

ДНШРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Підвищення зносостійкості робочих органів плугів
виготовлених з полімерних матеріалів**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-23
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Голенко Станіслав Юрійович

Керівник: _____ Макаренко Дмитро Олександрович

Рецензент: _____

ДНШПРО – 2024

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**Голенку Станіславу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Підвищення зносостійкості робочих органів плугів виготовлених з полімерних матеріалів»

керівник роботи Макаренко Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ДДАЕУ від

«12» листопада 2024 року № 3784

2. **Строк подання студентом роботи** 10.12.2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи.** Оцінка ефективності обробітку ґрунту на врожайність кукурудзи та соняшнику. Тенденції розвитку конструкцій робочих органів машин для полицевого обробітку ґрунту. Огляд наукових досліджень щодо тематики дипломної роботи.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити). Проаналізувати вплив системи обробітку ґрунту на врожайність деяких культур. Виконати огляд та аналіз конструкцій полицевих плугів та технічних рішень щодо зменшення їх тягового опору. Навести програму робіт, обладнання та методики проведення досліджень. Проаналізувати результати досліджень абразивної стійкості обраних композитних матеріалів та обґрунтувати оптимальний матеріал для відвалів плугів або елементів їх конструкції. Розглянути вимоги безпеки праці при виконанні досліджень. Навести економічну оцінку дипломної роботи.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

Тема, аналіз стану питання, обґрунтування актуальності, мета та задачі роботи (5 аркушів, А4). Обладнання для виготовлення зразків та проведення досліджень (2 аркуші, А4). Результати експериментальних досліджень конструкційних матеріалів (3 аркуші, А4). Техніко-економічні показники (1 аркуш, А4). Загальні висновки (1 аркуш, А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Макаренко Д.О., доц. каф. ЕМТП		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 09.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз конструкцій полицевих плугів та матеріалів їх робочих органів	до 26.09.2024 року	виконано
2	Програму робіт, обладнання та методики проведення досліджень	до 04.10.2024 року	виконано
3	Результати досліджень	до 08.11.2024 року	виконано
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	до 18.11.2024 року	виконано
5	Економічна частина	до 26.11.2024 року	виконано
6	Демонстраційний матеріал	до 06.12.2024 року	виконано

Студент

_____ (підпис)

Станіслав ГОЛЕНКО

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Дмитро МАКАРЕНКО

(ім'я та прізвище)

УДК 631.3

АНОТАЦІЯ

Голенко С.Ю. Підвищення зносостійкості робочих органів плугів виготовлених з полімерних матеріалів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

В дипломній роботі проведений аналіз впливу системи обробітку ґрунту на врожайність деяких культур, зокрема таких як кукурудза на зерно та соняшник. Виконати огляд та аналіз конструкцій полицевих плугів та технічних рішень щодо зменшення їх тягового опору. Розроблено програму робіт, розглянуто обладнання та методики проведення досліджень. Визначено відносну абразивну стійкість композитних матеріалів неметалевого походження. Наведено рекомендації щодо вибору оптимального матеріалу для відвалів плугів або елементів їх конструкції. Розглянуто вимоги безпеки праці при виконанні досліджень. Виконано економічну оцінку дипломної роботи.

Ключові слова: відвал плуга, полицевий обробіток, абразивне середовище, конструкційні пластики, зносостійкість, міцнісні характеристики матеріалів.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОЛИЦЕВИХ ПЛУГІВ ТА МАТЕРІАЛІВ ЇХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ	10
1.1 Аналіз впливу системи обробітку ґрунту на врожайність деяких культур...	10
1.2 Аналіз особливостей конструкцій плугів.....	14
1.3 Аналіз технічних рішень щодо зменшення коефіцієнту тертя та зносу відвалів плугів	19
1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи	23
2. ПРОГРАМА, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Програма робіт та завдання досліджень	25
2.2 Підготовка вихідних матеріалів до переробки у виробі	26
2.3 Обладнання та технологія виготовлення зразків шляхом лиття під тиском	28
2.4 Обладнання та технологія виготовлення зразків методом 3D друку	31
2.5 Методика визначення межі текучості матеріалів	33
2.6 Методики визначення відносної абразивної стійкості	35
2.7 Методика визначення твердості матеріалів	38
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1 Результати дослідження напруження текучості матеріалів	40
3.2 Результати визначення твердості матеріалів	41
3.3 Визначання відносної абразивної стійкості досліджуваних матеріалів	42
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	50
4.1 Загальні положення охорони праці	50
4.2 Вимоги безпеки при проведенні науково-дослідних робіт	50

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
ДОДАТКИ	61

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні для основної обробки ґрунту активно використовуються інноваційні підходи, що спрямовані на зменшення негативного впливу на ґрунт і підвищення ефективності технологій. Проте, плуги залишаються ключовим знаряддям для обробки ґрунту, особливо у випадках, коли потрібно забезпечити оптимальну врожайність культур, таких як кукурудза та соняшник. Хоча технологія No-till й набуває популярності, завдяки збереженню ґрунтової структури та зменшенню ерозії, вона не завжди ефективна для цих культур. Саме тому, оранка залишається затребуваною, оскільки дозволяє досягти приросту врожайності порівняно з іншими методами обробки. Полицеві плуги є найбільш поширеними в Україні через їх здатність забезпечувати бажану структуру ґрунту. Однак їх недоліками є: високі техніко-експлуатаційні затрати, низька продуктивність МТА, значний тяговий опір знарядь.

Щоб зменшити тяговий опір і покращити якість обробки, були розроблені плуги зі смуговими елементами замість суцільного відвалу. Впровадження композиційних матеріалів (КМ), таких як поліетилен, для виготовлення елементів плугів стало ще одним кроком до підвищення ефективності. Але науковим дослідженням, що підтверджують доцільність використання інших КМ, включаючи матеріали для 3D-друку, наразі недостатньо приділено уваги.

Застосування того чи іншого КМ, для елементів відвалів плугів, повинно спиратися на наукові дослідження, що не в повній мірі представлено в науковій літературі. Зокрема це стосується визначення доцільності використання матеріалів для 3D друку в конструкціях відвалів плугів.

Саме тому, метою дипломної роботи є обґрунтування оптимальних конструкційних матеріалів (в тому числі одержаних методом 3D-друку) для виготовлення відвалів робочих органів плугів чи елементів їх робочих органів.

Мета роботи буде досягнути виконання таких завдань:

1. Провести аналіз впливу системи обробітку ґрунту на врожайність деяких культур. Виконати огляд та аналіз конструкцій полицевих плугів та технічних рішень щодо зменшення їх тягового опору.

2. Навести програму робіт, обладнання та методики проведення досліджень.

3. Проаналізувати результати досліджень абразивної стійкості обраних композитних матеріалів та обґрунтувати оптимальний матеріал для відвалів плугів або елементів їх конструкції.

4. Розглянути вимоги безпеки праці при виконанні досліджень.

5. Навести економічну оцінку дипломної роботи.

Об'єкт дослідження. Процеси зношування конструкційних пластиків виготовлених за різними методами їх одержання, а саме лиття під тиском та методом 3D друку.

Предмет дослідження. Закономірності зміни відносної абразивної стійкості досліджуваних матеріалів в залежності від типу конструкційного матеріалу.

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОЛИЦЕВИХ ПЛУГІВ ТА МАТЕРІАЛІВ ЇХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

1.1 Аналіз впливу системи обробітку ґрунту на врожайність деяких культур

Технології вирощування сільськогосподарських культур містять технологічні операції з обробітку ґрунту (крім технології No-till). Обробіток ґрунту займає левову частку із загальних витрат на вирощування більшості культур. Так, наприклад технологічна операція оранки може сягати 35...40 % від загальних сукупних затрат ресурсів в структурі вирощування певної культури. При цьому, виконання оранки позитивно впливає на врожайність грубостеблових культур, таких кукурудза [1-3] та соняшник [4, 5].

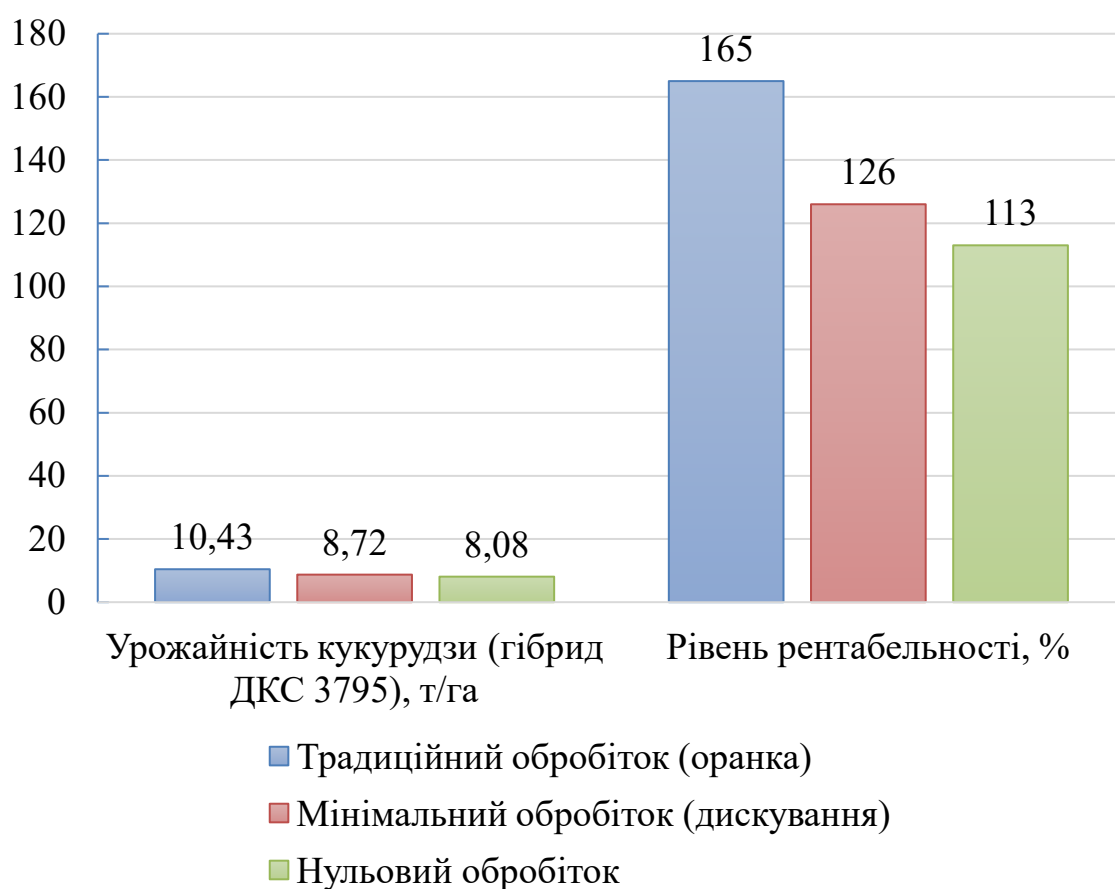


Рисунок 1.1 – Вплив системи обробітку ґрунту на врожайність та рівень рентабельності вирощування кукурудзи на зерно (створено автором на основі даних [2])

Відповідно до наведених результатів є очевидними, що виконання оранки дозволяє одержати вищу врожайність та рівень рентабельності вирощування кукурудзи на зерно гібриду ДКС 3795. При цьому, слід зауважити, що затрати на реалізацію основного обробітку ґрунту – оранки, у вказаному дослідженні [2], перевищують витрати для інших систем обробітку ґрунту приблизно на 40...55 %. Тому, дану систему обробітку ґрунту доцільно використовувати за умови достатньої обсягу вільних коштів.

В роботі [3], наведені детальні результати щодо економічної ефективності вирощування кукурудзи на зерно за різних технологій основного обробітку ґрунту, зокрема таких як оранка (традиційний обробіток), мульчування консервувальний обробіток (рис. 1.2).

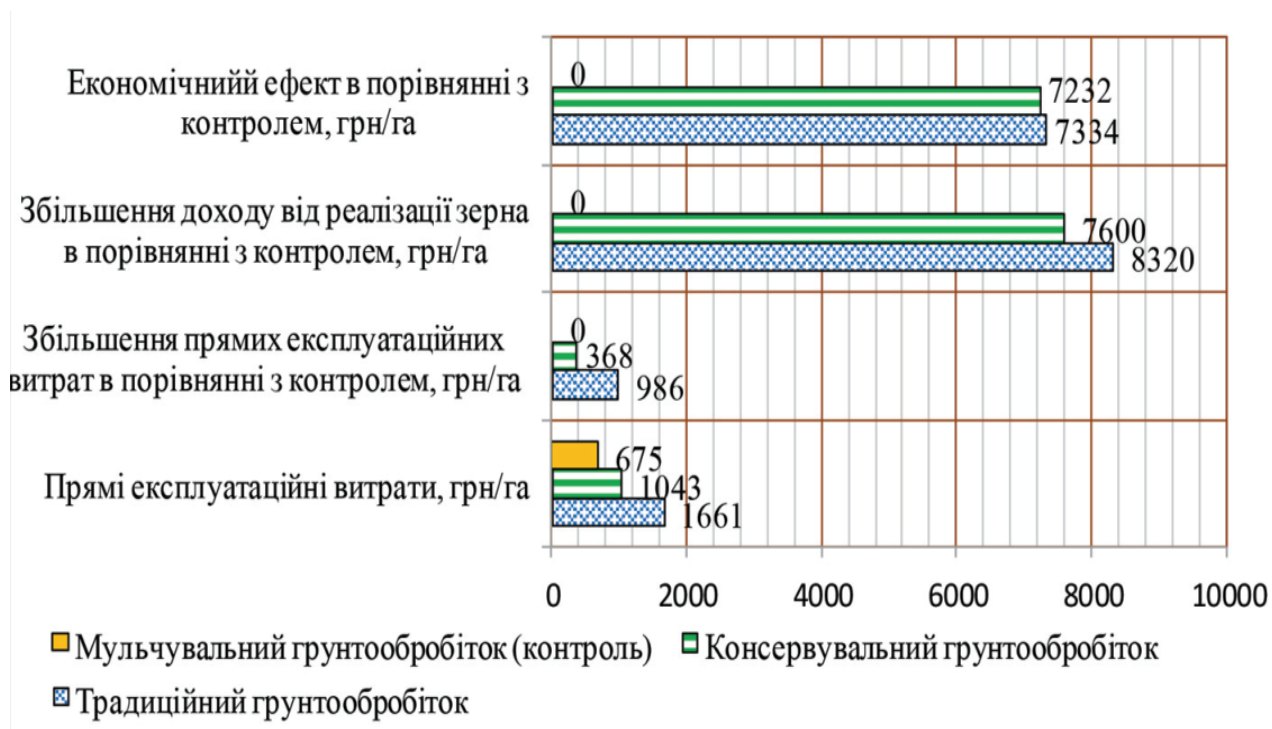


Рисунок 1.2 – Економічна ефективність використання різних технологій обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно (джерело [3]).

Відповідно до наведених даних [3], прямі експлуатаційні витрати найменші за умови застосування мульчування ґрунту. При цьому, за традиційного обробітку ґрунту, за рахунок більшої врожайності, економічний ефект більший, у порівнянні з контролем на 7,3 тис. грн. Тому, для кукурудзи

на зерно, залишається більш ефективних комплекс операцій з обробітку ґрунту, що передбачає виконання оранки.

Схожа картина (рис. 1.3) спостерігається при вирощуванні соняшнику [4].

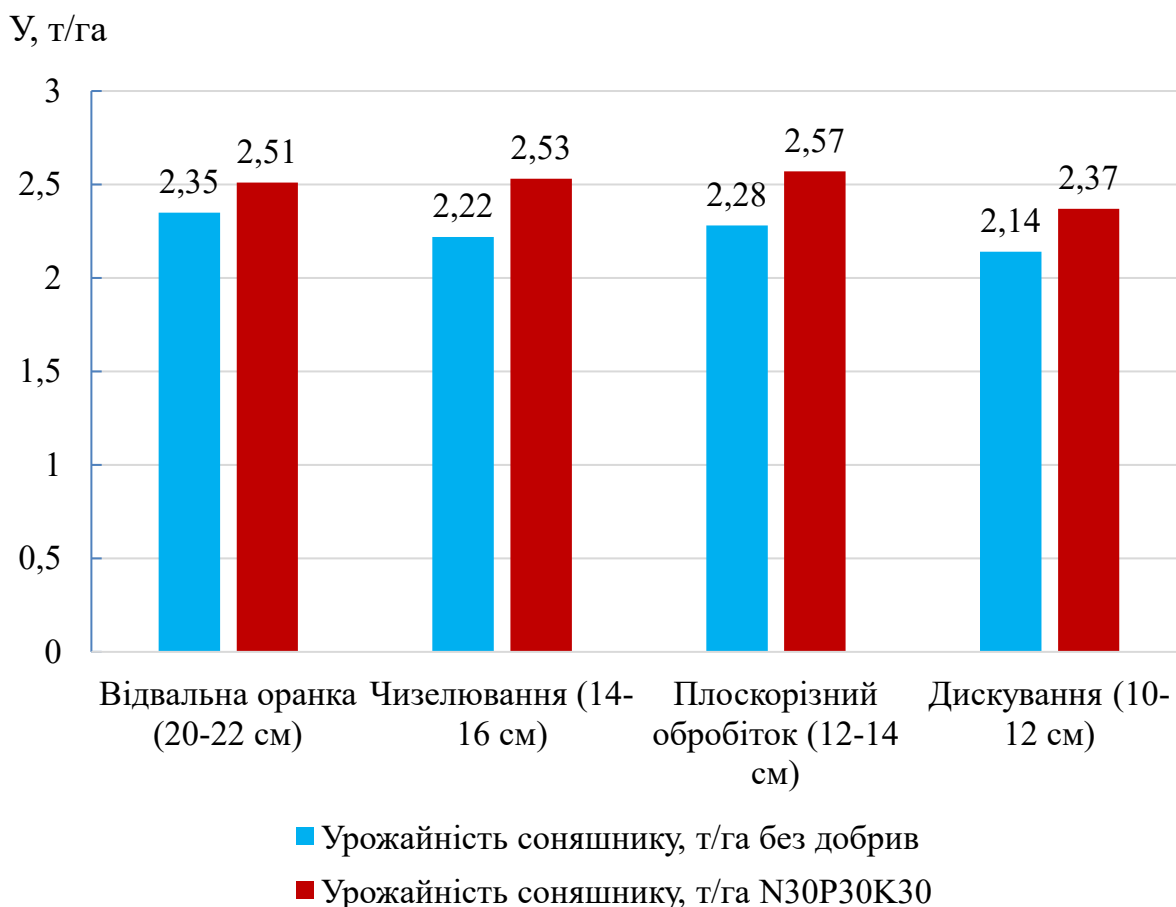


Рисунок 1.3 – Залежність урожайності гібриду соняшнику «Ясон» від способу обробітку ґрунту та внесення добрив (побудовано автором на основі даних з роботи [4])

Відповідно до наведених даних (рис. 1.3) очевидно, що обробіток ґрунту має значно більший вплив на урожайність соняшнику при відсутності використання добрив. Так, при виконанні відвальної оранки у дослідженнях [4], без застосування добрив, одержану найбільшу врожайність – 2,35 т/га. У випадку ж використання мінеральних добрив у кількості 30 кг діючої речовини для кожного, урожайність майже для всіх способів обробітку ґрунту однакова (крім при проведенні дискування ґрунту).

У роботі [5] результати досліджень щодо врожайності соняшнику від способу обробітку ґрунту мають аналогічну залежність (рис. 1.4).

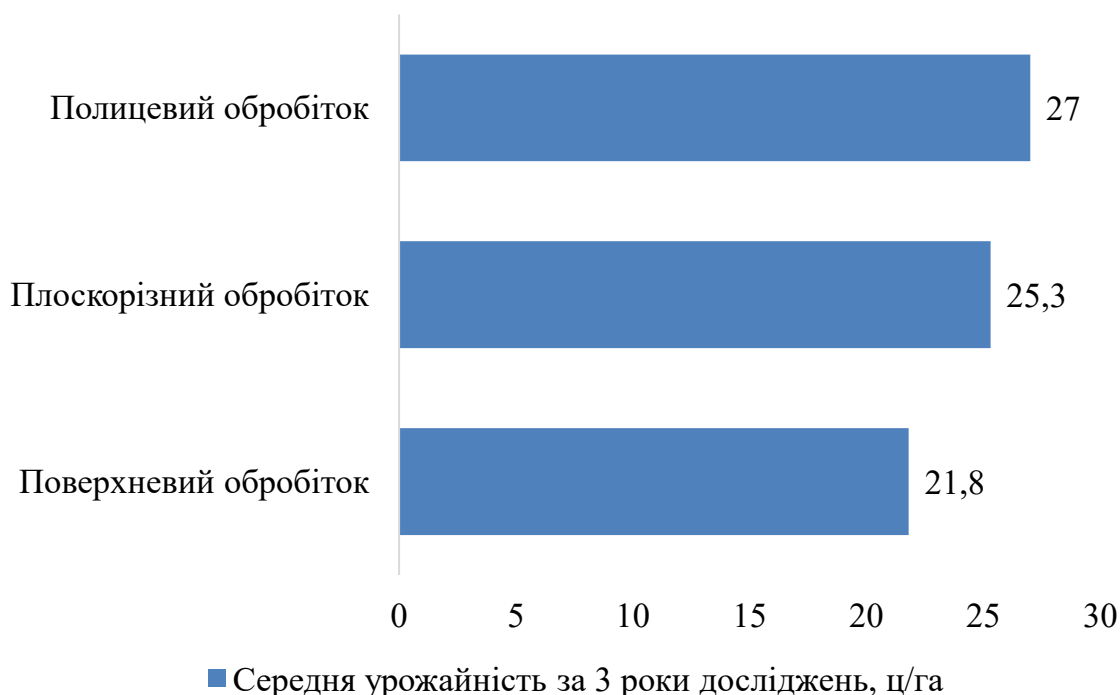


Рисунок 1.4 – Залежність врожайності гібриду соняшнику «Тиса» від способу обробітку ґрунту (джерело [5])

Дані наведені у дослідженні [5] дозволяють зробити висновок, що полицевий обробіток ґрунту дозволяє одержати суттєву прибавку до врожайності у порівнянні з поверхневим обробітком ґрунту та відносно незначну, у порівнянні із плоскорізним.

Таким чином, можна зробити загальний висновок, що при вирощуванні кукурудзи на зерно та соняшнику суттєвий вплив на врожайність має саме спосіб обробітку ґрунту. Оптимальним для даних культур є виконання полицевого обробітку ґрунту – оранки.

Враховуючи те, що насіння соняшнику та продукти його переробки є одними із основних експортних товарів України, необхідно максимум зусиль приділяти вирішенню завдання підвищення врожайності цієї культури. Виконання оранки дозволяє одержати значну прибавку до врожайності цієї культури. Проте, сукупні витрати на виконання даної технологічної операції

досить значні та можуть сягати 35 % від загальних. Тому, є необхідність щодо пошуку технічних рішень, які дозволять зменшити експлуатаційні витрати виконання оранки, забезпечивши високі показники якості її виконання. Для цього розглянемо особливості конструкцій плугів, їх недоліки та переваги.

1.2 Аналіз особливостей конструкцій плугів

Конструкції плугів значно відрізняються в залежності від їх призначення, умов використання та виробника. Основна задача цих ґрунтообробних машин це виконання обробітку ґрунту на глибину до 35 см з повним обертанням або частковим обертанням шару ґрунту, підрізання та загортання в ґрунту пожнивних решток та бур'янів. Різні плуги мають досить типову конструкцію, що складається з рами, стійки з робочими органами, механізмів регулювання та причіпного механізму до агрегування з трактором.

Плуги можна розділити за такою класифікацією:

- за конструкцією робочого органу (дискові, лемішні, чизельні та ін.);
- за призначенням: загального призначення – для вирощування сільськогосподарських культур та спеціальні (для використання в садах, чагарниках лісах)
- за способом агрегування з енергетичним засобом: навісні, напівнавісні та причіпні;
- за швидкісним режимом роботи: звичай та швидкісні (швидкість вище 1,4 м/с).

Найбільшого розповсюдження сьогодні одержали лемішні плуги. Плуги з дисковими робочими органами використовуються в зонах із підвищеною вологістю ґрунтів (болотисті місцевості).

Розглянемо особливості конструкцій плугів виробників техніки, що отримали найбільше розповсюдження в Україні.

Одним із передових виробників ґрунтообробної техніки, зокрема плугів, є виробник Lemken. Одним із останніх розробок даного типу техніки є модель Vari Titan (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Плуг Vari Titan виробника Lemken
(джерело [6])

Дана модель – це оборотній плуг, що має 9 корпусів. Особливість конструкції даного плугу є можливість роботи трактора «на полі» без необхідності руху в борозні. Плуг має конструкцію по типу «вагонів», коли плуг складається з двох рам, які послідовно з'єднані між собою. При цьому, друга частина може мати різну кількість корпусів плуга від 3 до 5 шт. Обидві частини плуга мають окремі опорні колеса для більш точного копіювання рельєфу. Крім того, конструкція плуга має гідравлічний довантажувач ваги, що призначений для поліпшення тягово-зчіпних показників трактора. Виробником техніки пропонуються різні конструкції відвалів, як суцільні, так і смуговий (рис. 1.6).

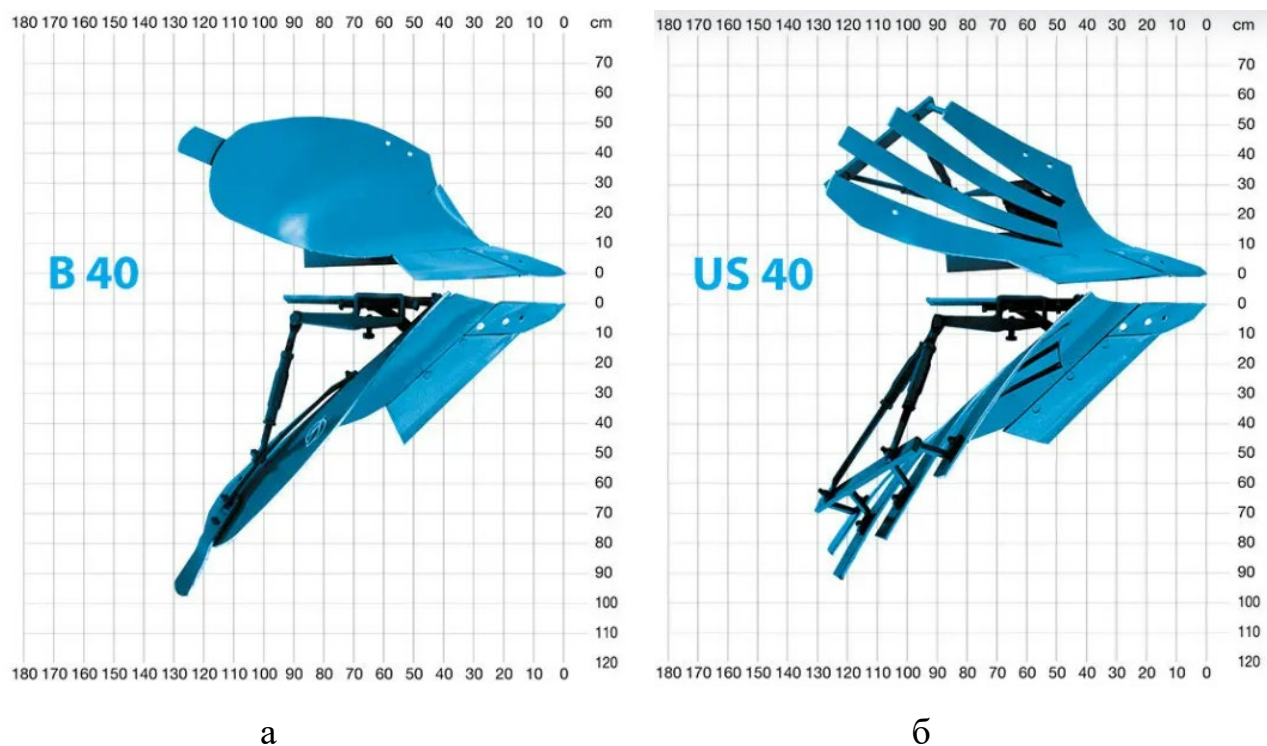


Рисунок 1.6 – Типи робочих органів до плуга Lemken Vari Titan [7]: а – суцільний корпус типу В40; б – корпус зі смуговим відвалом типу US 40

Виробник пропонує значну кількість типів корпусів до плугів, що класифікуються за призначенням та типом ґрунту. Відвали суцільного типу (рис. 1.6, а) призначені для роботи на важких ґрунтах та при роботі на полях, що мають значний похил місцевості. Плуги із смуговим типом відвалу (рис 1.6, б) можуть використовуватися легких, середніх та важких ґрунтів, що мають структуру, яка має підвищену здатність до злипання. Крім цього, такі відвали мають можливість більш точного налаштування розміщення смуг, що дозволяє змінювати ступінь кришення та перевертання ґрунту.

Таке різноманіття конструкцій відвалів корпусів плуга дозволяє використовувати їх у широкому діапазоні ґрунтово-кліматичних умов. Відвали із смуговою конструкцією дозволяють підвищити ступінь кришення ґрунту на середніх та легких ґрунтах та незначно зменшити тяговий опір знаряддя. Виробник пропонує відвали виготовлені із спеціальних сплавів, що повинні зменшувати налипання ґрунту. Окрім цього відвали мають мінімальну кількість точок кріплення, що взаємодіють із ґрунтом при русі по його поверхні. При

цьому, використання форми відвалу, що має близьку конструкцію до типової призводить до типових недоліків використання плугів – значних сумарних затрат на виконання технологічної операції – оранки.

Одним із популярних плугів є плуг виробництва John Deere, зокрема серії 3810 (3910). Виробник пропонує плуги як із жорсткою рамою, так і так звану адаптивною рамою, що складається із двох частин (рис. 1.7). Він має схожу конструкцію [8] та за призначенням дуже схожий із конструкціями розглянутого вище виробника Lemken.



а



б

Рисунок 1.7 – Плуги виробництва John Deere серії 3810 : а – із жорсткою рамою; б – з адаптивною рамою (джерело [8])

Конструкція із жорсткою рамою (рис. 1.7, а) має класичну компоновку для оборотних плугів. При цьому, даний плуг може мати досить значну кількість корпусів до 9 одиниць. Особливістю конструкції з адаптивною рамою є можливість налаштування плуга для руху трактора в борозні або поза нею. Таким чином даний плуг має більш широкий спектр умов його використання. Так як, тип робочих органів, має схожу конструкцію з іншими виробниками, йому притаманні аналогічні недоліки.

Деякі виробники, для зменшення тягового опору використовують різні робочі органи для передплужників. Серед таких необхідно звернути увагу на плуг виробництва Kverneland [9] моделі 150 В (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Орний МТА з плугом Kverneland 150 В (джерело [9])

Конструкція плугу має передплужники, що крім типової конструкції мають спеціальний турбо диск. Така конструкція дозволяє незначно зменшити тяговий опір при роботі на важких ґрунтах або агрофонах із значною кількістю пожнивних решток. Відповідне технічне рішення дозволяє незначно зменшити витрату палива, проте її величина залишається досить вагомою у структурі вирощування сільськогосподарських культур.

Інші виробники плугів використовують схожу конструкцію робочих органів, зокрема закордонного виробництва Kuhn [10] та більшість вітчизняних виробників [11-13]: Велес-Агро, Уманьфермаш, Opticon та ін. Майже кожен із виробників пропонує як класичні відвали, так і відвали з смуговими елементами.

Однією з основних причин великого тягового опору орних агрегатів є значний коефіцієнт тертя ґрунту по поверхні відвалу, який для сталі сягає значення від 0,6 для ґрунтів фізичної стиглості, до 1 і вище для вологих ґрунтів. Тому, актуальним є завдання щодо зменшення зносу та коефіцієнту тертя матеріалів з яких виготовляють відвали плугів.

1.3 Аналіз технічних рішень щодо зменшення коефіцієнту тертя та зносу відвалів плугів

Коефіцієнт тертя ґрунту по відвалу змінюється в досить широкому діапазоні, в залежності від механічного вкладу ґрунту, його вологості та матеріалу з якого виготовлено відвал.

Науковці постійно шукали вирішення задачі щодо зменшення даного показника, тим самим мінімізувати опір тертя, що виникає при русі ґрунту по поверхні відвалу. Для цього запропоновано багато рішень, зокрема такі, як мащення робочих органів водою або полімерно-водневою сумішшю, використання вібрації, застосування активних робочих органів, використання матеріалів, що мають значно нижчі коефіцієнти тертя [14].

Виробник ґрунтообробної техніки запропонував Kuhn використовувати систему, що подавала воду до поверхонь кожного робочого органу. Таке рішення дозволило значно зменшити тяговий опір, зокрема за умови роботи на вологих ґрунтах більше ніж на третину (35 %). Введення в зону тертя ґрунту та відвалу водних сумішей дозволяє також покращити процес обороту пласта ґрунту [14, 15]. Проте, недоліком такого технічного рішення необхідність встановлення спеціального обладнання, яке потребує певних особливостей

налаштування та значної витрати води, що сягає більше 110 л/га. З врахуванням навіть незначної добової продуктивності на рівні 10...15 га, необхідність у воді сягає більше 1,5 т. Тому, подальші розробки в цьому напрямку були зупинені.

В свій час, Белік Г.С. запропонував використовувати електроосмос для створення на поверхні відвалу шару води. Води на поверхні відвалу накопичувалася за рахунок приведення до робочого органу напруги із зовнішнього джерела струму. Дослідженнями встановлено, що таке рішення, дає вагомий ефект щодо зниження тягового опору, тільки за умови роботи на ґрунтах із значною вологістю – більше 24 % та незначних швидкостях руху, всього до 1,1 км/год. Складність обладнання та затрати на створення необхідної напруги для його роботи, зводять нанівець позитивних ефект від зменшення тягового опору.

Одним із перспективним способів зниження коефіцієнту тертя ґрунту по відвалу плуга є застосування спеціальних композитних матеріалів неметалевого походження [14, 16-17]. В дослідженнях [14] встановлено, що використання полімерних матеріалів в якості накладок робочих органів розпушувача ґрунту дозволяє значно зменшити тяговий опір знаряддя (рис. 1.9).

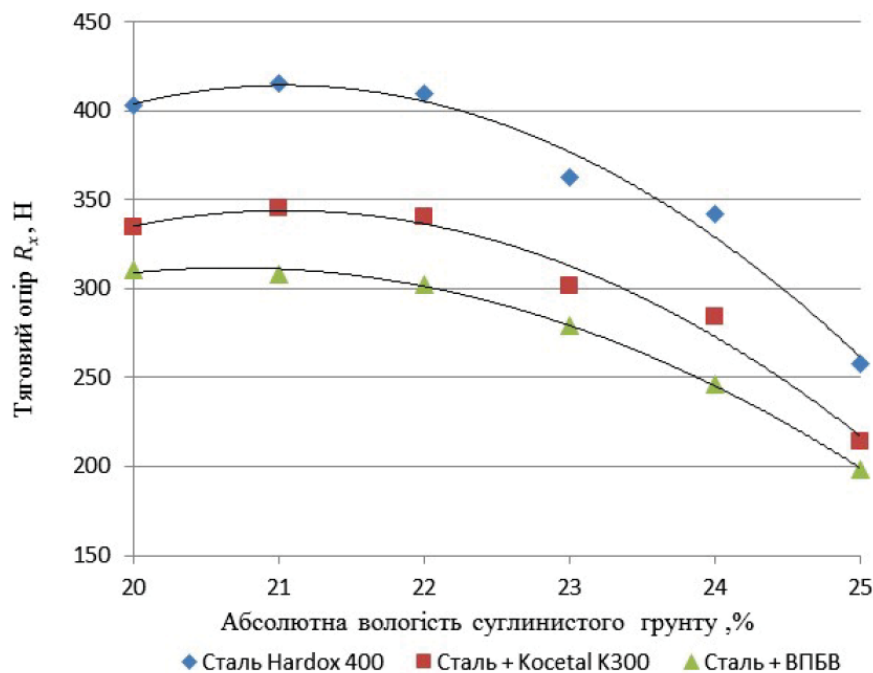


Рисунок 1.9 – Залежність тягового опору від складу матеріалу поверхні робочого органу розпушувача та вологості ґрунту (джерело [14])

Відповідно до наведених даних (рис. 1.9), стає очевидним, що використання накладок із композитних матеріалів дозволяє суттєво знизити тяговий опір знаряддя.

В роботі [17] наведено результати досліджень щодо ефективності використання відвалу плуга, виготовленого з поліетилену високого тиску типу ПЕ-500 та ПЕ-1000. Дослідженнями доведено, що використання таких матеріалів для відвалів плуга (рис. 1.10) дозволяє зменшити витрату палива МТА для оранки, в залежності від глибини обробітку мінімум на 2 л/га. Такі результати свідчать про зниження тягового опору плуга з полімерними відвалами, у порівнянні із стандартними сталевими.



Рисунок 1.10 – Плуг із встановленими відвалами з поліетилену ПЕ-500 та ПЕ-1000 на польових випробуваннях (джерело [17])

В роботі [17] зафіксовано також зростання продуктивності досліджуваного МТА на 36 %, що в сукупності із зменшенням витрати палива дає досить суттєвий техніко-економічний ефект від використання відвалів з КМ.

Технологія виготовлення відвалу з КМ та значний обсяг матеріалу, який необхідно для його виготовлення, призводить до значної вартості таких відвалів. Наприклад, вартість відвалу з матеріалу типу Tekrone складає в межах 2500...6000 грн в залежності від розміру та особливостей конструкції плуга для якого він виготовляється. При цьому вартість відвалу зі сталі коштує в рази менше в межах 750...1500 грн. Тому, виникає питання щодо економічної доцільності використання таких відвалів.

Одним із варіантів вирішення проблеми значної вартості відвалів з композитного матеріалу є використання спеціальних накладок на відвали смугового типу (рис. 1.11)

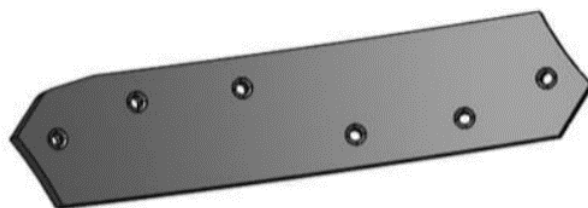


Рисунок 1.11 – Смуговий відвал плуга із накладками з композитного матеріалу

Такі елементи мають значно менші розміри, нескладну технологію одержання та відповідно невисоку вартість комплекту смуг для комплектування одного відвалу. Крім того, серед переваг смугових елементів з КМ є можливість їх окремої заміни у разі пошкодження або граничного зносу.

Незначні розміри смуг відвалів дозволяють виготовляти їх з матеріалів, що мають більшу вартість та зносостійкість або навіть одержувати шляхом 3D друку. Матеріали для шляхом 3D друку стрімко розвиваються та удосконалюються.

Застосування того чи іншого КМ, для елементів відвалів плугів, повинно спиратися на наукові дослідження, що не в повній мірі представлено в науковій літературі. Зокрема це стосується визначення доцільності використання матеріалів для 3D друку в конструкціях відвалів плугів.

1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи

Сучасне машинобудування випускає значне різноманіття машин для основного обробітку ґрунту. Одним із основних знарядь довготривалий час були плуги. Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур спрямовані на зменшення негативного впливу робочих органів ґрунтообробних машин на ґрунт. В деяких технологіях вирощування взагалі відсутні технологічні операції, що пов'язані із основним чи передпосівним обробітком ґрунту (No-till). Проте, ця технологія не забезпечує бажану врожайність таких культур, як кукурудза на зерно та соняшник. Тому, при вирощуванні вказаних культур, зазвичай виконують обробіток ґрунту. При чому, вченими доведено, що за умови виконання оранку, в більшості випадків можна одержати приріст врожайності, у порівнянні з дискуванням чи плоскорізним обробітками. В сучасних умовах найбільшого розповсюдження в Україні одержали полицеві плуги. Вони забезпечують необхідну структуру ґрунту та створюють оптимальні умови для розвитку культурних рослин.

Недоліком використання плугів є значні експлуатаційні затрати та низька продуктивність МГА. Для забезпечення якісних показників роботи та зменшення тягового опору розроблена взамін суцільного відвалу конструкція зі смуговими елементами. Наступним етапом, стало виготовлення, як суцільного відвалу та і елементів смугового відвалу з КМ, що дозволяють знизити тяговий

опір плуга. Для цих деталей використовують зазвичай поліетилен, та не звертають увагу на інші КМ.

Застосування того чи іншого КМ, для елементів відвалів плугів, повинно спиратися на наукові дослідження, що не в повній мірі представлено в науковій літературі. Зокрема це стосується визначення доцільності використання матеріалів для 3D друку в конструкціях відвалів плугів.

Саме тому, метою дипломної роботи є обґрунтування оптимальних конструкційних матеріалів (в тому числі одержаних методом 3Д-друку) для виготовлення відвалів робочих органів плугів чи елементів їх робочих органів.

Мета роботи буде досягнути виконання таких завдань:

1. Провести аналіз впливу системи обробітку ґрунту на врожайність деяких культур. Виконати огляд та аналіз конструкцій полицевих плугів та технічних рішень щодо зменшення їх тягового опору.

2. Навести програму робіт, обладнання та методики проведення досліджень.

3. Проаналізувати результати досліджень абразивної стійкості обраних композитних матеріалів та обґрунтувати оптимальний матеріал для відвалів плугів або елементів їх конструкції.

4. Розглянути вимоги безпеки праці при виконанні досліджень.

5. Навести економічну оцінку дипломної роботи.

2. ПРОГРАМА, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма робіт та завдання досліджень

Недоліком використання плугів є значні експлуатаційні затрати та низька продуктивність МТА. Для забезпечення якісних показників роботи та зменшення тягового опору розроблена взамін суцільного відвалу конструкція зі смуговими елементами. Одна з причин значного опору орних знарядь пов'язана із значним коефіцієнтом тертя ґрунту при русі по поверхні відвалу. Чим вище коефіцієнт тертя, тим більше енергії витрачається на подолання сили тертя, що виникають при взаємодії ґрунту з робочими органами плуга. Відповідно на подолання даної сили витрачається тягове зусилля трактора та паливо. Зменшити коефіцієнт тертя та забезпечити необхідну зносостійкість є тими задачами, що дозволять значно знизити витрати палива та підвищити продуктивність МТА для оранки.

Одним із напрямків вирішення вказаних завдань є виготовлення робочих органів плугів, зокрема відвалів чи їх елементів (для відвалів пір'івого типу) із КМ, що мають коефіцієнт тертя по ґрунту, значно нижчий, у порівнянні зі сталями.

При цьому, необхідно пам'ятати, що для деталей конструкційного призначення, крім коефіцієнту тертя та зносостійкості, важливим є забезпечення фізико-механічних властивостей, зокрема міцнісних.

Сучасна промисловість випускає, крім класичних конструкційних матеріалів у вигляді гранул (для переробки литтям під тиском), значний асортимент КМ у вигляді листів та профілів круглого перерізу. Останні роки досить популярними стають конструкційні КМ для 3D друку. Широкий спектр таких матеріалів, доступність технологій одержання готових деталей та невисока їх вартість, дозволяють деталям одержаних шляхом 3D друку завойовувати ніші несерійного виробництва деталей машин та устаткування.

Крім цього, при використанні даної технології значно зменшується загальний час від постановки задачі та одержання готової продукції (деталі).

Застосування того чи іншого КМ, для елементів відвалів плугів, повинно спиратися на наукові дослідження, що не в повній мірі представлено в науковій літературі. Зокрема, це стосується визначення доцільності використання матеріалів для 3D друку в конструкціях відвалів плугів. Також доцільним буде провести порівняння ефективності використання різних матеріалів, в тому числі ПКМ, при роботі їх в абразивному середовищі.

Програма робіт включає такі етапи:

- підготовка вихідних матеріалів до переробки у виробі;
- виготовлення зразків шляхом лиття під тиском;
- виготовлення зразків методом 3D друку;
- підготовка зразків до виконання досліджень;
- дослідження міцнісних показників обраних матеріалів;
- визначення та порівняння абразивної стійкості обраних матеріалів;
- аналіз одержаних результатів досліджень.

Основним заданням виконання досліджень є обґрунтування оптимального КМ для виготовлення відвалів плугів.

2.2 Підготовка вихідних матеріалів до переробки у виробі

В якості зразків для дослідження абразивної стійкості КМ обрано п'ять матеріалів:

- два матеріали на основі поліаміду 6 та вуглецевого волокна (ВВ) або графіту: ВПА-6-15, ПА-6-15ГР, відповідно із вмістом ВВ та графіту 15 мас. % в матриці поліаміду.
- надвисокомолекулярний поліетилен ПЕ-1000;
- чотири матеріали для 3D друку: ABS+, PLA, Elastan D100 та Nylon CCF;

Матеріали на основі поліаміду мали вигляд гранул довжиною 3 мм та діаметром 1,5...2 мм (рис. 2.1).

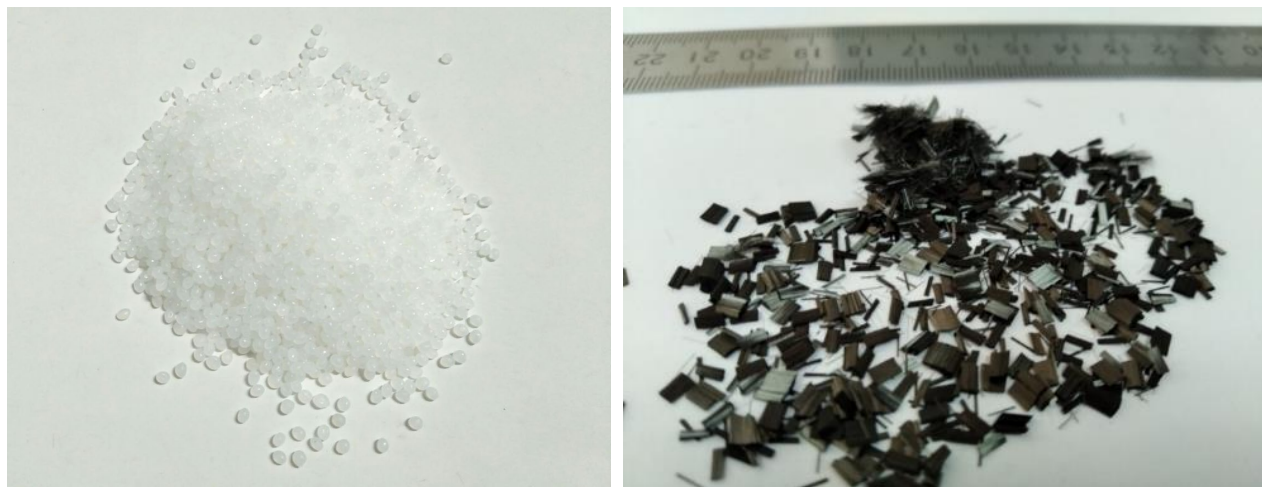


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд вихідних матеріалів: поліаміду та ВВ

Надвисокомолекулярний поліетилен ПЕ-1000, мав вигляд готового листового матеріалу товщиною 12 мм, тому додаткових робіт із його переробкою не потрібно було виконувати.

Матеріали для 3D друку мають вигляд дроту круглого перерізу діаметром 1,75 мм намотаного на спеціальні бобіни (рис. 2.2).

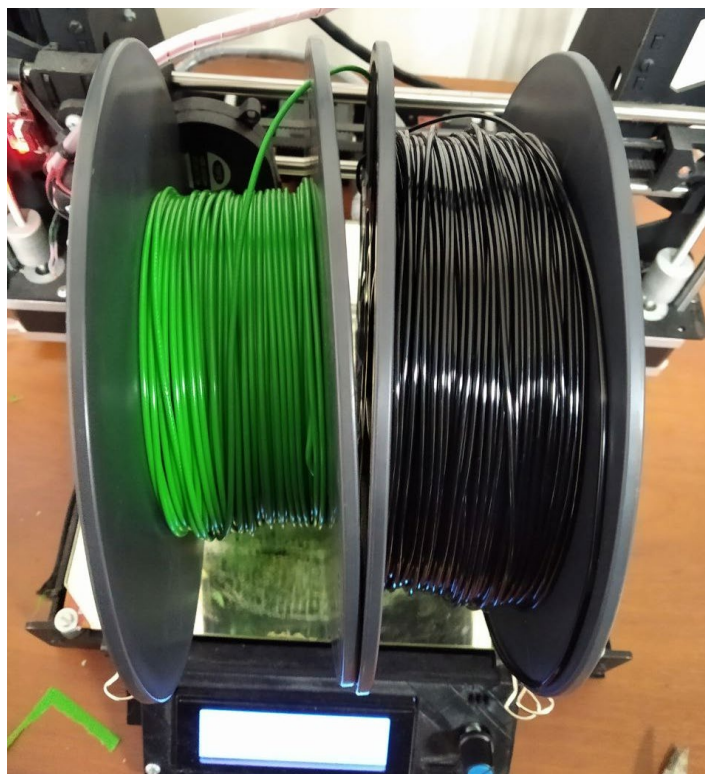


Рисунок 2.2 – Матеріали для 3D друку (ліворуч – ABS+, праворуч – PLA)

Основні вимоги щодо підготовки матеріалів ВПА-6-15, ПА-6-15ГР, ABS+, PLA, Elastan D100 та Nylon CCF до переробки пов'язані із необхідністю видалення вологи із них. Ці матеріали гігроскопічні, тому волога проникає в них навіть з повітря зовнішнього середовища.

Саме тому, перед виготовленням зразків із вказаних матеріалів їх сушили в термо шафі СНОЛ 67/350 (рис. 2.3) за температури 70 °С протягом декількох годин.



Рисунок 2.3 – Термошафа СНОЛ 67/350 із вихідними матеріалами ABS+ та PLA завантажені для сушіння

Матеріали після сушіння, необхідно протягом декількох годин використати для виготовлення зразків для запобігання повторного накопичення вологи в них із зовнішнього середовища.

2.3 Обладнання та технологія виготовлення зразків шляхом лиття під тиском

Експериментальні зразки для досліджень із матеріалів ВПА-6-15 та ПА-6-15ГР одержували шляхом лиття під тиском у спеціальні прес-форми на машині типу вертикальний шприц-прес (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Вертикальна машина типу шприц-прес для лиття пластиків під тиском

Технологія виготовлення детально розкрита у роботі [18]. Розплав матеріалу під тиском впорскується в прес-форми для дослідження міцнісних характеристик (рис. 2.5) та зносостійкості матеріалів (рис. 2.6).



Рисунок 2.5 – Складові елементи прес-форми для виготовлення зразків на дослідження міцнісних та теплофізичних характеристик

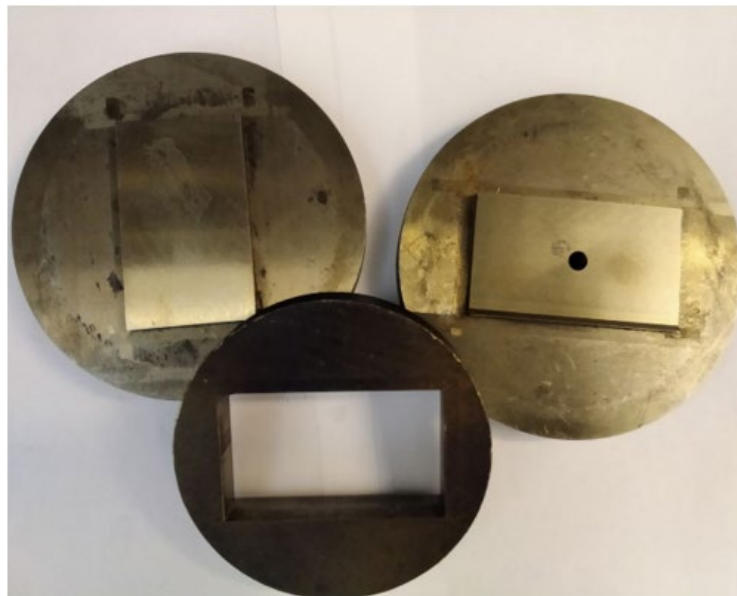
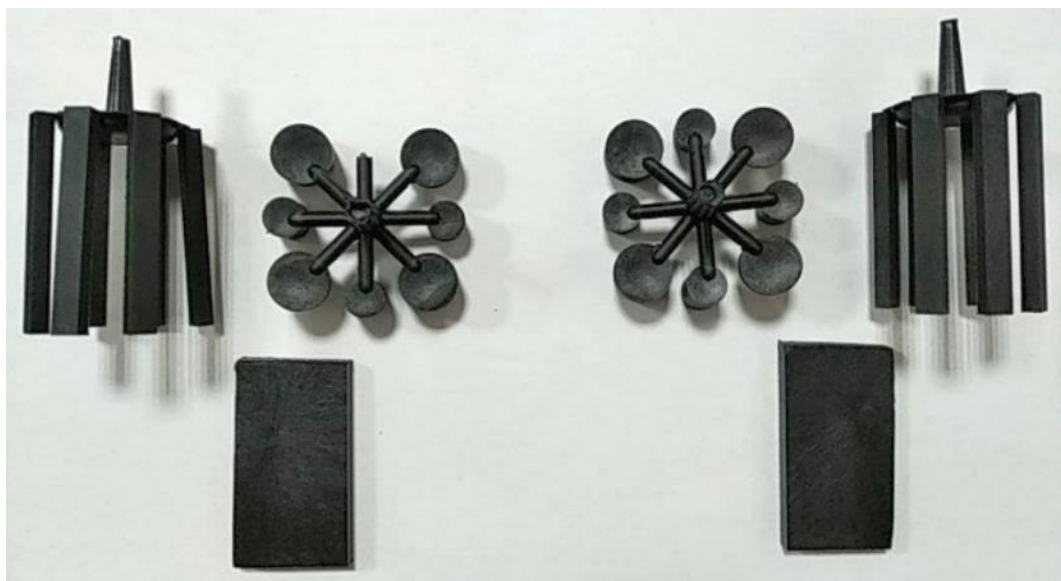


Рисунок 2.6 – Прес-форма для дослідження зразків матеріалів на абразивну стійкість

Отримані експериментальні зразки мали вигляд наведений на рис. 2.7.



а

б

Рисунок 2.7 – Зразки для визначення міцнісних характеристик та зносостійкості матеріалів: а – ВПА-6-16; б – ПА-6-15ГР

Зразки для дослідження міцнісних характеристик мають такі розміри: висота – 15 мм, діаметр – 10 мм. Зразки для дослідження зносостійкості повинні відповідати таким геометричним розмірам – 53×29×7 мм. Якщо

отримані зразки на абразивну стійкість відрізняються від вказаних розмірів, то їх можна механічною обробкою довести до вказаних параметрів.

2.4 Обладнання та технологія виготовлення зразків методом 3D друку

Початковим етапом підготовки до 3D друку зразків є створення їх 3D моделей у будь-якому CAD програмному забезпеченні (наприклад SOLIDWORKS). Після побудови моделей зразків, необхідно у спеціальному програмному забезпеченні (так званому слайсері) виконати підготовку до роботи моделі та 3D принтера. В якості програмного забезпечення використовували «Cura» (рис. 2.8).

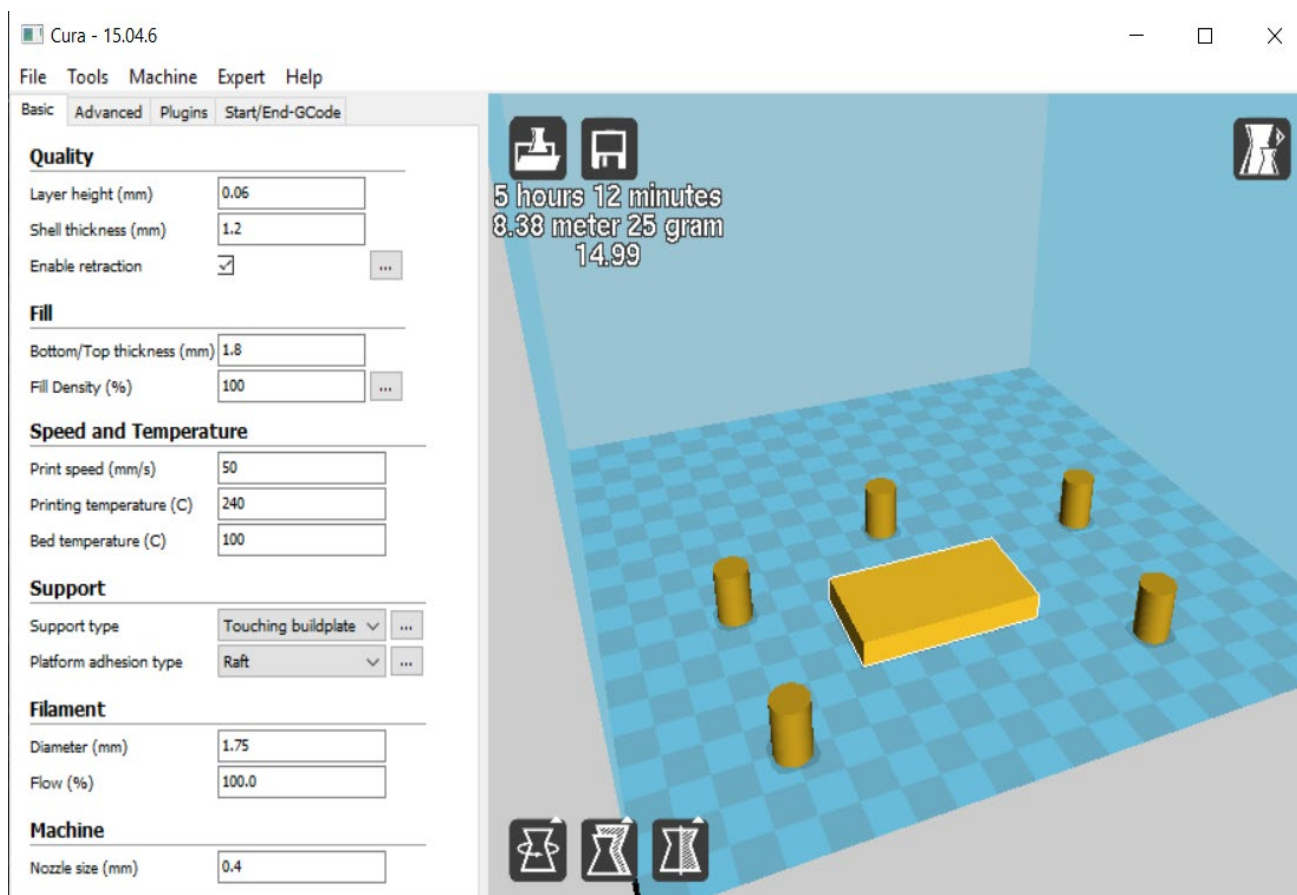


Рисунок 2.8 – Програмне забезпечення «Cura» та моделі зразків для досліджень в його середовищі

Підготовка до роботи принтера містить встановлення режимів 3D друку, таких як: висота шару матеріалу, товщина стінки, ступінь заповнення деталі (у %), температуру розплаву матеріалу, температуру столу та швидкість друку (переміщення сопла по робочій зоні).

Зразки для досліджень міцнісних характеристик та зносостійкості з ABS+, PLA, Elasthan D100 та Nylon CCF одержували методом 3D друку на принтері типу Mendel (рис. 2.9). Даний принтер не заводського виробництва, тому має певні особливості своєї конструкції, у порівнянні з іншими.

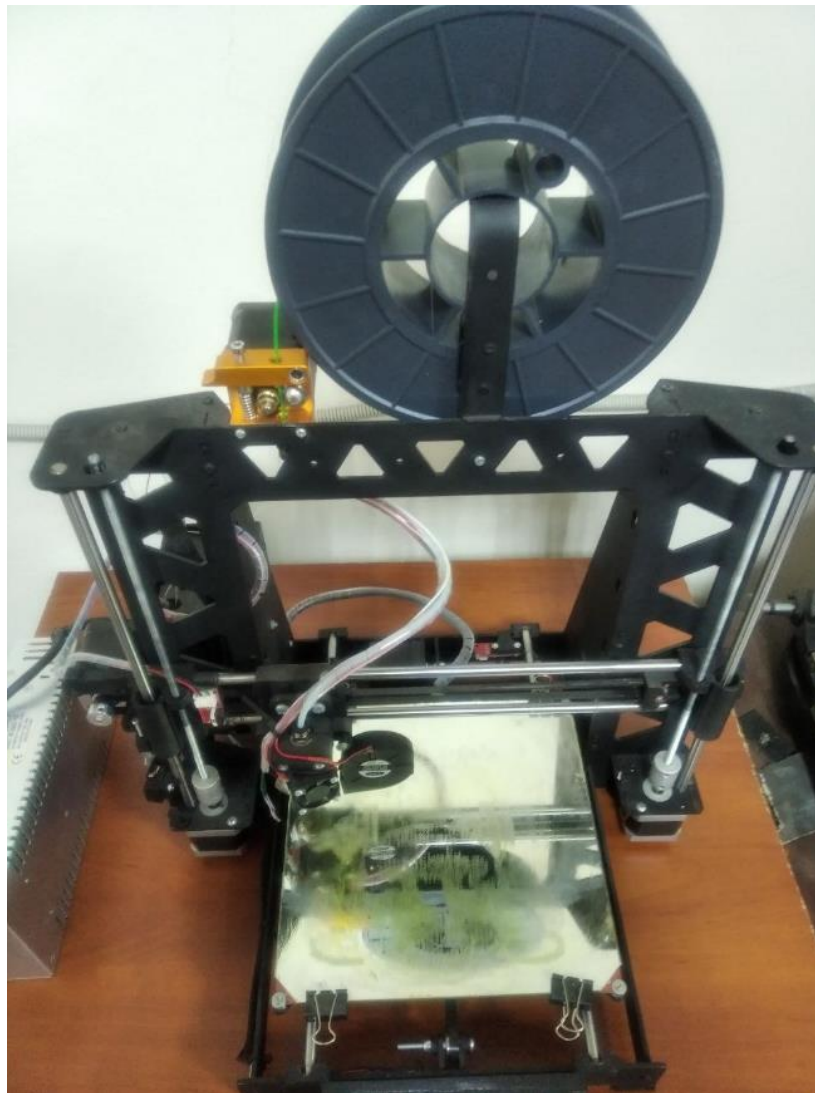


Рисунок 2.9 – 3D принтер типу Mendel

При роботі в холодну пору року, робочу частину принтера необхідно закривати кожухом, для поліпшення підтримки температурних режимів 3D друку.

Загальний вид зразків одержаних методом 3D друку наведено на рис. 2.10.



Рисунок 2.10 – Зразки для дослідження абразивної стійкості одержані методом 3D друку: а – PLA; б – ABS+; в – Elasthan D100 ; г – Nylon CCF.

На зовнішніх поверхнях зразків (рис. 2.10) зафіксовані незначні відхилення від прямолінійності, тому вважаємо їх стан задовільний.

2.5 Методика визначення межі текучості матеріалів

Межу текучості досліджуваних матеріалів визначали на машині FP-100 (рис. 2.11) за типовою методикою [18].

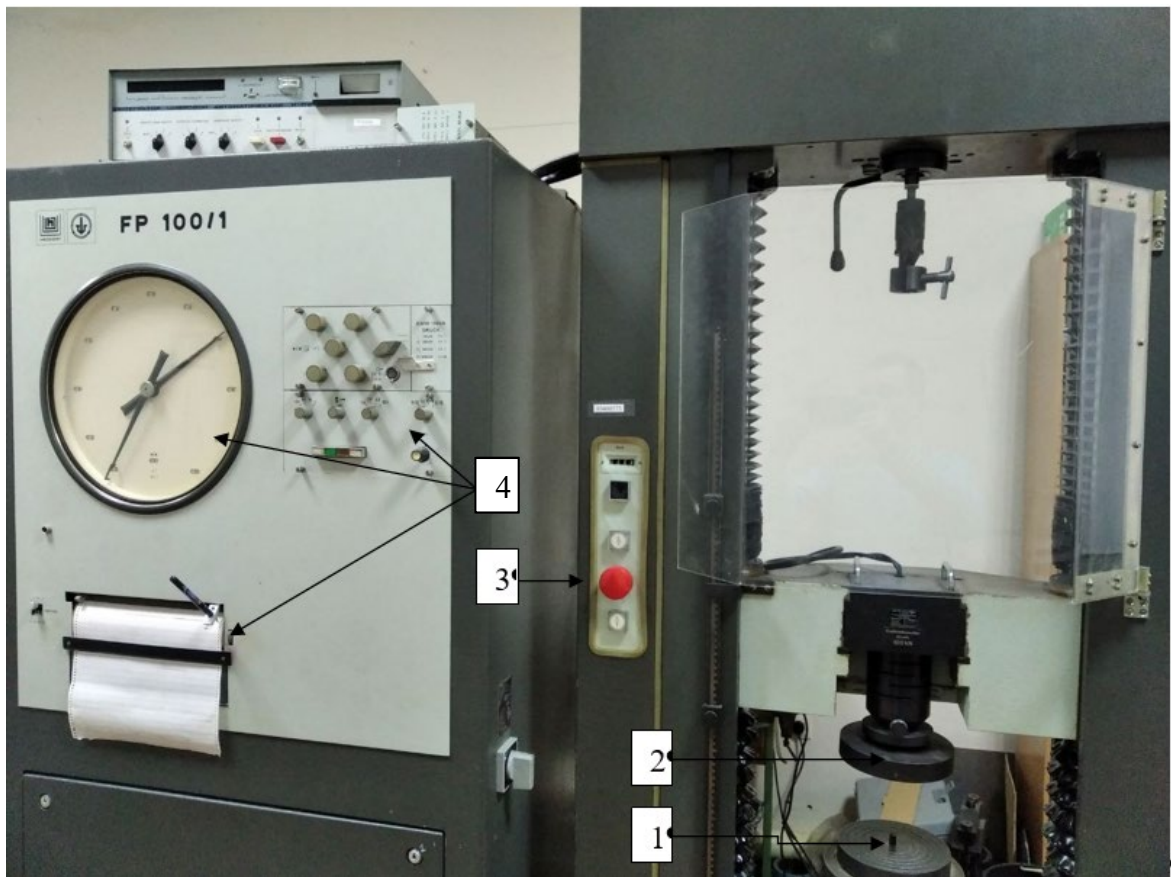


Рис. 2.11 – Машина FP-100

1 – досліджуваний зразок; 2 – обладнання для визначення сили стискання;
3 – пульт управління; 4 – пульт налаштування машини та механізм фіксації
результатів

Зразки для дослідження міцнісних характеристик повинні мати дві площини із відхиленням від паралельності, що не перевищує 0,1%. Для досягнення цього, зразки притирали на рівній поверхні на наждачному папері № 320...220.

Межу текучості досліджуваних матеріалів (σ_p) розраховували на основі рівняння:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (2.1)$$

де P – навантаження межі текучості (втрати форми), Н

F – опосередкована площа перерізу досліджуваного зразку, мм²;

$$F = \pi d^2 / 4, \quad (2.2)$$

де d – середнє значення діаметра зразка (визначене не менш як на основі трьох вимірювань), мм.

2.6 Методики визначення відносної абразивної стійкості

Зразки для визначення абразивної стійкості матеріалів мають стандартизовані розміри: довжина 53 мм, ширина 29 мм та висотою 7 мм.

Перед дослідженням матеріалів на абразивну стійкість, необхідно визначити їх густину методом гідростатичного зважування. Метод заснований на визначенні маси зразку в середовищі повітря (звичайне зважування) та зважування експериментального зразку, що підвішений на нитці до коромисла аналітичних терезів та занурений у ємність з дистильованою водою [19]. Для цього, в роботі будемо використовувати терези ВРЛ-200.

Густину матеріалів визначають за виразом:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} (\rho_p - \rho_n) + \rho_n \quad (2.3)$$

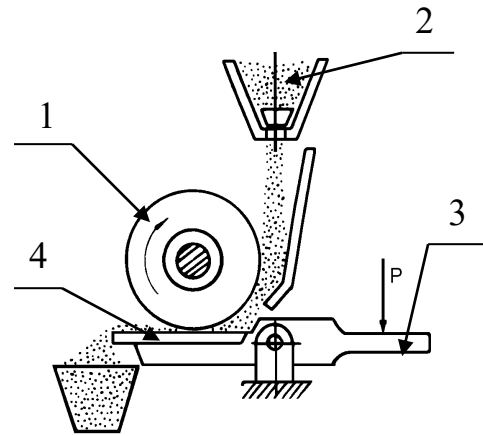
де: m_1, m_2 – маса зразку (з досліджуваного матеріалу), при зважуванні на повітрі та за умови занурення у рідину відповідно, г;

ρ_p, ρ_n – густина рідини (дистильованої води) і повітря відповідно.

Дослідження зносу досліджуваних матеріалів (абразивної стійкості) при роботі в абразивному середовищі виконували шляхом визначення зносу всіх зразків матеріалів при однакових режимах роботи. Для реалізації цього застосовували машину СМЦ-2, що має спеціальне обладнання для подачі абразивних частинок в зону тертя (рис. 2.12).



а



б

Рис. 2.12 – Машина СМЦ-2: а – з механізмом подачі стандартизованого абразивного матеріалу в зону тертя; б – схема елементів механізму подачі абразивного матеріалу та створення навантаження: 1 – диск із гумовим кільцем; 2 – стандартизований абразив (електрокорунд); 3 – механізм створення навантаження між зразком та гумовим диском; 4 – зразок із матеріалу, що досліджується

Визначення відносної стійкості матеріалів заснований на примусовому зношуванні зразків незакріпленими абразивними частинками. При цьому, один із досліджуваних зразків обирається еталоном. Зазвичай це базовий матеріал, відносно якого необхідно визначити зносостійкість нових досліджуваних матеріалів. Абразивні частинки самопливом подаються в зону тертя, після чого вони захоплюються гумовим роликком та протягуються по поверхні досліджуваного зразку.

Режими дослідження зразків на абразивну стійкість матеріалів:

- число обертів про гумового ролика – 300 об. (5 хв);
- навантаження на зразок – 44 Н;
- розміри ролика: діаметр – 50 мм, ширина – 15 мм.

Знос зразків розраховували, як різницю маси досліджуваного зразку, зважування його до абразивного зношування та після нього за допомогою електронних терезів METRINCO AB224 з дискретністю 0,0001 г (рис. 2.13). Зразки перед зважуванням обов'язково протирали спиртом для очищення поверхонь від продуктів зносу.



Рис. 2.13 – Аналітичні терези METRINCO AB224 з гирею для проведення калібрування

Для визначення відносної абразивної стійкості експериментальних матеріалів використовували формулу:

$$K_u = \frac{U_e \cdot \rho_d \cdot n_d}{U_d \cdot \rho_e \cdot n_e}, \quad (2.4)$$

де ρ_e , ρ_d – густина відповідно еталонного матеріалу та композитного матеріалу, що досліджується, кг/м³;

n_e , n_d – число обертів гумового ролика, для еталонного та досліджуваних матеріалів відповідно;

U_e , U_d – втрата маси еталонного зразку та зразку для якого відбувається порівняння відповідно, кг.

В якості еталонного зразку приймаємо матеріал ВПА-6-15, відповідно його відносна абразивна стійкість буде рівна 1.

2.7 Методика визначення твердості матеріалів

Твердість матеріалів визначали методом відскоку за Шором (шкала D) за допомогою цифрового твердоміра WALCOM HT-6510D (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Цифровий твердомір WALCOM HT-6510D

Для визначення твердості матеріалів зразок повинен мати мінімальну товщини 3 мм. Розмір зразку повинен бути таким, щоб можна було виконати вимірювання в точках, що повинні бути віддалені не менше ніж на 12 мм від будь якого краю.

Для вимірювання необхідно вкласти зразок на рівну поверхню та притиснути опорну поверхню твердоміра до його поверхні, утримуючи опорну поверхню паралельно до поверхні зразка. Після чого необхідно почекати декілька секунд, щоб на екрані приладу відобразилося значення твердості досліджуваного матеріалу. Для виконання наступного вимірювання необхідно натиснути клавішу «ZERO» та повторити дії, які вказані вище.

Якщо необхідно визначити середнє значення на основі декількох вимірювань, то потрібно натиснути і відпустити клавішу «N/AVE». Після чого, необхідно обрати кількість вимірювань, на основі яких прилад буде визначати середнє значення твердості. Коли останній вимірювання буде виконано, прозвучить два короткі сигнали та висвітиться середнє значення твердості.

У відповідності до наведеної вище програми експериментальних досліджень та розглянутих методик проведені дослідження фізико-механічних характеристик обраних матеріалів та їх відносної абразивної стійкості. Одержані результати досліджень представлені у 3 розділі дипломної роботи.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати дослідження напруження текучості матеріалів

ПКМ з високими фізико-механічними характеристиками є ключовими для забезпечення довговічності та ефективності трибоспряжень у різних умовах роботи. Проте, їх висока собівартість через використання дорогих наповнювачів обмежує застосування, особливо в простій сільськогосподарській техніці, де важлива конкурентоспроможність за рахунок доступної вартості. Одним із рішень цієї проблеми є розробка ПКМ із використанням методів 3Д друку, що дозволяє знизити витрати на виробництво готових виробів. Саме за рахунок відсутності затрат на додаткове обладнання та устаткування для виготовлення елементів або деталей конструкції механізмів плугів. При цьому, важливим аспектом щодо ефективного впровадження таких матеріалів є проведення досліджень щодо міцнісних характеристик та зносостійкості матеріалів для відповідності реальним умовам експлуатації.

Міцнісні характеристики матеріалів є одними із основних для пластиків, так як забезпечують жорсткість конструкції деталей. Результати визначення міцнісних характеристик наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Міцнісні характеристики матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Межа текучості при стиску, МПа	Міцність на розтяг*, МПа
1	ВПА-6-15	88,9	-
2	ПА-6+15ГР	72,1	-
3	ПЕ-1000	19,0	-
4	ABS+	47,5	40
5	PLA	97,7	51
6	Elastan D100		68
7	Nylon CCF		60

* – результати взято із інформації наданої виробником матеріалів

Одержані результати свідчать, що найбільше значення напруження текучості серед обраних матеріалів мають матеріали ВПА-6-15 та PLA, 97,7 МПа та 88,9 МПа відповідно. В якості наповнювача в ВПА-6-15 є ВВ, що має значно вищі показники міцності та забезпечує ефект армування матриці полімерного матеріалу. Найменше значення межі текучості зафіксовано для матеріалу ПЕ-1000 – всього 19,0 МПа. При цьому, для матеріалів, що працюють в умовах з абразивним середовищем, основним є стійкість до негативного впливу абразивних частинок.

3.2 Результати визначення твердості матеріалів

Твердість ПКМ дозволяє обґрунтовувати раціональність використання таких матеріалів в залежності від умов навантаження деталей машин. У випадку роботи в абразивному середовищі, нижча твердість матеріалу може бути навіть позитивним показником, так як у такому випадку матеріал може демпфувати при дії на нього абразивної частинки.

Результати визначення твердості обраних полімерних матеріалів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Твердість обраних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Твердість, Шор D					Середнє значення
		1	2	3	4	5	
1	ВПА-6-15	85,8	84,7	82,9	85,4	83,7	84,5
2	ПА-6+15ГР	74,2	74,9	76,3	75,8	76,1	75,5
3	ПЕ-1000	70,1	70,2	70,8	70,9	71,1	70,6
4	ABS+	79,6	80,0	77,4	78,7	80,2	79,2
5	PLA	88,3	82,2	86,4	84,1	85,4	85,3
6	Elastan D100	65,5	62,2	64,5	63,5	63,1	63,8
7	Nylon CCF	73,4	70,9	64,8	66,5	71,9	69,5

Встановлено, що найбільшу твердість, серед досліджуваних матеріалів має матеріал для 3Д друку PLA – 85,3 (Шор D). Трохи менше значення твердості зафіксовано для матеріалу на основі поліаміду та ВВ – 84,5 (Шор D). Найменше значення твердості одержано при дослідженні матеріалу Elastan D100. Слід зазначити, що більшість досліджуваних матеріалів мають твердість, що не значно відрізняється від обраного еталонного зразку – ПЕ-1000.

3.3 Визначання відносної абразивної стійкості досліджуваних матеріалів

Густина обраних зразків визначали за допомогою терезів ВЛР-200 за методикою наведеною у попередньому розділі. В якості рідини використовували дистильовану воду, тому її густина прийнято рівній 1. Для підвішування зразку у ємності з водою використовували тонку нитку, масу якої не враховували у розрахунках при визначенні густини досліджуваних матеріалів.

Зразок при визначенні маси у воді розташовували таким чином, щоб він був повністю занурений у воду та не опирався на дно чи бокові частини ємності (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Визначення маси зразку з матеріалу Elastan D100 зануреного у воду

Вимірювання маси зразків, як у повітрі, так і занурених у воду зразків виконували тричі. Середнє арифметичне значення виконаних вимірювань приймали за остаточне значення. Результати визначення густини полімерних матеріалів наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати визначення густини досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	$m_{\text{пов.}}, \text{Г}$	$m_{\text{в.}}, \text{Г}$	$\rho, \text{г/см}^3$
1	ВПА-6-15	9,04710	1,60780	1,216
2	ПА-6-15ГР	8,47325	1,54025	1,222
3	ПЕ-1000	16,59770	-	0,930*
4	ABS+	11,39570	0,65280	1,061
5	PLA	12,42950	2,56585	1,260
6	Elastan D100	13,08770	1,96590	1,177
7	Nylon CCF	11,40390	0,31285	1,028

* – густина визначена шляхом ділення маси на визначений об'єм зразку на основі вимірювань його розмірів, так як він не тонує у воді.

Відповідно до наведених результатів в табл. 3.2, можна зробити висновок, що матеріали на основі поліаміду 6, PLA Elastan D100 мають дуже близьку густину – 1,177...1,222 г/см³. Наступною групою можна виділити матеріали, що мають густину трохи більшу за 1, це ABS+ та Nylon CCF. Матеріал ПЕ-1000 має найнижчу густину зі всіх досліджуваних матеріалів – 0,93 г/см³.

Величину зносу визначали шляхом трикратного зважування зразків до та після примусового зношування на аналітичних терезах (рис. 3.3). Кожен із зразків зважували після калібрування терезів. Продукти зносу прибирали з поверхні зразків шляхом протирання їх спиртом, та залишали на декілька хвилин для його вивітрювання.

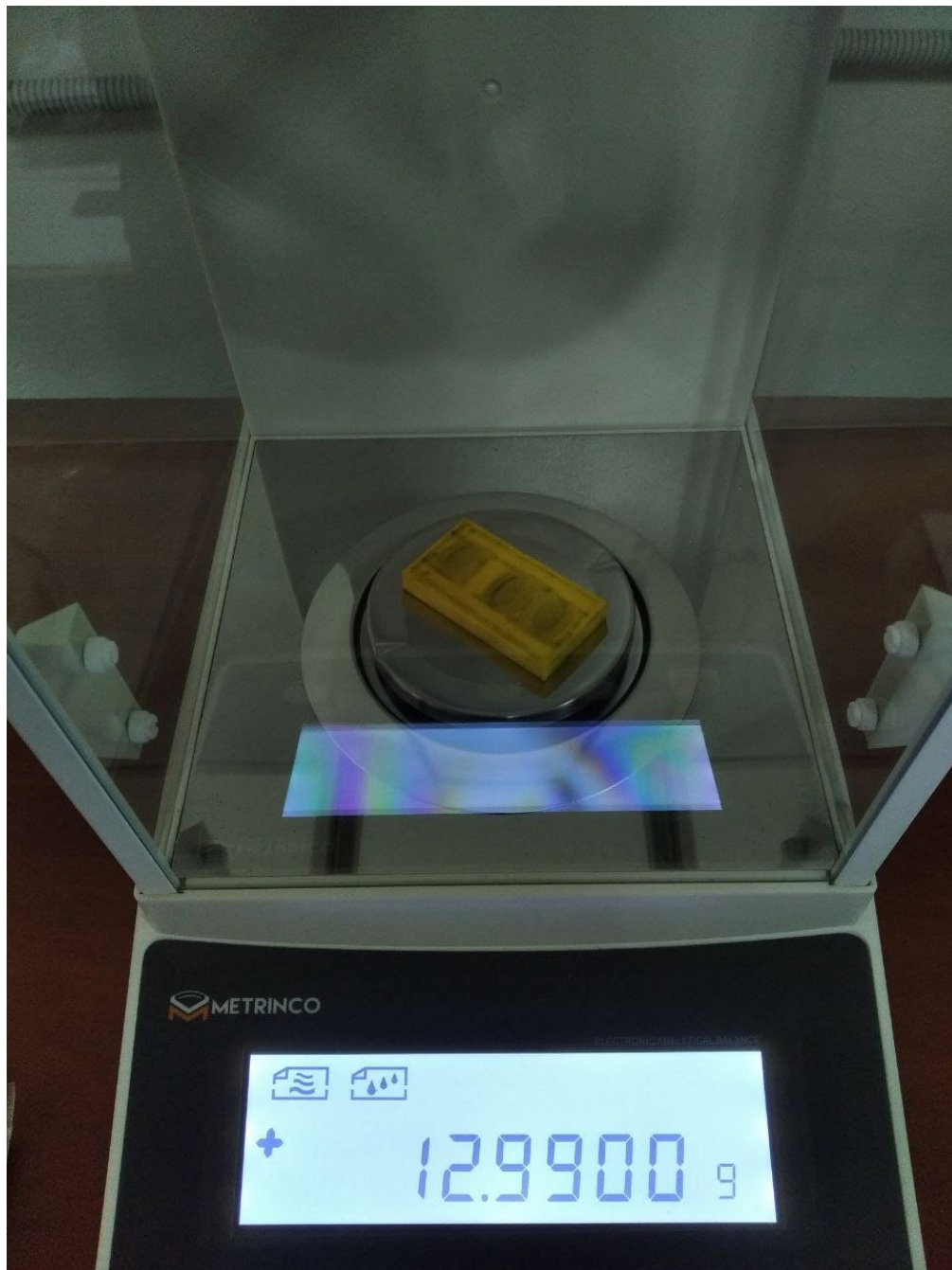


Рисунок 3.3 – Визначення маси зразку Elasthan D100 після примусового зношування не жорстко закріпленими частинками

Кожен зразок після тертя протирали спиртом для видалення залишків продуктів зносу. Загальний вигляд досліджуваних зразків після проведення зношування мали вид, наведений на рис. 3.4.

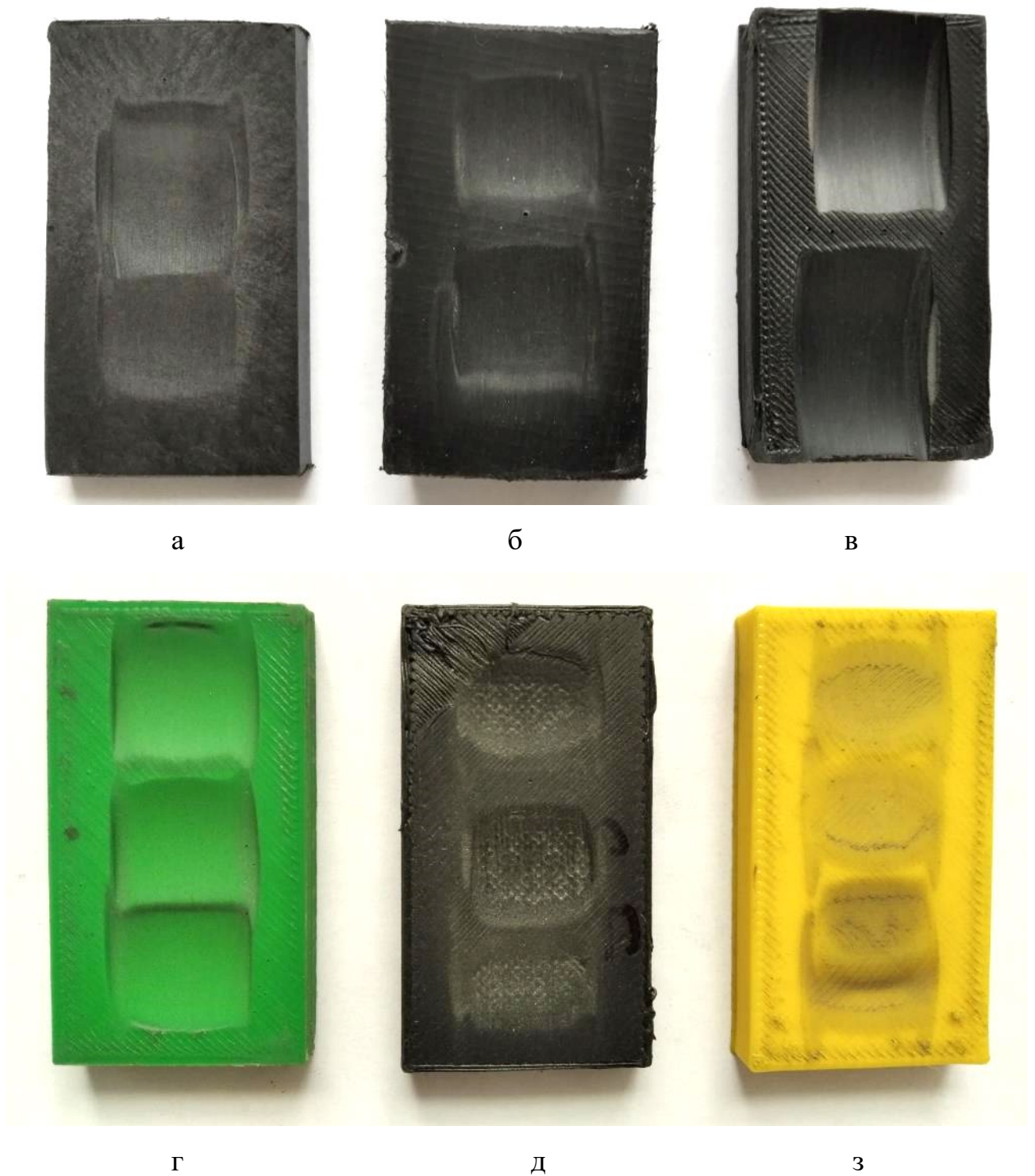


Рис. 3.4 – Загальний вигляд зразків з ПКМ після досліджень на абразивне зношування: а – ВПА-6-15; б – ПЕ-1000; в – ABS+; г – PLA; д – Nylon CCF; з – Elasthan D100

На основі візуального аналізу характеру пошкоджень поверхонь тертя (рис. 3.4) зразків після тертя, очевидним є те, що суттєво більший знос має

зразок із матеріалу ABS+. У матеріалу Elastan D100 спостерігається відокремлення так званих «ниток» матеріалу, так як цей матеріал при терті не кришиться на малі частинки, а розпорошується на волокна. При цьому, такий ефект спостерігається тільки на периферії зони тертя, в той час як в основній частині, поверхня тертя гладка.

Одержані результати щодо втрати маси всіх досліджуваних матеріалів при примусовому їх зношуванні за однакових умов представлені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати визначення зносу досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва досліджуваного матеріалу	$m_{\text{поч.}}, \text{Г}$	$m_{\text{кінц.}}, \text{Г}$	$\Delta m, \text{Г}$	Середня величина зносу $\Delta m_{\text{сер}}, \text{Г}$
1	ВПА-6-15	9,0497	8,9197	0,1300	0,1266
2		8,9197	8,7968	0,1229	
3		8,7968	8,6698	0,1270	
4	ПА-6+15ГР	8,4814	8,3891	0,0923	0,0853
5		8,3891	8,3186	0,0705	
6		8,3186	8,2256	0,0930	
7	ПЕ-1000	16,6018	16,5545	0,0473	0,0521
8		16,5545	16,5059	0,0486	
9		16,5059	16,4455	0,0604	
10	ABS+	11,3984	10,6781	0,7203	0,7457
11		10,6781	9,8997	0,7784	
12		9,8997	9,1613	0,7384	
13	PLA	12,4302	12,1957	0,2345	0,2278
14		12,1957	11,9722	0,2235	
15		11,9722	11,7469	0,2253	
16	Elastan D100	13,0892	13,0564	0,0328	0,0331
17		13,0564	13,0181	0,0383	
18		13,0181	12,99	0,0281	
19	Nylon CCF	11,4100	11,3541	0,0559	0,0613
20		11,3541	11,3011	0,0530	
21		11,3011	11,2260	0,0751	

Відповідно до одержаних даних величини зносу (табл. 3.3), очевидним є що деякі матеріали фактично не можуть працювати в режимі абразивного зношування. Найбільший знос мали матеріал ABS+ та PLA. Для матеріалу ABS+ зафіксовано найбільший знос – 0,746 г, що в десятки разів вище у порівнянні з більшістю досліджуваних зразків. Тому, можна зробити однозначний висновок, щодо неможливості використання цього матеріалу в умовах дії абразивного середовища.

Окрім величини зносу, необхідно враховувати й густину матеріалів, що досліджуються. Для порівняння матеріалів щодо їх здатності працювати в абразивному середовищі визначимо їх відносну абразивну стійкість. Для цього необхідно обрати один із матеріалів в якості еталону, та прийняти його відносну абразивну стійкість рівну 1. Тема дипломної роботи пов'язана із обґрунтуванням матеріалів, для робочих органів плугів. Відвали для цих ґрунтообробних машин вже почали виготовляти з матеріалів типу ПЕ-1000 (500), тому за еталонний зразок обираємо матеріал ПЕ-1000. Таким чином, можна буде визначити, які матеріали мають вищу абразивну стійкість, а які поступаються у цьому показнику еталонному матеріалу.

Результати визначення відносної абразивної стійкості наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Відносна абразивна стійкість досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	$\Delta m_{\text{сер}}, \text{Г}$	$\rho, \text{г/см}^3$	Відносна абразивна стійкість
1	ВПА-6-15	0,1266	1,216	0,67
2	ПА-6+15ГР	0,0853	1,222	0,80
3	ПЕ-1000	0,0521	0,930	1,00
4	ABS+	0,0331	1,061	0,08
5	PLA	0,2278	1,260	0,31
6	Elastan D100	0,0331	1,177	1,99
7	Nylon CCF	0,0613	1,028	0,94

Одержані результати (табл. 3.4) вказують на однозначне лідерство щодо абразивної зносостійкості серед досліджуваних матеріалів має Elastan D100. Досліджуваний показник вказаного матеріалу майже вдвічі перевищує значення еталонного матеріалу, а саме ПЕ-1000.

Результати наведені у табл. 3.4 зобразимо у вигляді гістограми у спадаючій тенденції на рис. 3.5.

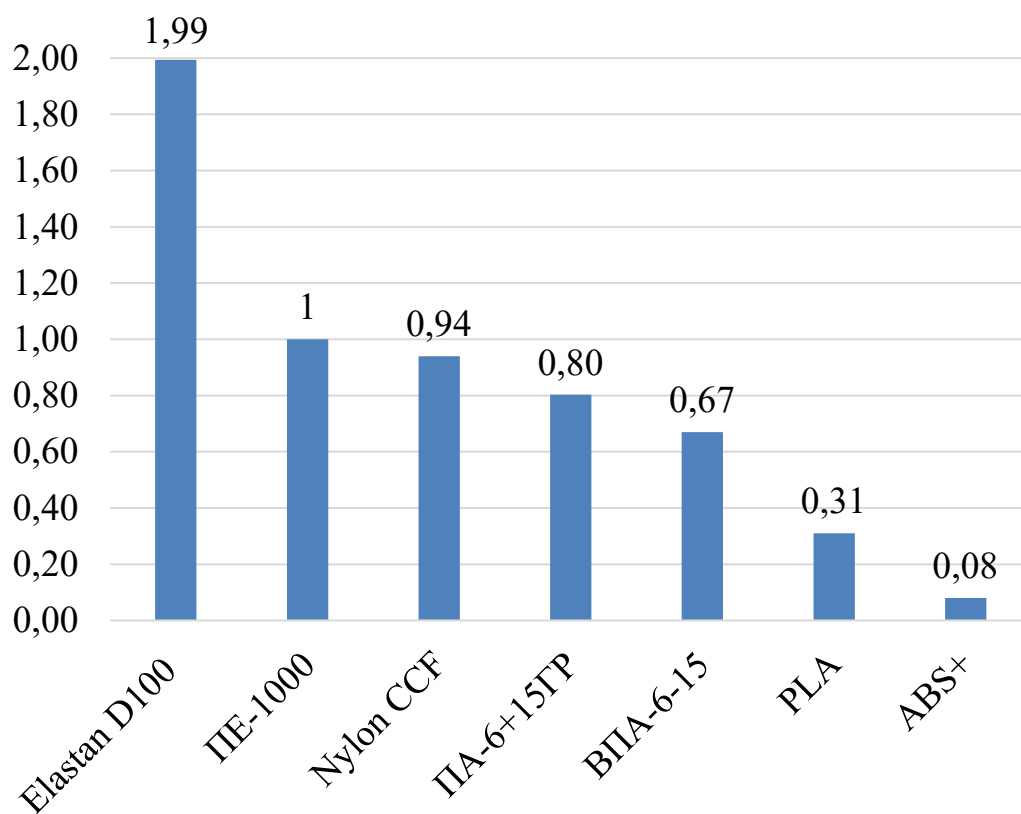


Рисунок 3.5 – Відносна абразивна стійкість обраних полімерних матеріалів

Найменшу відносну стійкість, при роботі в абразивному середовищі, має матеріал ABS+, всього 0,08 або 8 % від досліджуваної величини матеріалу ПЕ-1000. Матеріал Nylon CCF має відносну абразивну стійкість дуже близьку до обраного еталонного матеріалу. Найбільше значення визначеного показника зафіксовано у матеріалу Elastan D100 – 1,99. Значно менші показники одержано при дослідженні матеріалів на основі поліаміду 6, ВВ та графіту – ПА-6-15ГР та ВПА-6-15, 0,80 та 0,67 відповідно.

Встановлено, що найбільшу відносну абразивну стійкість має матеріал, Elastan D100 – 1,99, що перевищує показник еталонного зразку майже вдвічі.

Матеріал для 3Д друку, на основі Nylon та вуглецевого волокна, має вказаний показник менший всього на 6%. Матеріали ABS+ PLA мають низькі показники щодо зносостійкості, тому їх не рекомендується використовувати у якості конструкційних матеріалів для деталей механізмів, що працюють в умовах взаємодії з абразивними частинками.

Висновки до розділу. Встановлено, що найбільше значення напруження текучості серед обраних матеріалів мають матеріали ВПА-6-15 та PLA, 97,7 МПа та 88,9 МПа відповідно. В якості наповнювача в ВПА-6-15 є ВВ, що має значно вищі показники міцності та забезпечує ефект армування матриці полімерного матеріалу. Найменше значення межі текучості зафіксовано для матеріалу ПЕ-1000 – всього 19,0 МПа. При цьому, слід зазначити, що для матеріалів які працюють за умови постійної взаємодії з абразивним середовищем, міцнісні показники є другорядними. Виявлено, що найбільшу твердість, серед досліджуваних матеріалів має матеріал для 3Д друку PLA – 85,3 (Шор D). Трохи менше значення твердості зафіксовано для матеріалу на основі поліаміду та ВВ (ВПА-5-15) – 84,5 (Шор D). Найменше значення твердості одержано при дослідженні матеріалу Elasthan D100.

Визначено, що відносна абразивна стійкість матеріалу ABS+, становить всього 0,08 або 8 % від досліджуваної величини еталонного матеріалу ПЕ-1000. Матеріал Nylon CCF має відносну абразивну стійкість дуже близьку до обраного еталонного матеріалу. Найбільше значення визначеного показника зафіксовано у матеріалу Elasthan D100 – 1,99. Одержані результати досліджень, дозволяють стверджувати, що матеріали ABS+ PLA не рекомендується використовувати у якості конструкційних матеріалів для деталей механізмів, що працюють в умовах взаємодії з абразивними частинками.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні положення охорони праці

Виготовлення зразків та деталей з КМ пов'язано із використанням обладнання та устаткування, що можуть мати негативний вплив на здоров'я обслуговуючого персоналу або загрожувати їх життю. Тому, при виконанні таких робіт обов'язковим є суворе дотримання вимог охорони праці. «Охороною праці називають систему правових, організаційно-технічних, соціально-економічних та інших заходів та засобів, що спрямовані на збереження життя, здоров'я та працездатності у межах трудової діяльності» [20]. В процесі переробки деяких КМ виділяються шкідливі речовини, які при перевищенні гранично допустимих концентрацій, можуть мати небезпечний вплив на працездатність або здоров'я персоналу.

Для мінімізації впливу шкідливих чи небезпечних факторів необхідно дотримуватися основних положень щодо забезпечення необхідних умов праці за допомогою організаційних заходів та технічних засобів. «Небезпечним виробничий фактором називають такий чинник процесу трудової діяльності та виробничого середовища, вплив якого на людину за певних умов може стати причиною травми або іншого раптового погіршення здоров'я» [21]. Фактор, вплив якого, при недотриманні норм гігієни може призвести до погіршення самопочуття, стану здоров'я чи навіть набуття професійного захворювання називається шкідливим виробничим фактором.

4.2 Вимоги безпеки при проведенні науково-дослідних робіт

Загальні вимоги. До виконання науково-дослідних робіт допускаються здобувачі, що пройшли вступний інструктаж та інструктаж на робочому місці з обов'язковим внесенням записів у спеціальному журналі обліку інструктажів.

Перебування у лабораторії без відповідального виконавця робіт забороняється, навіть у випадку вимкнених дослідних установок та обладнання.

Основні вимоги безпеки праці перед початком дослідних робіт. Перед початком науково-дослідних робіт відповідальний викладач повинен ознайомити здобувачів із основними принципами роботи обладнання та порядком проведення досліджень. Обов'язковим етапом є вказання потенційних шкідливих та небезпечних факторів, що можуть бути присутні при роботі устаткування та обладнання. Особливу увагу слід приділити способам та засобам, що застосовуються для мінімізації негативного впливу на працівників (виконавців).

Наступним етапом перед початком роботи є виконання зовнішнього огляду обладнання, інструменту та засобів індивідуального захисту. Використання особистих інструментів, та речей при проведенні досліджень заборонено. Початок роботи дозволяється тільки за умови погодження конкретних робіт з відповідальною особою.

Основні вимоги безпеки при виконанні робіт. Можна починати виконувати тільки ті роботи, що узгоджені із відповідальною особою (викладачем або лаборантом). Забороняється самостійно виконувати регульовальні роботи або усувати несправності та відмови обладнання та устаткування. У випадку травмування здобувачеві необхідно терміново повідомити про це лаборанта або відповідальну особу. Переміщення в лабораторії дозволяється тільки відповідно до спеціальних відведених проходів та схем руху, що можуть бути нанесені на підлогу. Забороняється опиратися на захисні огороження, працююче обладнання та чіпати руками чи ногами електричні дроти та кабелі обладнання лабораторії. Не дозволяється виконувати усунення несправностей в електромережі, як обладнання, так і освітлювальних приладів. Особливу увагу необхідно звертати на спеціальні попереджувальні знаки про потенційну небезпеку в тих чи інших робочих зонах наукової лабораторії.

Вимоги безпеки по завершенню робіт. У випадку зафіксованих несправностей обладнання або відхилень в їх режимах роботи необхідно занести записи до журналів обліку. Робоче місце повинно бути звільнене від зайвого інструменту чи предметів. Після закінчення робіт обов'язково необхідно прибрати робочу зону від забруднень чи залишків дослідних зразків.

Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях. У випадку відхилень від нормального режиму роботи обладнання необхідно терміново припинити роботу та повідомити про це відповідального викладача. При виявленні ознак горіння чи тління, необхідно повідомити про це лаборанта або викладача та за умови необхідності почати гасіння пожежі первинними засобами, що є в наявності в науково-дослідній лабораторії.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Оцінити ефективність використання різних конструкційних матеріалів для відвалів плугів можна шляхом порівняння вартості базового матеріалу та запропонованого до використання. В якості базового матеріалу обираємо матеріал ПЕ-1000, а в якості запропонованого до використання матеріал, що має найбільшу зносостійкість – Elastan D100.

Запропонований матеріал Elastan D100 будемо порівнювати із стандартним композитним – ПЕ-1000. Також смугові накладки на відвали плугів можна виготовляти методом 3Д друку. Проте вартість 3Д принтерів, які б забезпечували необхідні розміри – до 1000 мм поки що досить висока. Тому, в дипломній роботі розглянемо вартість окремих смуг для одного корпусу відвалу плуга Lemken. Необхідність використання накладок також обумовлено високою вартістю стандартних елементів відвалу зі сталі, для відвалу плугу Lemken вона становить від 6500 грн до 7800 грн за кожен із чотирьох смуг.

В програмному забезпеченні SOLIDWORKS створено 3Д моделі смуг, що входять в комплект одного відвалу плуга Lemken (рис. 5.1).

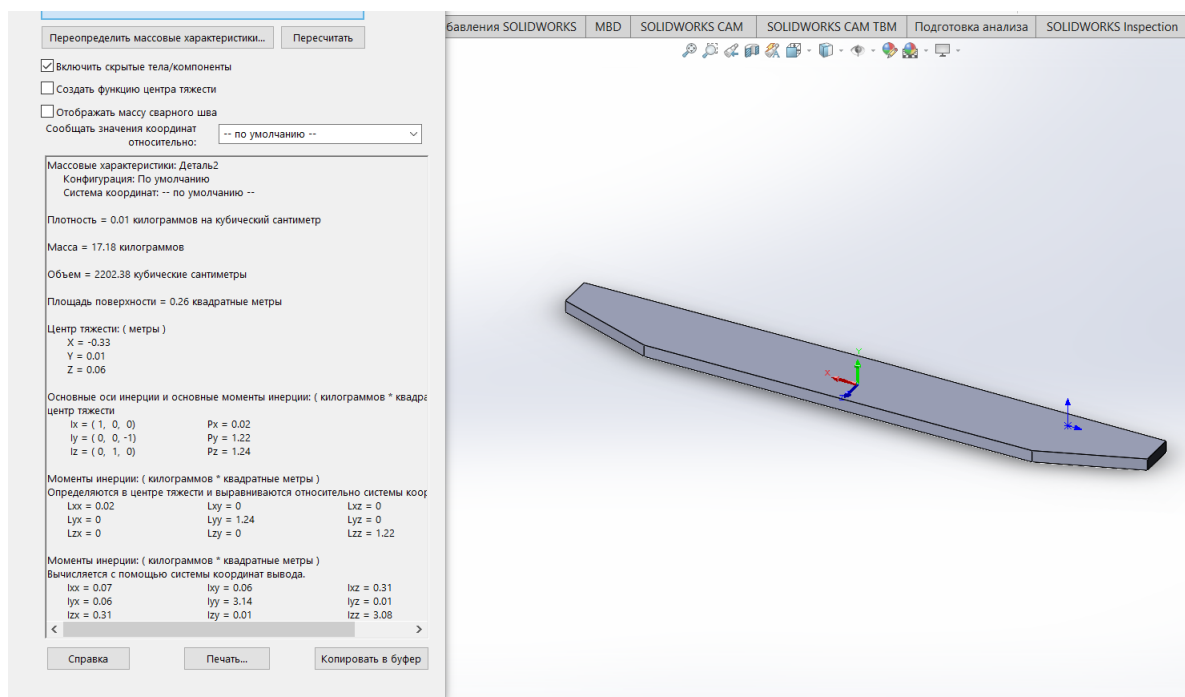


Рисунок 5.1 – Проектування моделей смуг із композитних матеріалів для плуга Lemken

На основі створених 3Д моделей визначено об'єм всіх смуг, що склали:

- №1, 670x60x20 (Lemken 3444020) – 804 см³;
- №2, 956x60x20 (Lemken 3444030) – 1147 см³
- №3, 564x120x20 (Lemken 3444010R) – 1344 см³
- №4, 990x116x20 (Lemken 3444010R) – 2202 см³

Густина обраного матеріалу приймаємо 1,18 г/ см³, таким чином можна визначити масу смуг, що потрібні для встановлення на один відвал плуга. З врахуванням вище вказаного отримаємо таку масу смуг: 1 – 0,95 кг; 2 – 1,11 кг; 3 – 1,56 кг; 2,59 кг.

Враховуючи, що вартість обраного матеріалу у готових листах товщиною 20 мм становить 470 грн/кг, виконаємо розрахунки щодо собівартості смуг із композитного матеріалу. Результати розрахунків заносимо до таблиці 5.1. Вартість смуг-накладок із матеріалу ПЕ-1000 у таблиці взято із сайту виробника [23].

Для запропонованого варіанту, окрім затрат на закупівлю матеріалу, необхідно врахувати затрати на виготовлення смуг-накладок відповідно до їх креслень. Дані затрати будемо розраховувати шляхом визначення витрат часу на виконання слюсарних робіт та нормативної годинної ставки слюсаря.

Час на виконання робіт із вирізання (виготовлення) смуг-накладок приймаємо у обсязі: №1 – 25 хв.; №2 – 25 хв.; №3 – 28 хв.; №4 – 30 хв. У дані витрати часу входить час на виконання розмітки на листі композитного матеріалу та безпосередньо вирізання смуги та виконання отворів для кріплення смуги до відвалу. Годинну тарифна ставка слюсаря приймаємо 80 грн/год.

З врахування вище наведених даних отримаємо загальні витрати часу на виготовлення смуг-накладок:

$$t_{\text{виг.смуг}} = 25 + 25 + 28 + 30 = 108 \text{ хв} = 1,8 \text{ год}$$

Отже затрати на оплату праці персоналу для виготовлення смуг-накладок буде становити:

$$ЗП_{\text{виг.смуг}} = 1,8 \cdot 80 = 144 \text{ грн}$$

Результати розрахунків вартості смуг-накладок для одного корпусу плуга

Таблиця 5.1

Визначення вартості елементів робочих органів відвалу плугу Lemken EurOpal 7 (смуг-накладок із композитного матеріалу)

Показник	Базовий матеріал (ПЕ-100)	Запропонований (Elastan D100)
Вартість комплекту смуг-накладок на один відвал плуга, грн.	4995	2919
в тому числі:		
№1 (Lemken 3444020)	950	447
№2 (Lemken 3444030)	1185	522
№3 (Lemken 3444010R)	1320	733
№4 (Lemken 3444010R)	1540	1217
Затрати на виготовлення смуг-накладок (комплект на один відвал), грн	-	144
Загальна вартість комплекту смуг-накладок на один відвал плуга, грн	4995	3063
Економічний ефект, у розрахунку на 1 відвал плуга, грн		1932
Економічний ефект із врахування удвічі вищої зносостійкості обраного матеріалу, грн/1 відвал		3864

Висновки до розділу. Одержані результати (табл. 5.1) свідчать, що виготовлення та використання смуг-накладок на відвали плугу Lemken дозволяє одержати економічний ефект 3864 грн у розрахунку на один відвал. Якщо враховувати загальну можливу кількість корпусів плуга Lemken EurOpal 7 – 10 шт. (плуг оборотний, по 5 корпусів в ряду), то економічний ефект становитиме – 38640 грн. Встановлено, що використання накладок, із запропонованого матеріалу, дозволяє не тільки забезпечити більший ресурс у порівнянні з матеріалу ПЕ-1000, а й суттєвий економічний ефект.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур спрямовані на зменшення негативного впливу техніки на ґрунт, водночас підвищуючи ефективність виробництва. Традиційна оранка залишається важливим методом обробітку ґрунту при вирощуванні соняшнику та кукурудзи на зерно. Дослідженнями доведено, що оранка забезпечує приріст врожайності для кукурудзи на зерно, в середньому на 15...19 %, у порівнянні з мінімальним обробітком ґрунту. Схожа тенденція спостерігається і при вирощуванні соняшнику, застосування полицевого обробітку ґрунту дозволяє отримати приріст врожайності для різних умов вирощування та гідридів в межах 6,5...10 %.

Проведений аналіз конструкцій плугів дозволив встановити, що для зниження тягового опору та підвищення ефективності плугів розробляються нові конструкції, зокрема з використанням смугових елементів замість суцільного відвалу. Додатково виготовлення деталей із композиційних матеріалів, таких як поліетилен, дозволяє додатково зменшити тяговий опір і покращити якість роботи. Однак, дослідження інших видів композиційних недостатньо розглядаються.

2. Розроблена програма виконання робіт, наведено перелік обладнання та методики, що застосовуються при проведенні досліджень конструкційних матеріалів.

3. Встановлено, що найбільше значення напруження текучості серед обраних матеріалів мають матеріали ВПА-6-15 та PLA, 97,7 МПа та 88,9 МПа відповідно. В якості наповнювача в ВПА-6-15 є ВВ, що має значно вищі показники міцності та забезпечує ефект армування матриці полімерного матеріалу. Найменше значення межі текучості зафіксовано для матеріалу ПЕ-1000 – всього 19,0 МПа. При цьому, слід зазначити, що для матеріалів які працюють за умови постійної взаємодії з абразивним середовищем, міцнісні показники є другорядними. Виявлено, що найбільшу твердість, серед

досліджуваних матеріалів має матеріал для 3Д друку PLA – 85,3 (Шор D). Трохи менше значення твердості зафіксовано для матеріалу на основі поліаміду та ВВ (ВПА-5-15) – 84,5 (Шор D). Найменше значення твердості одержано при дослідженні матеріалу Elastan D100.

Визначено, що відносна абразивна стійкість матеріалу ABS+, становить всього 0,08 або 8 % від досліджуваної величини еталонного матеріалу ПЕ-1000. Матеріал Nylon CCF має відносну абразивну стійкість дуже близьку до обраного еталонного матеріалу. Найбільше значення визначеного показника зафіксовано у матеріалу Elastan D100 – 1,99. Одержані результати досліджень, дозволяють стверджувати, що матеріали ABS+ PLA не рекомендується використовувати у якості конструкційних матеріалів для деталей механізмів, що працюють в умовах взаємодії з абразивними частинками.

4. Розглянуто загальні положення охорони праці та вимоги безпеки при проведенні науково-дослідних робіт.

5. Одержані результати економічної оцінки роботи свідчать, що виготовлення та використання смуг-накладок на відвали плугу Lemken дозволяє одержати економічний ефект 3864 грн у розрахунку на один відвал. Якщо враховувати загальну можливу кількість корпусів плуга Lemken EurOpal 7 – 10 шт. (плуг оборотний, по 5 корпусів в ряду), то економічний ефект становитиме – 38640 грн. Встановлено, що використання накладок, із запропонованого матеріалу, дозволяє не тільки забезпечити більший ресурс у порівнянні з матеріалу ПЕ-1000, а й суттєвий економічний ефект.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маслійов С.В., Шевченко А.М., Маслійов Є.С. Вплив обробітку ґрунту на ріст, розвиток та урожайність розлусної кукурудзи. Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво. Таврійський науковий вісник №116. С. 14-21.
2. Коваленко І.М., Масик І.М. Вплив технології вирощування кукурудзи на зерно на урожайність та економічну ефективність в умовах лівобережного Лісостепу України. Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво. Таврійський науковий вісник № 99. С. 67-76.
3. Думич В., Бова Д., Крупич О. Вплив систем обробітку ґрунту на ефективність вирощування кукурудзи на зерно. Новітні технології в АПК: дослідження та управління. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки та технологій для сільського господарства України. Випуск 31 (45). С. 169-178.
4. Циліорик О.І. Вплив мульчувального обробітку ґрунту на живлення соняшнику. Журнал Агроном. 2022.
5. Маслійов С.В., Степанов В.В., Зіновий О.Б. Вплив основного обробітку ґрунту на продуктивність соняшнику в умовах Луганської області. Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво. Таврійський науковий вісник № 112. С. 111-115.
6. Оборотний плуг Lemken Vari Titan <https://www.mascus.com.ua/selhoztehnika/oborotnye-plugi/lemken-vari-titan-10-x-6-3-l-100/s8w4y9w6.html>
7. Корпуси до плугів Lemken. <https://lemken.com/innovacionnye-mashiny/obrabotka-pochvy/vspashka/oborudovanie/korpus-pluga>
8. Ґрунтообробна техніка John Deere. <https://www.deere.ua>
9. Плуг Kverneland 150 B. <http://euro-plyg.com.ua/kverneland/kverneland-150-b>

10. Плуг напівначіпний оборотний MULTI-LEADER XT
<https://www.kuhn.ua/roslynnytstvo/obrobitok-gruntu/pluhy/napivnavisni-oborotni-pluhy/multi-leader-xt>

11. Плуги оборотні відвальні навісні, серії ПОН та ПОНМ
<https://veles.agro-st.com.ua/PONm/>

12. Плуги оборотні Уманьфермаш <https://fermmash.in.ua/product-category/pluhy/>

13. Навісні оборотні плуги серії «Майстер»
<https://optikon.ua/product/navisni-oborotni-plugi-serii-majster>

14. В.В. Аулін, А.А. Тихий, С.О. Карпушин, Д.А. Деревянко. Підвищення енергоефективності обробітку ґрунту зменшенням процесів його налипання на поверхні робочих органів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 2019, вип. 2(33). С. 3-16.

15. Аулін В.В., Тихий А.А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія. Кропивницький: Вид. Лисенко В.Ф. 2017. 279 с.

16. Деркач О.Д., Кабат О.С., Макаренко Д.О., Харченко Б.Г. Обґрунтування полімерних матеріалів для використання у конструкціях плугів. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки». – Кропивницький. – 2020. Вип. 3 (34). – С. 102-107

17. Кобець А.С., Деркач О.Д., Кабат О.С., Макаренко Д.О., Аулін В.В., Муранов Є.С., Шаповал О.М. IDENTIFICATION OF “TEKRONE” MATERIAL AND JUSTIFICATION OF ANALOGUES FOR MANUFACTURING MOULDBOARD PLOUGHS. Agricultural Machinery 2019. International scientific congress. 26-29.06.2019, Burgas, Bulgaria. Year III. Volume 1. Agricultural Machines. Research and testing. New machine designs. – 2019. – P. 35-38.

18. Макаренко Д. О. Підвищення довговічності паралелограмного механізму посівних комплексів зміною конструкції рухомих з'єднань: Дис..

канд. техн. наук: 05.05.11. – Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2018. – 185с.

19. Деркач, О.Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Тернопіль, 2006. – 182с.

20. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.

21. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 N 2245-III

22. НПАОП 25.0-1.02-13. Правила охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами

23. Перо відвалу (HDPlast) Lemken 3444010R
<https://hdplast.com.ua/agro/zapasni-chastyny-do-silgosptekhniky/gruntoobrobka/pero-vidvalu-hdplast-lemken-3444010r/>

ДОДАТКИ

Додаток А – Демонстраційний матеріал до дипломної роботи

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**Підвищення зносостійкості робочих органів плугів
виготовлених з полімерних матеріалів**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-23

Голенко Станіслав Юрійович

Керівник: к.т.н., доцент

Макаренко Дмитро Олександрович

ДНІПРО 2024

Продовження додатку А

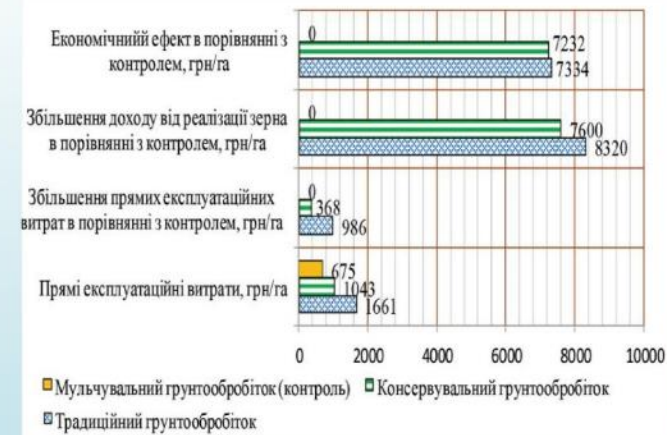
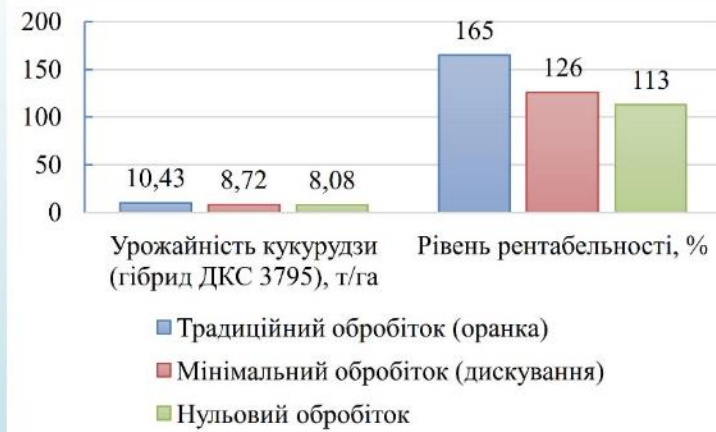


Рис. 1 – Ефективність використання різних способів обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно [2, 3]

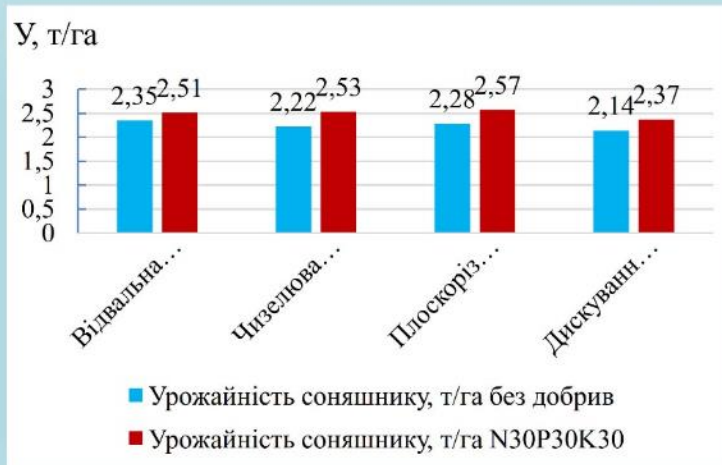


Рис. 2 – Залежність урожайності гібриду соняшнику «Ясон» від способу обробітку ґрунту та внесення добрив [4]

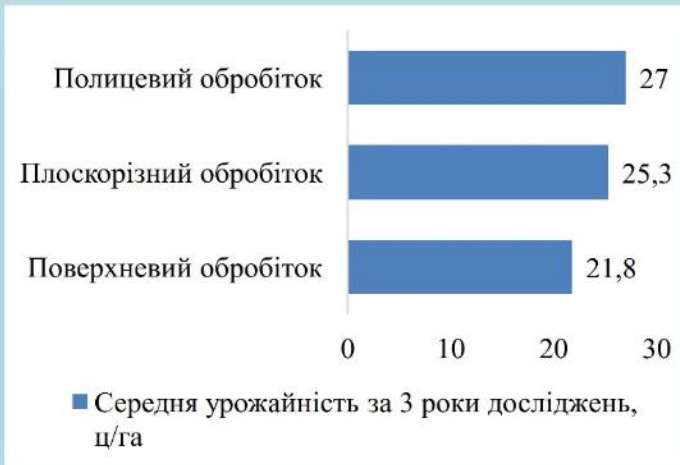


Рис. 3 – Залежність врожайності гібриду соняшнику «Тиса» від способу обробітку ґрунту [5]

Продовження додатку А



Рис. 4 – Плуг Vari Titan виробника Lemken з різними типами відвалів

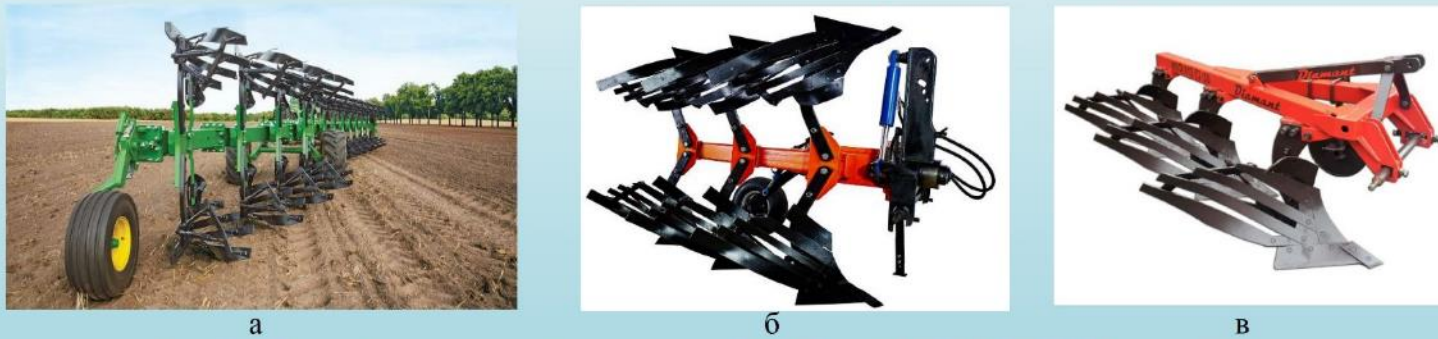


Рис. 5 – Плути із смуговими відвалами: а – John Deere 3810; б – ПО-3-35+; в – Diamant



Рис. 6 – Плути з суцільними відвалами: а – Kverneland 150 B; б – John Deere 3810; в – Rabe Werk 100

Шляхи зменшення тягового опору плугів – застосування конструкційних пластиків

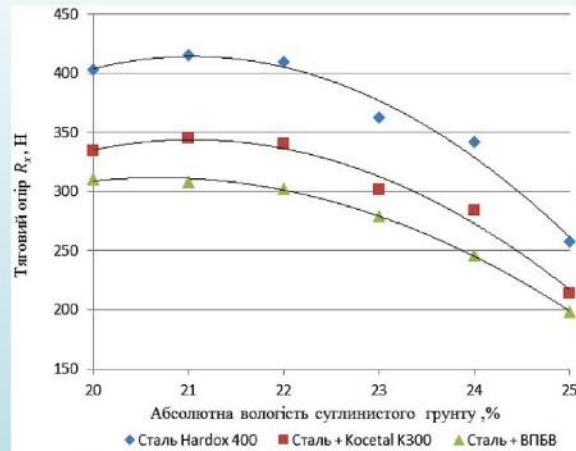


Рис. 7 – Залежність тягового опору від складу матеріалу поверхні робочого органу розпушувача та вологості ґрунту



Рис. 8 – Плуг із встановленими відвалами з поліетилену PE-500 та PE-1000



Рис. 9 – Смуговий відвал плуга із накладками з композитного матеріалу

Метою роботи є обґрунтування оптимальних конструкційних матеріалів (в тому числі одержаних методом 3Д-друку) для виготовлення відвалів робочих органів плугів чи елементів їх робочих органів.

Для досягнення мети необхідно виконати такі задачі:

- Провести аналіз впливу системи обробітку ґрунту на врожайність деяких культур. Виконати огляд та аналіз конструкцій полицевих плугів та технічних рішень щодо зменшення їх тягового опору.
- Розробити програму робіт, обладнання та методики проведення досліджень.
- Проаналізувати результати досліджень абразивної стійкості обраних композитних матеріалів та обґрунтувати оптимальний матеріал для відвалів плугів або елементів їх конструкції.
- Розглянути вимоги безпеки праці при виконанні досліджень.
- Навести економічну оцінку дипломної роботи.

Продовження додатку А

Обладнання для підготовки вихідних матеріалів та виготовлення експериментальних зразків



Рис. 10 – Вихідні матеріали для 3D друку



Рис. 11 – Термошафа СНОЛ 58/350

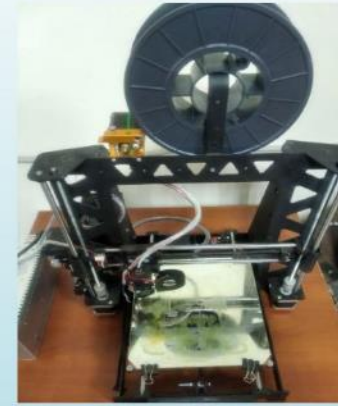


Рис. 12 – 3D принтер



Рис. 13 – Машина для лиття ПКМ під тиском та прес-форми одержання експериментальних зразків

Обладнання для проведення досліджень



Рис. 14 – Випробувальна машина FP-100

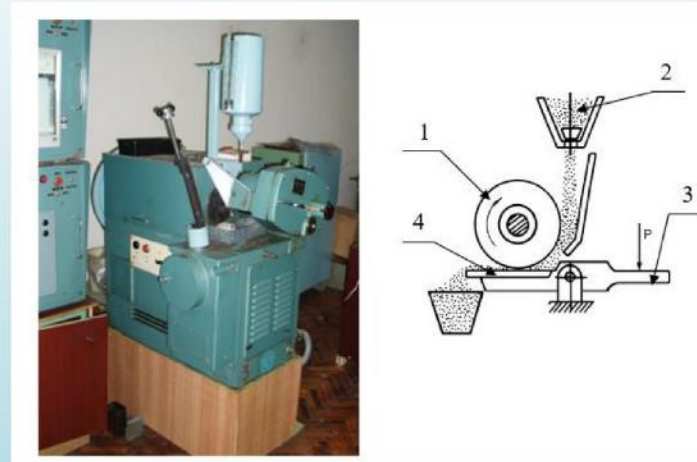


Рис. 15 – Машина СМЦ-2 з обладнанням для абразивного зношування матеріалів



Рис. 16 – Аналітичні терези ВЛР-200



Рис. 17 – Аналітичні терези METRINCO AB224



Рис. 18 – Цифровий твердомір WALCOM HT-6510D

Продовження додатку А

Результати досліджень

Табл. 1 – Міцнісні характеристики досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Межа текучості при стиску, МПа	Міцність на розтяг*, МПа
1	ВПА-6-15	88,9	-
2	ПА-6+15ГР	72,1	-
3	ПЕ-1000	19,0	-
4	ABS+	47,5	40
5	PLA	97,7	51
6	Elastan D100		68
7	Nylon CCF		60

* – результати взято із інформації наданої виробником матеріалів

Табл. 2 – Результати визначення твердості досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Твердість, Шор D					Середнє значення
		1	2	3	4	5	
1	ВПА-6-15	85,8	84,7	82,9	85,4	83,7	84,5
2	ПА-6+15ГР	74,2	74,9	76,3	75,8	76,1	75,5
3	ПЕ-1000	70,1	70,2	70,8	70,9	71,1	70,6
4	ABS+	79,6	80,0	77,4	78,7	80,2	79,2
5	PLA	88,3	82,2	86,4	84,1	85,4	85,3
6	Elastan D100	65,5	62,2	64,5	63,5	63,1	63,8
7	Nylon CCF	73,4	70,9	64,8	66,5	71,9	69,5

Результати досліджень

Табл. 3. – Результати визначення густини досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	$m_{\text{пов}}, \text{г}$	$m_{\text{в}}, \text{г}$	$\rho, \text{г/см}^3$
1	ВПА-6-15	9,04710	1,60780	1,216
2	ПА-6-15ГР	8,47325	1,54025	1,222
3	ПЕ-1000	16,59770	-	0,930*
4	ABS+	11,39570	0,65280	1,061
5	PLA	12,42950	2,56585	1,260
6	Elastan D100	13,08770	1,96590	1,177
7	Nylon CCF	11,40390	0,31285	1,028

* – густина визначена шляхом ділення маси на визначений об'єм зразку на основі вимірювань його розмірів, так як він не тонує у воді.



Рис. 19 – Загальний вид зразків після примусового абразивного зносу (зразки розташовані у порядку відповідно до табл. 3)

Результати досліджень

Табл. 4 – Результати визначення відносної абразивної стійкості матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	$\Delta m_{сер}$, г	ρ , г/см ³	Відносна абразивна стійкість
1	ВПА-6-15	0,1266	1,216	0,67
2	ПА-6+15ГР	0,0853	1,222	0,80
3	ПЕ-1000	0,0521	0,930	1,00
4	ABS+	0,0331	1,061	0,08
5	PLA	0,2278	1,260	0,31
6	Elastan D100	0,0331	1,177	1,99
7	Nylon CCF	0,0613	1,028	0,94

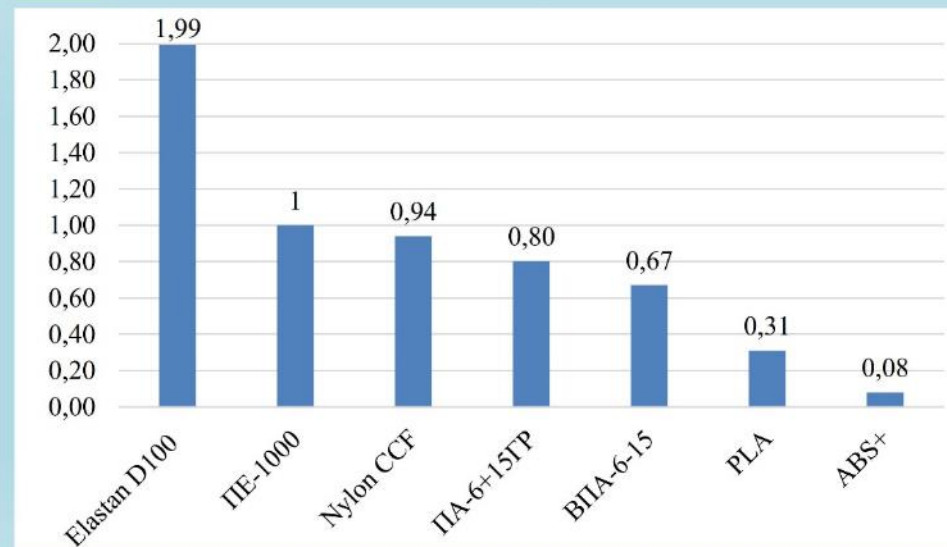


Рис. 20 – Відносна абразивна стійкість досліджуваних матеріалів

Продовження додатку А

Техніко-економічні показники роботи

Вартість елементів робочих органів відвалу плугу Lemken EurOpal 7
(смуг-накладок із композитного матеріалу)

Показник	Базовий матеріал (ПЕ-100)	Запропонований (Elastan D100)
Вартість комплекту смуг-накладок на один відвал плуга, грн.	4995	2919
в тому числі:		
№1 (Lemken 3444020)	950	447
№2 (Lemken 3444030)	1185	522
№3 (Lemken 3444010R)	1320	733
№4 (Lemken 3444010R)	1540	1217
Затрати на виготовлення смуг-накладок (комплект на один відвал), грн	-	144
Загальна вартість комплекту смуг-накладок на один відвал плуга, грн	4995	3063
Економічний ефект, у розрахунку на 1 відвал плуга, грн		1932
Економічний ефект із врахування удвічі вищої зносостійкості обраного матеріалу, грн/1 відвал		3864

Висновки

- Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур спрямовані на зменшення негативного впливу техніки на ґрунт, водночас підвищуючи ефективність виробництва. Традиційна оранка залишається важливим методом обробітку ґрунту при вирощуванні соняшнику та кукурудзи на зерно. Дослідженнями доведено, що оранка забезпечує приріст врожайності для кукурудзи на зерно, в середньому на 15...19 %, у порівнянні з мінімальним обробітком ґрунту. Схожа тенденція спостерігається і при вирощуванні соняшнику, застосування полицевого обробітку ґрунту дозволяє отримати приріст врожайності для різних умов вирощування та гідридів в межах 6,5...10 %.
- Проведений аналіз конструкцій плугів дозволив встановити, що для зниження тягового опору та підвищення ефективності плугів розробляються нові конструкції, зокрема з використанням смугових елементів замість суцільного відвалу. Додатково виготовлення деталей із композиційних матеріалів, таких як поліетилен, дозволяє додатково зменшити тяговий опір і покращити якість роботи. Однак, дослідження інших видів композиційних недостатньо розглядаються.
- Розроблена програма виконання робіт, наведено перелік обладнання та методики, що застосовуються при проведенні досліджень конструкційних матеріалів.
- Встановлено, що найбільше значення напруження текучості серед обраних матеріалів мають матеріали ВПА-6-15 та PLA, 97,7 МПа та 88,9 МПа відповідно. В якості наповнювача в ВПА-6-15 є ВВ, що має значно вищі показники міцності та забезпечує ефект армування матриці полімерного матеріалу. Найменше значення межі текучості зафіксовано для матеріалу ПЕ-1000 – всього 19,0 МПа. При цьому, слід зазначити, що для матеріалів які працюють за умови постійної взаємодії з абразивним середовищем, міцнісні показники є другорядними. Виявлено, що найбільшу твердість, серед досліджуваних матеріалів має матеріал для 3Д друку PLA – 85,3 (Шор D). Трохи менше значення твердості зафіксовано для матеріалу на основі поліаміду та ВВ (ВПА-5-15) – 84,5 (Шор D). Найменше значення твердості одержано при дослідженні матеріалу Elastan D100.
- Визначено, що відносна абразивна стійкість матеріалу ABS+, становить всього 0,08 або 8 % від досліджуваної величини еталонного матеріалу ПЕ-1000. Матеріал Nylon CCF має відносну абразивну стійкість дуже близьку до обраного еталонного матеріалу. Найбільше значення визначеного показника зафіксовано у матеріалу Elastan D100 – 1,99. Одержані результати досліджень, дозволяють стверджувати, що матеріали ABS+ PLA не рекомендується використовувати у якості конструкційних матеріалів для деталей механізмів, що працюють в умовах взаємодії з абразивними частинками.
- Розглянуто загальні положення охорони праці та вимоги безпеки при проведенні науково-дослідних робіт.
- Одержані результати економічної оцінки роботи свідчать, що виготовлення та використання смуг-накладок на відвали плугу Lemken дозволяє одержати економічний ефект 3864 грн у розрахунку на один відвал. Якщо врахувати загальну можливу кількість корпусів плуга Lemken EurOpal 7 – 10 шт. (плуг оборотний, по 5 корпусів в ряду), то економічний ефект становитиме – 38640 грн. Встановлено, що використання накладок, із запропонованого матеріалу, дозволяє не тільки забезпечити більший ресурс у порівнянні з матеріалу ПЕ-1000, а й суттєвий економічний ефект.