН, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДАМИ 3D-ДРУКУ

На відновлюваних деталях дорожніх машин здебільшого присутні як гладкі отвори, так і з різьбленням, які у разі пошкодження необхідно відновлювати. При виготовленні методами 3D-друку деталей з гладкими отворами необхідно враховувати розташування цього отвору щодо опорної площини столу [8]. Найбільш бажано розташовувати деталі таким чином, щоб вісь отвору була перпендикулярна площині столу 3D-принтера. У випадку, якщо таке розташування деталі неможливе з будь-яких причин, необхідно використовувати структури, що підтримують. Вони можуть будуватися автоматично або задаватися вручну. На рис. Б.1 показано розташування деталей на стадії завдання друку.

Різьбові поверхні на пластмасових деталях дорожніх машин можна отримати різьбонарізним інструментом або безпосередньо при 3D-друку. У прикладі показано виготовлення метричної різьби. Вибір даного типу різьблення обґрунтований його поширенням у різноманітних сполученнях.



а)

б)

Рисунок Б.1 – Виготовлення гладких отворів:

без підтримуючих структур (а); з підтримуючими структурами (б)

Друк на 3D-принтерах вимагає попереднього створення 3D-моделі

майбутньої деталі. Для цього використовувалася САПР КОМПАС-3D, в якій були змодельовані зразки заготовок для подальшого нарізування різьблення (циліндри та втулки), а також моделі тіл обертання з внутрішніми та зовнішніми різьбовими поверхнями. Розмірні характеристики моделей, використаних в експерименті, наведено в таблиці Б.1. Моделі зразків I та II типів виконання були змодельовані спочатку з різьбовими поверхнями, а моделі III та IV призначені для нарізування різьблення. Розміри стрижнів та отворів під нарізування різьби були обрані відповідно до ГОСТ 11709-81 «Основні норми взаємозамінності. Різьблення метричне для деталей із пластмас».

На рис. Б.2 представлено загальний вигляд моделей.

Як і в будь-якому технологічному процесі, у 3D-друці існують різні технологічні режими. Вибір цих режимів здійснюється безпосередньо у програмному забезпеченні 3D-принтера. Зразки моделей розташували таким чином, щоб основна вісь моделі була перпендикулярна до площини друкованого столу. При такому розташуванні одна з граней трикутного профілю різьблення є поверхнею, що нависає. Формування підтримуючих структур було відключено. Для компенсації можливого провисання шарів була вибрана висота шару друку 0,09 мм, а також увімкнений обдув деталі. Ключові параметри друку наведено у таблиці Б.2.

Таблиця Б.1 – Геометричні розміри моделей

№	Тип виконання	d, мм	P, мм	d1, мм	D1, мм	l, мм	b, мм	S, мм	$\alpha=45^\circ$
1	I	6	1,0	-	-	20	15	-	1
2		8	1,25	-	-	20	15	-	1,6
3		14	2,0	-	-	20	15	-	2,0
4	II	6	1,0	-	-	20	-	10	1
5		8	1,25	-	-	20	-	13	1,6
6		14	2,0	-	-	20	-	21	2,0
7	III	6	1,0	6	-	20	-	-	-
8		8	1,25	8	-	20	-	-	-
9		14	2,0	14	-	20	-	-	-
10	IV	6	1,0	-	4,95	20	-	10	-
11		8	1,25	-	6,7	20	-	13	-
12		14	1,5	-	11,9	20	-	21	-

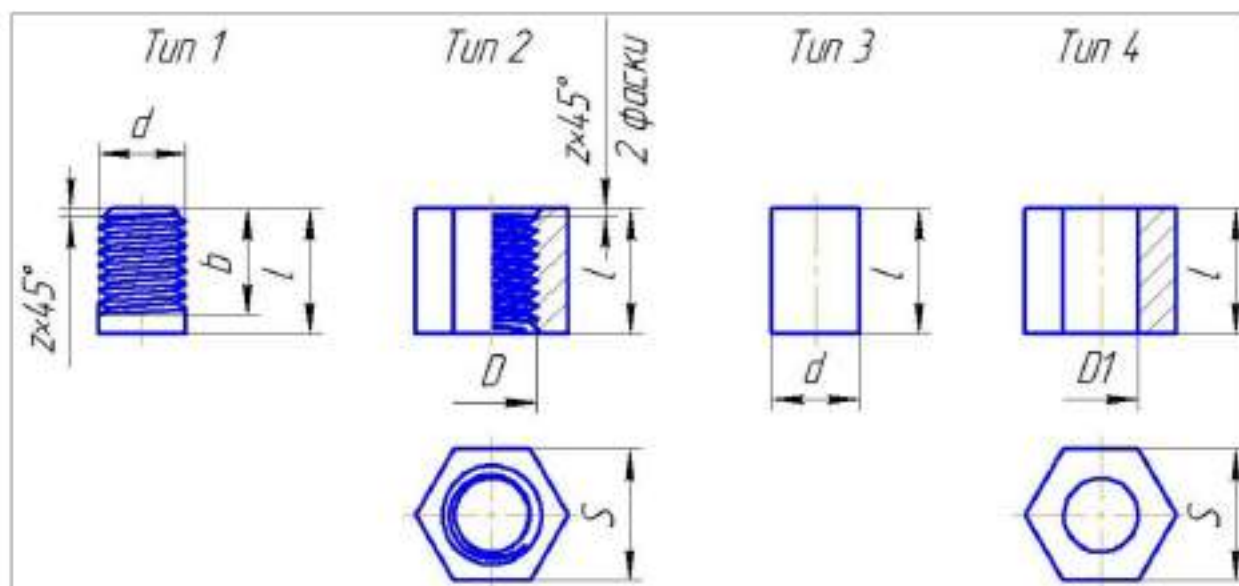


Рисунок Б.2 – Ескізи моделей: d – номінальний діаметр різьблення; P – крок різьблення; d_1 – діаметр стрижня під нарізування різьблення; D_1 – діаметр отвору під нарізування різьблення; l – висота деталі; b – Довжина різьбової частини; S – розмір під ключ; e – діаметр описаного кола; z – фаска

Таблиця Б.2 – Технологічний режим 3D-друку зразків

Параметр	Значення
Швидкість друку	30 мм/сек
Температура друку	235 °C
Температура підігріву столу	105 °C
Охолодження	так
Висота шару	0,09 мм
Заповнення	100%, концентричні лінії
Модифікатор подачі	90%
Підтримка	ні
Діаметр сопла	0,4 мм

На думку ряду вчених [8, 9] для різьблення в пластмасових виробках необхідно застосовувати спеціальний інструмент і особливі режими. Це дозволить зменшити тертя різальних кромek інструменту про поверхню заготовки, а також компенсувати пружні явища, що виникають у матеріалі під час різання.

В результаті експерименту було отримано такі вироби, загальний вигляд яких представлений на рис. Б.3.



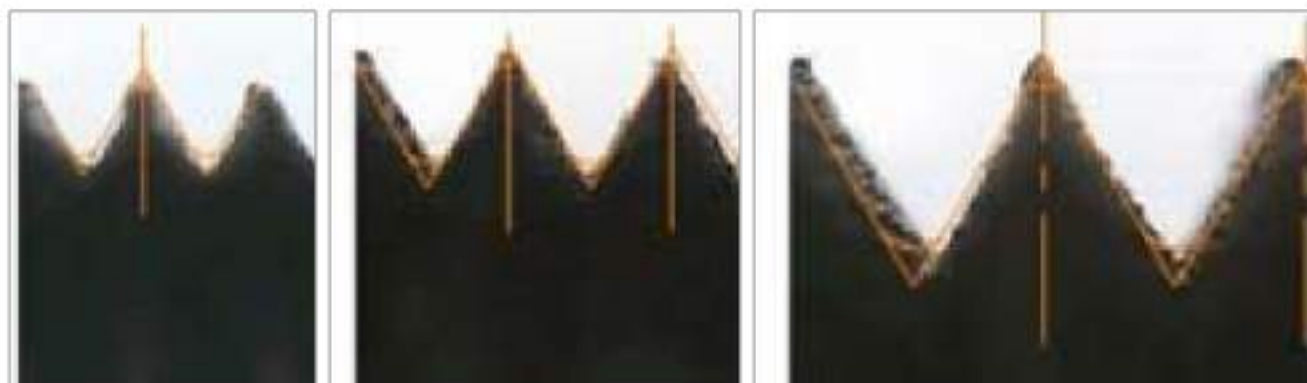
а)

б)

Рисунок Б.3 – Загальний вигляд різьбових поверхонь, одержаних: 3D-друком (а); нарізанням ручним різьбовим інструментом (б)

Для більш детального вивчення отриманих різьбових поверхонь моделі були оглянуті під збільшенням (рис. Б.4 та Б.5).

Різьбові поверхні, отримані шляхом 3D-друку, звинчуються без особливих зусиль, але при цьому мають ряд недоліків. Після проведених досліджень з'ясувалося, що оскільки ABS пластик характеризується об'ємною усадкою, то це впливає на геометричні параметри різьблення. Чим більший крок різьблення, тим більше відхилення. Це чітко видно на рис. Б.4: при кроці різьблення $P=1$ (рис. Б.4, а), профіль різьблення відповідає номінальному, при $P=2$ (рис. Б.4, в) відбувається зміщення профілю різьблення на величину термічної усадки пластику. Крім цього, проявляється такий дефект, як провисання пластику на вершинах профілю різьблення внаслідок розташування деталі під час друку.



а)

б)

в)

Рисунок Б.4 – Теоретичний та надрукований профілі різьблення: М6х1(а); М8х1, 25 (б); М14х2 (в)

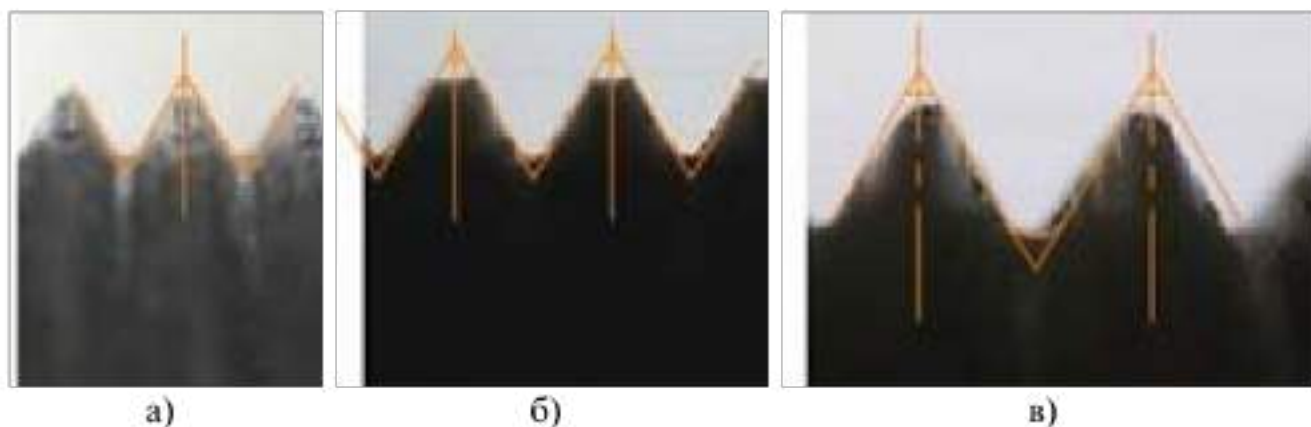


Рисунок Б.5 – Теоретичний та нарізаний профілі різьблення:
M6x1(a); M8x1, 25 (б); M14x2 (в)

Для нарізаних різьбових поверхонь будуть справедливі наступні висновки. При нарізуванні зберігається крок різьблення незалежно від величини. Профіль різьблення збігається з номінальним за винятком вершин різьблення. Це відхилення може бути викликане такими причинами:

1. температурними деформаціями матеріалу заготовки (рис. Б.6, а);
2. крихтуванням поверхневих шарів матеріалу заготовки (рис. Б.6, б).



Рисунок Б.6 – Термічна усадка матеріалу деталі (а); крихтування поверхневого шару деталі (б)

При візуальному огляді було виявлено наявність ушкодження різьблення у вигляді рванин за профілем різьблення, що утворилися при нарізанні різьблення. Також потрібне значно більше зусилля (порівняно з надрукованими зразками) закручування.

Згідно з отриманими даними, можна зробити такі висновки:

- створення різьбових поверхонь можливе, як за допомогою різьбового

інструменту, і шляхом моделювання профілю різьблення;

- при проектуванні деталі з різьбовими поверхнями слід приділяти особливу увагу положенню осі різьбової поверхні щодо друкарської платформи столу;

- друк різьбових поверхонь можливий навіть без матеріалу підтримки за рахунок малої величини шару друку;

- Нарізання різьблення ручним інструментом вимагає особливої уваги, оскільки у разі незначного порушення режиму різання з'являються дефекти.

Загалом виготовлення різьбових поверхонь у деталях машин методами 3D-друку є перспективнішим порівняно з процесами різання [6]. Стає можливим отримати різьблення у складно доступних місцях без застосування спеціального інструменту. Необхідно передбачати налаштування друку таким чином, щоб зони деталі з різьбленням виготовлялися з індивідуальним режимом, відмінним від режиму друку основного матеріалу деталі. Це дозволить значно скоротити час друку деталі.

Додаток В (обов'язковий).

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ**

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

**Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з
полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі
товариства з обмеженою відповідальністю
«Поділляагрозахист» місто Вінниця**

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. 1АТ-22м

Наумов В.Г.

Керівник к.т.н., ст. викладач кафедри АТМ

Борисюк Д.В.

Вінниця – 2023

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

**Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з
полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі
товариства з обмеженою відповідальністю
«Поділляагрозахист» місто Вінниця**

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. ІАТ-22м

Наумов В.Г.

Керівник к.т.н., ст. викладач кафедри АТМ

Борисюк Д.В.

Вінниця – 2023

Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю

«Поділлягрозахист» місто Вінниця

Мета роботи - підвищення надійності пластмасових деталей автомобілів шляхом використання під час ремонту методів 3D-друку.

Основні завдання дослідження, згідно з метою, полягали в наступному:

Розробити теоретичні основи розрахунку характеристик міцності пластмасових деталей автомобілів, відновлених з використанням методів 3D-друку.

Дослідити вплив технологічних факторів на міцнісні та в'язко-пружні характеристики пластмасових деталей автомобілів, відновлених з використанням методів 3D-друку.

Дослідити вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики пластмасових деталей автомобілів, відновлених із використанням методів 3D-друку.

Розробити технологію ремонту пластмасових деталей автомобілів за використанням методів 3D-друку.

Провести оцінку техніко-економічної ефективності розроблених методів ремонту пластмасових деталей автомобілів, відновлених за допомогою методів 3D-друку.

Об'єктом дослідження є деталі машин, що виготовлені з ABS-пластику.

Предметом дослідження є спосіб та технологія ремонту пластмасових деталей машин, виготовлених з ABS-пластику, з використанням методів 3D-друку.

Публікації. Основні положення роботи опубліковані в збірнику наукових праць «Матеріали XVI-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»», 23-25 жовтня 2023 року»: **Д.В. Борисюк, В.Г. Наумов.** Аналіз матеріалів, що використовуються під час виробництва пластмасових деталей автомобілів. *Матеріали XVI-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць, 2023. С. 76-78.*



Характеристика та діяльність ТОВ «Поділлягрозахист»

3

Товариство з обмеженою відповідальністю «Поділлягрозахист» створено 18.10.2011 р.

Основні види діяльності ТОВ

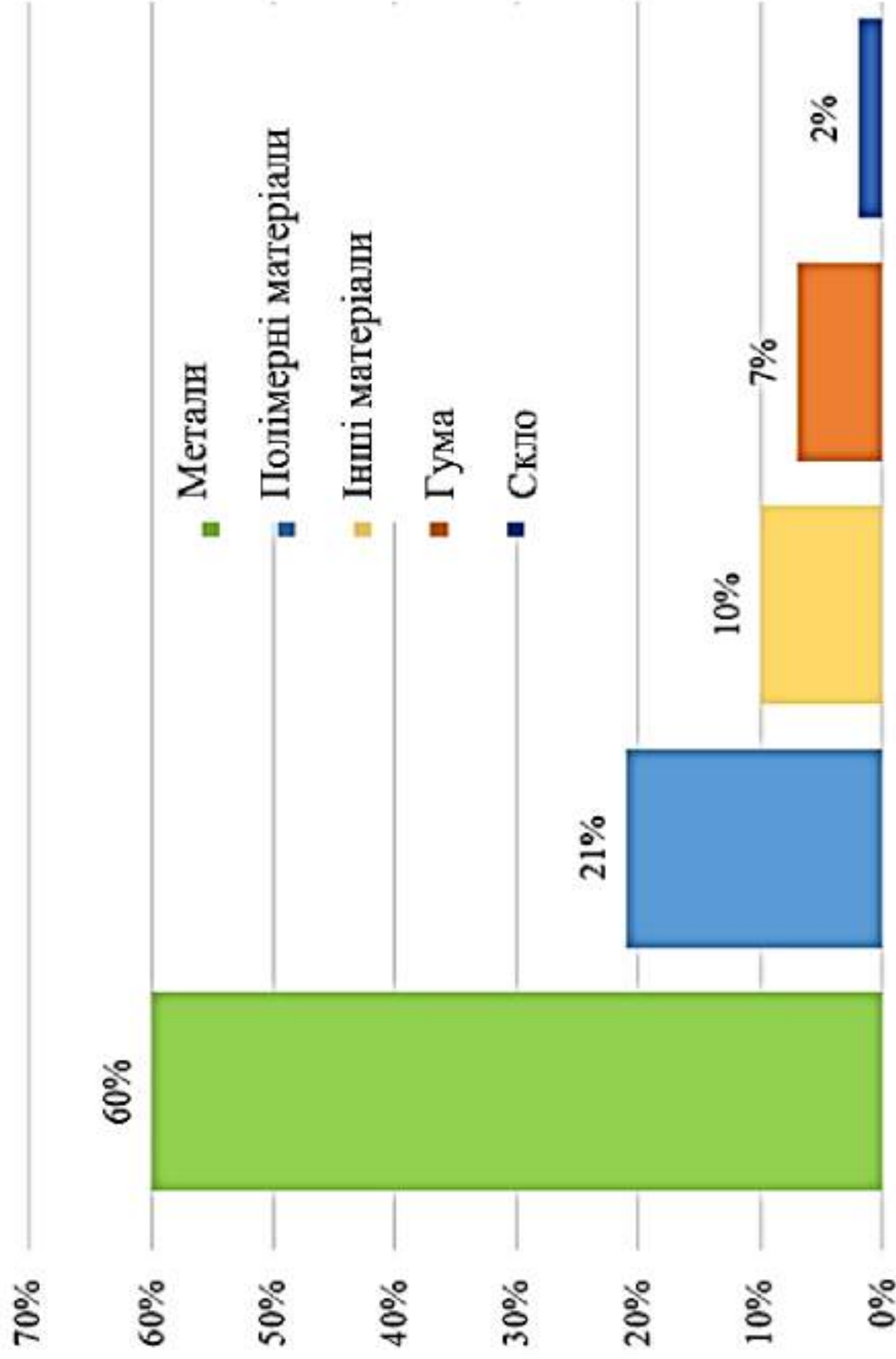
«Поділлягрозахист»:

- вирощування зернових культур;
- вирощування бобових культур і насіння олійних культур;
- посередництво у торгівлі паливом та хімічними речовинами;
- оптова торгівля зерном та кормами для тварин;
- оптова торгівля сільськогосподарськими машинами;
- вантажні перевезення;
- надання в оренду та експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна;
- надання в оренду сільськогосподарських машин і устаткування.

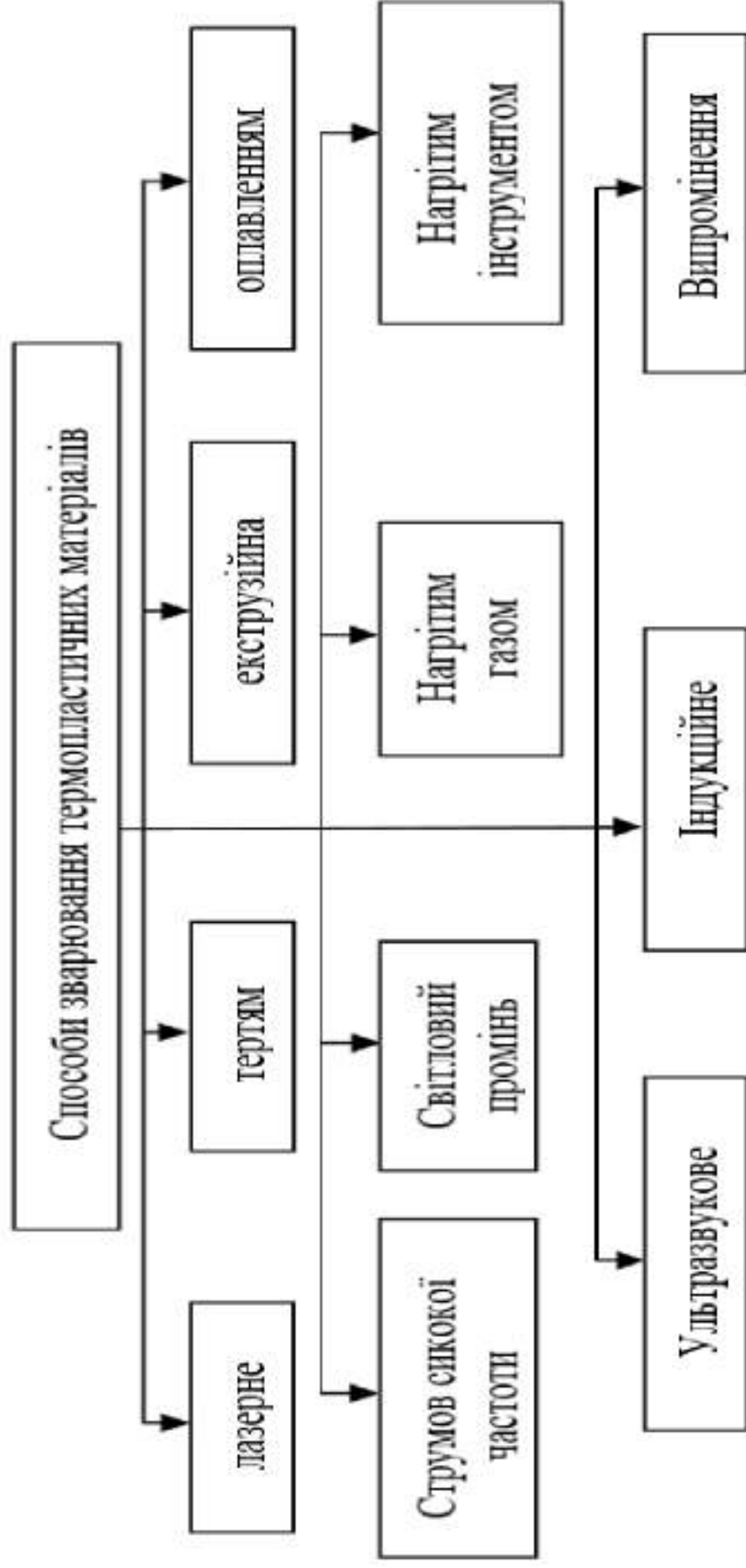


*Розташування головного офісу
ТОВ «Поділлягрозахист»*

Матеріали, що використовуються у машинобудуванні

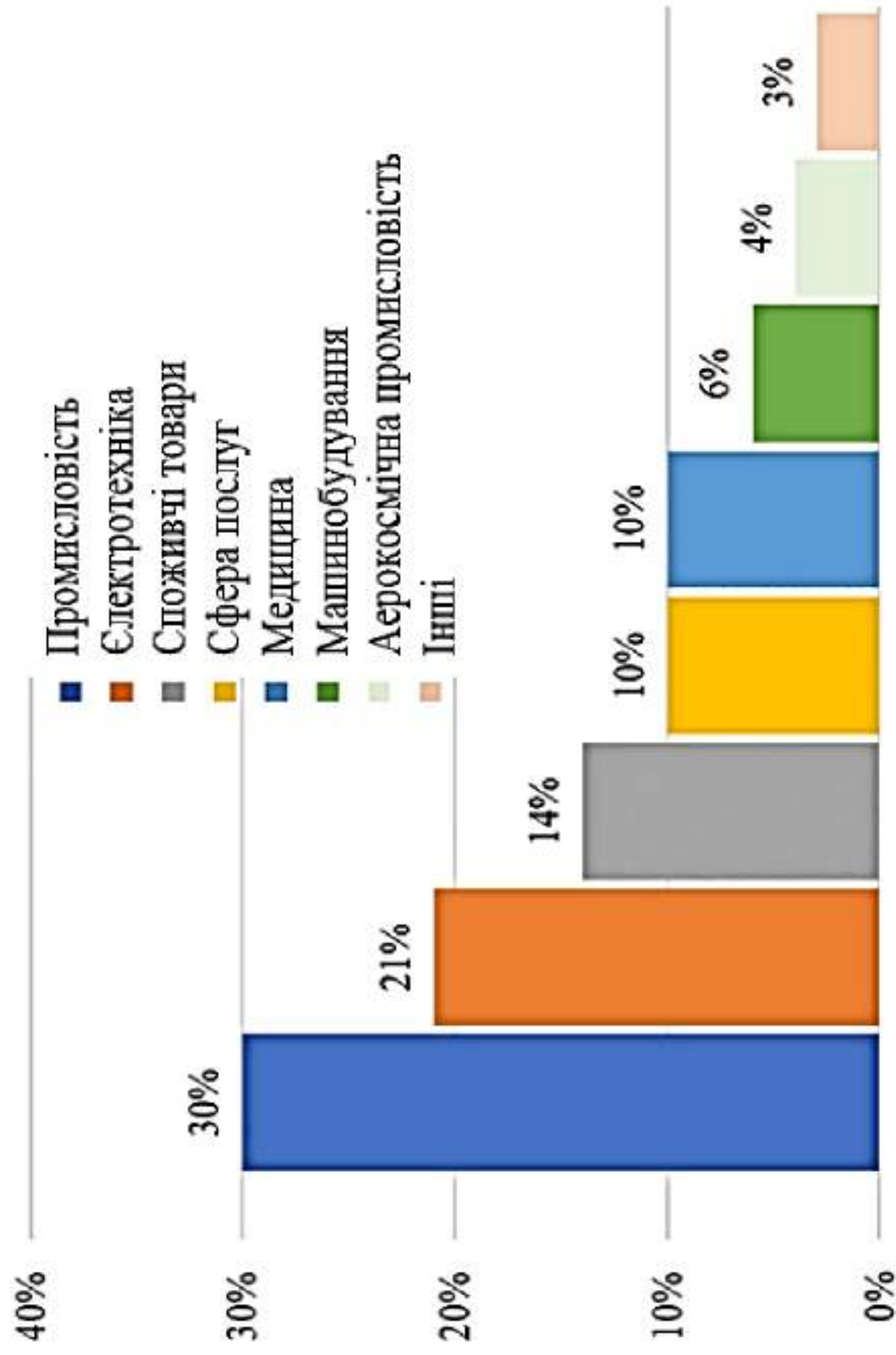


Класифікація способів зварювання термопластичних матеріалів



Використання адитивних технологій у різних галузях

промисловості



№ п/п	Види АМ-технологій	Категорії АМ-технологій з ASTM- класифікації
1	Fused Deposition Modeling, FDM – «створення об'єктів наплавленням» / Fused Filament Fabrication, FFF – «виробництво розплавленими волокнами»	Material Extrusion
2	Multiphase Jet Solidification, MJS – «затвердіння багатофазного струменя»	
3	Direct Ink Writing, DIW – «прямий запис чорнилом»	
4	Inkjet Printing, IP – «чорнильно-струменевий друк» / Multi-Jet Modeling, MJM – «багатоструменеве створення об'єкта» / Poly-Jet – «полі-джет»	Material Jetting
5	Three Dimensional Printing, 3DP – «тривимірний друк» / Dropon Powder, DoP – «крапля на порошок»	Binder Jetting
6	Laminated Object Manufacturing, LOM – «виробництво об'єктів, що ламінують» / Stack-bond-cut-Glue-Sheet Lamination, SBC-Glue-SL – «листова ламінування за схемою «пакування-з'єднання-різання» зі склеюванням» / Selective Deposition Lamination, SDL – «ламінування селективним осадженням»	
7	Ultrasonic Additive Manufacturing, UAM – «ультразвукове адитивне виробництво» / Stackbond-cut-US-Weld-Sheet Lamination, SBC-US-Weld-SL – «листова ламінування за схемою «пакування з'єднання-різання» з ультразвуковим зварюванням»	Sheet Lamination
8	Stack-cut-bond-Sheet Lamination, SCB-SL – «листова ламінування за схемою «пакування-різка-з'єднання»	
9	Cut-stack-bond-Sheet Lamination, CSB-SL – «листова ламінування за схемою «різання-пакування з'єднання»	
10	Stereolithography Apparatus, SLA – «апаратура стереолітографії»	
11	Digital Light Processing, DLP – «цифрова оптична обробка» / Projection Stereolithography, PSL – «проекційна стереолітографія» / Digital Light Synthesis, DLS – «цифровий світловий синтез»	Vat Photopolymerizat ion
12	Mask Projection Stereolithography, MPSP – «маскова проекційна стереолітографія» / Solid Ground Curing, SGC – «затвердіння суцільної ділянки»	
13	Selective Laser Sintering, SLS – «селективне лазерне спікання»	
14	Selective Laser Melting, SLM – «селективне лазерне плавлення» / Direct Metal Laser Sintering, DMLS – «пряме лазерне спікання металу»	Powder Bed Fusion
15	Electron beam melting, EBM – «електронно променеве плавлення»	
16	Direct Laser Metal Deposition, DLMD – «пряме лазерне осадження металу» / Laser Engineered Net Shape, LENS – «лазерне створення заданої форми»	Directed Energy Deposition

Порівняльний аналіз функціональних можливостей програм-слайсерів

8

Параметри	Програми-слайсери				
	Repetier	Simplify3D	Cura	Slic3r	KISSlicer
Ручне налаштування параметрів екструдера	+	+	+	+	+
Ручне налаштування висоти шару	+	+	+	+	+
Ручне налаштування структури заповнення	+	+	+	+	+
Ручне налаштування швидкості друку	+	+	+	+	+
Ручне налаштування температурного режиму	+	+	+	+	+
Ручне налаштування параметрів покращення адгезії	+	+	+	+	+
Підтримка кількох екструдерів	+	+	+	+	+
Ручне налаштування підтримуючих структур	+	+	+	+	+
Ручне розташування підтримуючих структур	-	+	-	-	-
Моделювання процесу друку	-	+	-	-	-
Індивідуальні параметри для кожного об'єкту	-	+	-	-	-
Індивідуальні параметри друку за шарами	-	+	-	-	-
Ручне керування 3D-принтером	+	+	+	+	-
Редагування та додавання до коду скриптів	+	+	+	+	+
Перегляд та редагування G-коду завдання	+	-	+	+	-
Призначення параметрів друку залежно від характеристик міцності	-	-	-	-	-

що впливають на характеристики міцності виробу

Для спрощення визначення характеристик деталей залежно від параметрів 3D-друку необхідно встановити залежність між характеристиками міцності філаменту та характеристиками міцності готових зразків. Тоді в укрупненому вигляді певна характеристика деталі, виготовленої на 3D-принтері за FDM технологією, визначатиметься за формулою:

$$X_p = Z \times X_f \times K_v \times K_h \times K_e \times K_f \times K_t$$

де Z – масштабний коефіцієнт;

X_f – деяка характеристика філаменту;

X_p – деяка характеристика деталі;

K_v – коефіцієнт, що враховує швидкість друку;

K_h – коефіцієнт, що враховує висоту шару друку;

K_e – коефіцієнт, що враховує подачу матеріалу;

K_f – коефіцієнт, що враховує відсоток заповнення деталі;

K_t – коефіцієнт, що враховує температуру нагрівання термопластичного матеріалу.

Масштабний коефіцієнт Z визначається ставленням площі поперечного перерізу деталі F_d до площі поперечного перерізу філаменту F_ϕ :

$$Z = F_d / F_\phi$$

В якості характеристик філаменту і деталі можуть використовуватися: міцність на розтяг; міцність на стискання; ударна в'язкість.

Матриця значень коефіцієнта K_v , що враховує швидкість друку

$$K_v = \{K_v\} = \begin{pmatrix} K_{v11} & K_{v12} & K_{v13} \\ K_{v21} & K_{v22} & K_{v23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{vm1} & K_{vm2} & K_{vm3} \end{pmatrix}$$

Матриця значень коефіцієнта K_h , що враховує висоту шару

$$K_h = \{K_h\} = \begin{pmatrix} K_{h11} & K_{h12} & K_{h13} \\ K_{h21} & K_{h22} & K_{h23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{hm1} & K_{hm2} & K_{hm3} \end{pmatrix}$$

Матриця значень коефіцієнта K_e , що враховує подачу матеріалу

$$K_e = \{K_e\} = \begin{pmatrix} K_{e11} & K_{e12} & K_{e13} \\ K_{e21} & K_{e22} & K_{e23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{em1} & K_{em2} & K_{em3} \end{pmatrix}$$

Матриця значень коефіцієнта K_f , що враховує відсоток заповнення деталі

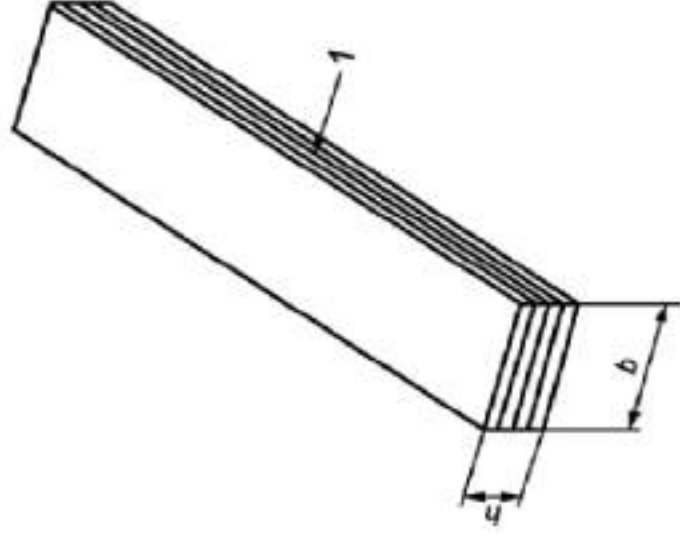
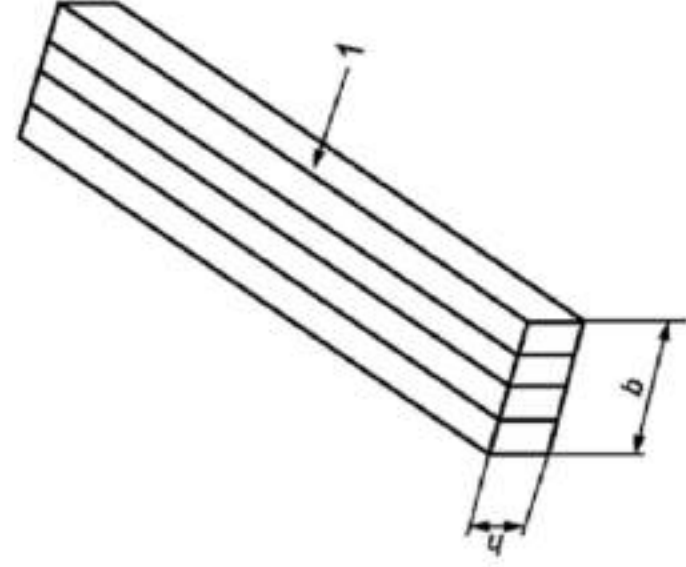
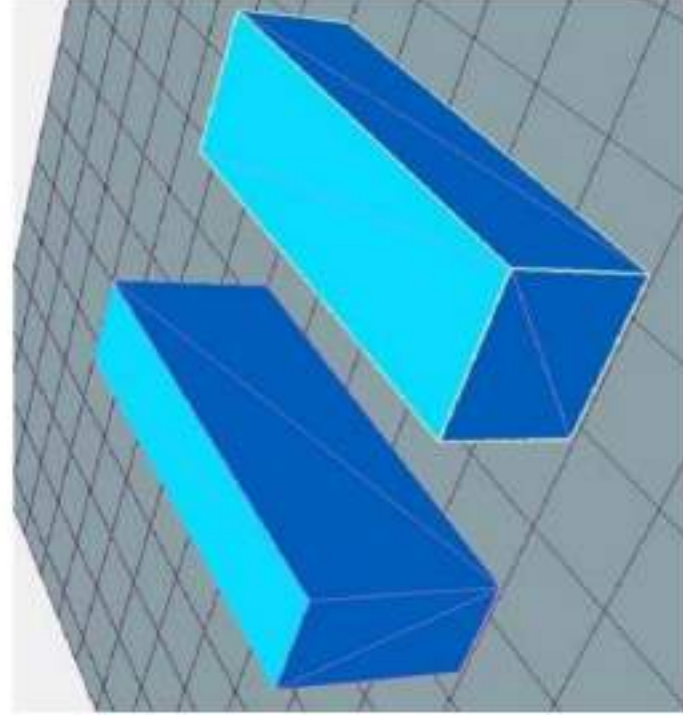
$$K_f = \{K_f\} = \begin{pmatrix} K_{f11} & K_{f12} & K_{f13} \\ K_{f21} & K_{f22} & K_{f23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{fm1} & K_{fm2} & K_{fm3} \end{pmatrix}$$

Матриця значень коефіцієнта K_t , що враховує температуру нагрівання термопластичного матеріалу

$$K_t = \{K_t\} = \begin{pmatrix} K_{t11} & K_{t12} & K_{t13} \\ K_{t21} & K_{t22} & K_{t23} \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{tm1} & K_{tm2} & K_{tm3} \end{pmatrix}$$

Дослідження в'язкопружних характеристик матеріалів

11



Орієнтація зразків:

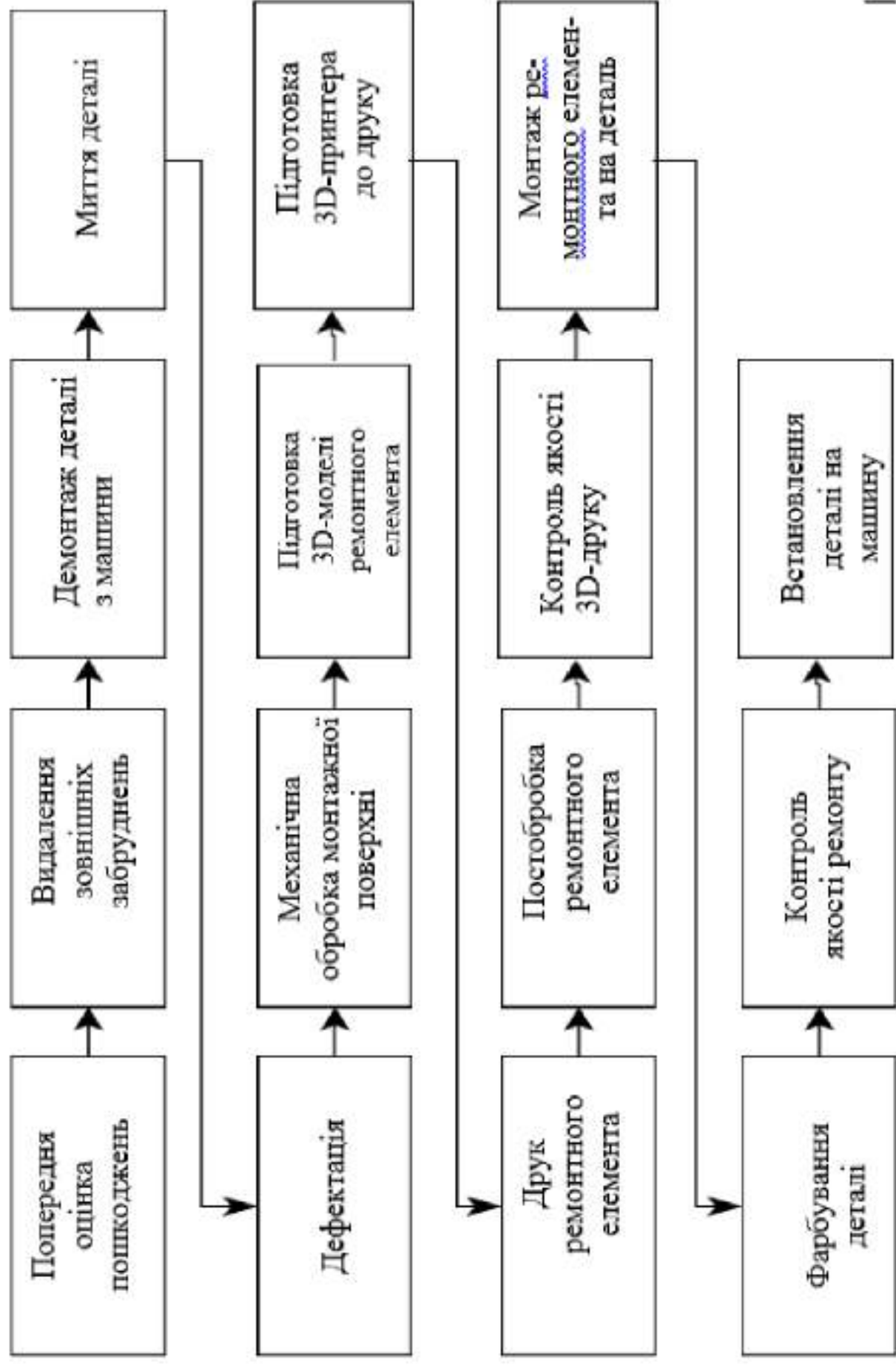
під час друку (а); при ударі в ребро перпендикулярно шарам (б);
при ударі в ребро паралельно до шарів (в); 1 - напрям удару;

h – висота зразка; b – ширина зразка

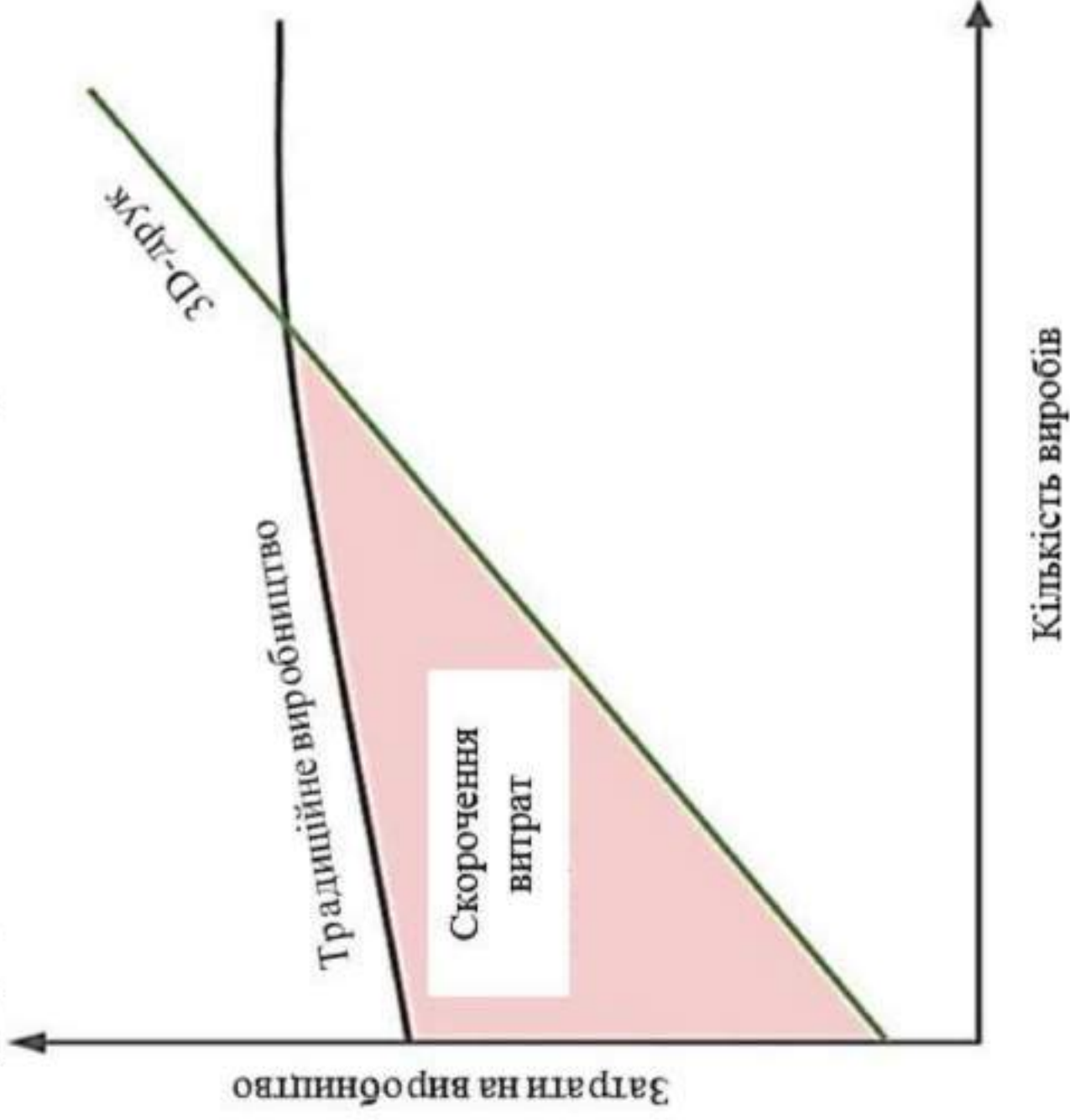
Параметри друку		Середні значення ударної в'язкості, Дж/см ²																	
		20°C						-30°C						-50°C					
		en	ep	Σ	en	ep	Σ	en	ep	Σ	en	ep	Σ	en	ep	Σ			
Висота шару	45-0,03-1,0-100	3,22	4,09	3,66	3,39	4,03	3,71	3,49	4,10	3,80	3,71	3,49	4,10	3,80	3,71	3,49	4,10	3,80	
	45-0,06-1,0-100	3,20	3,98	3,59	2,63	3,21	2,92	3,25	3,46	3,35	2,92	3,25	3,46	3,35	2,92	3,25	3,46	3,35	
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99	4,82	4,72	5,25	4,99	4,82	4,72	5,25	4,99	
	45-0,12-1,0-100	4,60	4,85	4,73	4,26	4,66	4,46	4,39	4,14	4,27	4,46	4,39	4,14	4,27	4,46	4,39	4,14	4,27	
	45-0,2-1,0-100	3,46	4,30	3,88	3,62	4,05	3,83	3,05	4,77	3,91	3,88	3,62	3,05	4,77	3,91	3,88	3,62	3,05	4,77
	45-0,25-1,0-100	3,72	4,02	3,87	3,21	3,45	3,33	3,01	3,71	3,36	3,87	3,21	3,01	3,71	3,36	3,87	3,21	3,01	3,71
	45-0,3-1,0-100	3,65	3,80	3,73	3,65	3,93	3,79	4,30	4,32	4,31	3,73	3,65	4,30	4,32	4,31	3,73	3,65	4,30	4,32
Швидкість	15-0,1-1,0-100	4,53	4,17	4,35	4,07	4,44	4,25	3,87	4,25	4,06	4,35	4,07	3,87	4,25	4,06	4,35	4,07	3,87	4,25
	30-0,1-1,0-100	4,96	5,46	5,21	4,82	4,99	4,91	3,61	4,99	4,30	5,21	4,82	3,61	4,99	4,30	5,21	4,82	3,61	4,99
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99	5,13	4,67	4,72	5,25	4,99	5,13	4,67	4,72	5,25
	60-0,1-1,0-100	3,50	3,86	3,68	3,55	3,37	3,46	2,95	3,58	3,26	3,68	3,55	2,95	3,58	3,26	3,68	3,55	2,95	3,58
	80-0,1-1,0-100	2,79	3,45	3,12	2,80	3,35	3,07	2,78	3,87	3,33	3,12	2,80	2,78	3,87	3,33	3,12	2,80	2,78	3,87
Відсоток заповнення	45-0,1-1,0-20	5,57	3,97	4,77	1,99	4,09	3,04	1,82	3,92	2,87	4,77	1,99	1,82	3,92	2,87	4,77	1,99	1,82	3,92
	45-0,1-1,0-40	2,75	7,18	4,97	1,88	6,32	4,10	1,49	4,27	2,88	4,97	1,88	1,49	4,27	2,88	4,97	1,88	1,49	4,27
	45-0,1-1,0-60	1,96	4,77	3,36	1,84	4,99	3,42	1,60	3,82	2,71	3,36	1,84	1,60	3,82	2,71	3,36	1,84	1,60	3,82
	45-0,1-1,0-80	1,85	2,05	1,95	1,73	2,04	1,88	1,51	1,80	1,65	1,95	1,73	1,51	1,80	1,65	1,95	1,73	1,51	1,80
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99	5,13	4,67	4,72	5,25	4,99	5,13	4,67	4,72	5,25
Коефіцієнт подачі	45-0,1-0,9-100	2,95	2,60	2,78	2,62	2,52	2,57	2,42	2,33	2,38	2,78	2,62	2,42	2,33	2,38	2,78	2,62	2,42	2,33
	45-0,1-0,95-100	5,33	2,83	4,08	2,26	2,65	2,46	3,47	2,82	3,14	4,08	2,26	3,47	2,82	3,14	4,08	2,26	3,47	2,82
	45-0,1-1,0-100	5,31	4,94	5,13	4,67	4,97	4,82	4,72	5,25	4,99	5,13	4,67	4,72	5,25	4,99	5,13	4,67	4,72	5,25
	45-0,1-1,05-100	3,27	3,95	3,61	3,17	3,88	3,53	3,21	4,02	3,61	3,61	3,17	3,21	4,02	3,61	3,61	3,17	3,21	4,02
	45-0,1-1,1-100	3,80	4,92	4,36	3,48	4,61	4,05	3,74	4,92	4,33	4,36	3,48	3,74	4,92	4,33	4,36	3,48	3,74	4,92

де en - удар в ребро перпендикулярно шарам; ep - удар у ребро паралельно шарам; Σ - середнє значення ударної в'язкості за двома типами удару (en та ep)

Блок-схема технологічного процесу ремонту пластмасових деталей машин із застосуванням адитивних технологій



Залежність вартості моделей виробу від кількості зразків, виготовлених за традиційними технологіями та адитивними технологіям



ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз дефектів пластмасових деталей транспортних засобів, що виникають в ході експлуатації, причин їх виникнення та існуючих способів ремонту. Встановлено, що традиційні методи ремонту пластикових деталей автомобілів не дозволяють повністю усунути пошкодження, особливо в разі втрати елементів. Показано, що застосування технологій 3D-друку дозволяє суттєво автоматизувати процес ремонту автомобілів та підвищити якість виконуваних робіт.
2. Розроблено теоретичні основи розрахунку характеристик міцності пластмасових деталей транспортних засобів, що відновлюються з використанням методів 3D-друку. Математична модель дозволяє визначити величини параметрів режиму 3D-друку, при яких будуть досягнуті задані характеристики виробу. В результаті проведення моделювання встановлено, що експериментальні значення міцності при розтягуванні зразків, виготовлених із розрахованими величинами параметрів режиму 3D-друку, перевищують розрахункові в середньому на 5%. Отже, передбачається запас міцності виробів.
3. Розроблено програму для вибору параметрів 3D-друку, яка може призначати параметри відповідно до заданих характеристик міцності конструкції і розраховувати характеристики міцності відповідно до заданих параметрів 3D-друку. Реалізовано можливість редагування та поповнення баз даних, що містять фізико-механічні характеристики існуючих на ринку філаментів для 3D-друку та технічні характеристики 3D-принтерів, які використовуються для виконання основного розрахунку.
4. Вивчено вплив технологічних факторів на в'язко-пружні та міцнісні характеристики пластмасових деталей автомобілів, відновлених з використанням 3D-друку. Встановлено, що збільшення швидкості друку та температури екструзування філаменту надає обернено пропорційний вплив на міцнісні та в'язкопружні характеристики. Збільшення відсотка заповнення та модифікатора подачі прямо пропорційно впливає на міцнісні та в'язкопружні характеристики. Вплив зміни висоти шару на міцнісні та в'язкопружні характеристики носить нелінійний характер.

5. Вивчено вплив технічних факторів на експлуатаційні характеристики килластикових деталей транспортних засобів, відновлених за допомогою 3D-друку. Встановлено, що збільшення швидкості друку та висоти шару призводить до збільшення відсотка вологопоглинання, а збільшення модифікатора подачі, відсотка заповнення та температури призводить до зниження відсотка вологопоглинання.
6. Досліджено міцність різних способів з'єднання елементів деталей між собою, у тому числі при низьких температурах. Визначено, що найбільш міцним способом з'єднання є 3D-зварювання (60% від міцності цілісних зразків). Склеювання є другим за міцністю способом з'єднання деталей (40,4% від міцності цілих зразків). Таким чином, автоматизоване з'єднання 3D-зварюванням дозволяє підвищити міцність з'єднання за рахунок рівномірної подачі присадкового матеріалу та зниження впливу людського фактора на технологічний процес.
7. Розроблено технологію ремонту пластмасових деталей транспортних засобів з використанням методів 3D-друку. Встановлено, що застосування адитивних технологій дозволяє підвищити технологічність ремонту та надійність пластмасових деталей машин, а також знизити матеріаломісткість ремонту автомобілів.
8. Розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з безпеки при проведенні вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист», безпека у надзвичайних ситуаціях.

Додаток Г (обов'язковий).

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ
ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Вдосконалення процесу ремонту деталей виготовлених з полімерних матеріалів для транспортних засобів на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Поділляагрозахист» місто Вінниця

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

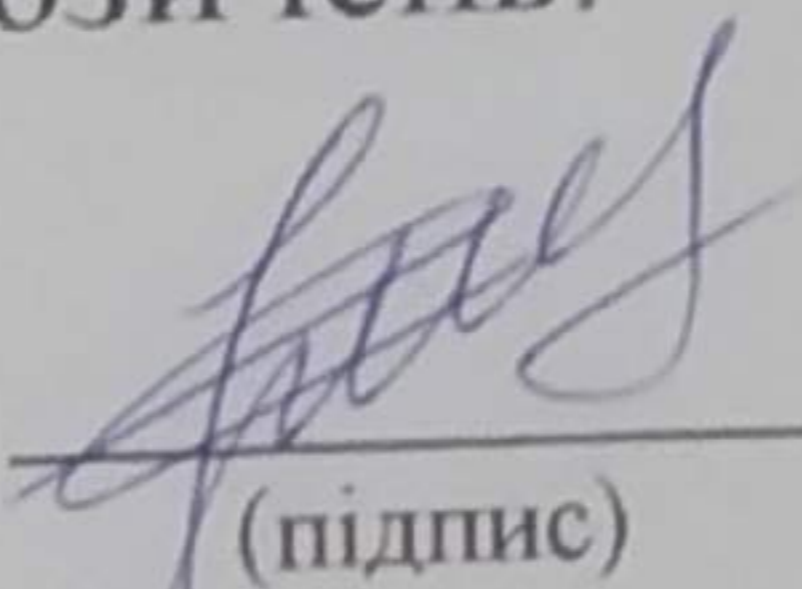
Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 95,1 % Схожість 4,9 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

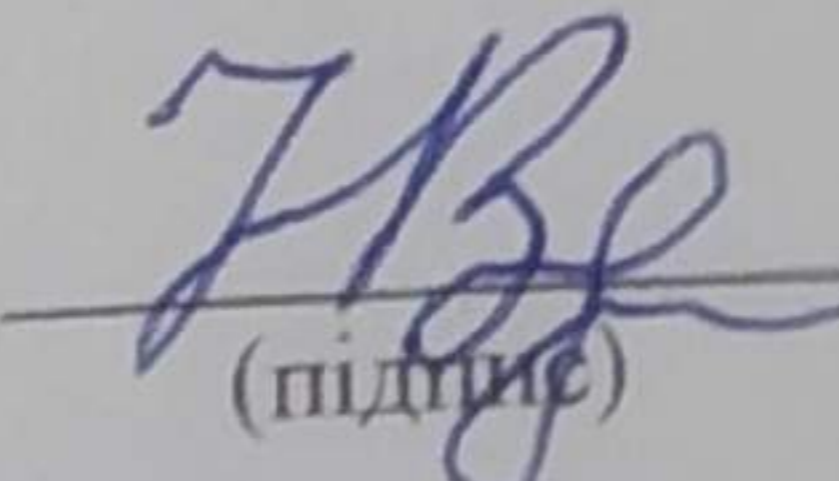
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Цимбал О.В.
(прізвище, ініціали)

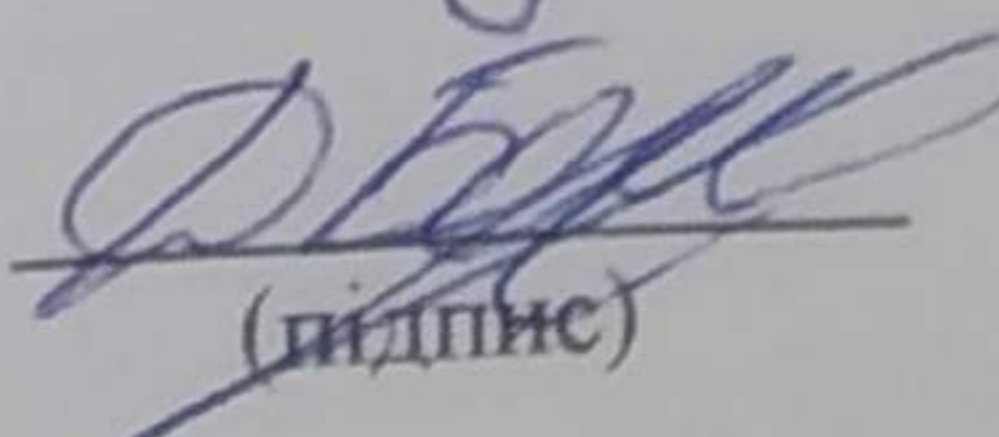
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Наумов В.Г.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Борисюк Д.В.
(прізвище, ініціали)