

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Підвищення експлуатаційної надійності культиваторів John Deere**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-2-20 за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Подкін Андрій Сергійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Макаренко Дмитро Олександрович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро – 2021

# ДНІПРОВСЬКИЙ 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)

«    »                      2021 р.

## **ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Подкіну Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1. Тема роботи: Підвищення експлуатаційної надійності культиваторів John Deere**

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

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

затверджені наказом ДДАЕУ від

«17» листопада 2021 року № 3539

- 2. Строк подання студентом роботи 29.11.2021 р.**

- 3. Вихідні дані до роботи. Технічні характеристики машинно-тракторних агрегатів на культивації. Наукові публікації стосовно застосування полімерів в сільськогосподарському машинобудуванні.**

- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальний стан питання. 2. Теоретична частина. 3. Експериментальна частина. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічне обґрунтування роботи. Загальні висновки. Бібліографічний список. Додаток.**

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 - Титульний лист. 2 - Мета, завдання. 3, 4 - Аналіз стану питання. 5,6 - Теоретична частина. 7, 8 – Експериментальна частина. 9 - Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 10. Економічне обґрунтування роботи. 11 - Загальні висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|---|----------------|------------------|
|               |   | завдання видав | завдання прийняв |
| 1             | Макаренко Д.О., доцент                    |                |                  |
| 2             | Макаренко Д.О., доцент                    |                |                  |
| 3             | Макаренко Д.О., доцент                    |                |                  |
| 4             | Кравець В.В., доцент                      |                |                  |
| 5             | Вініченко І.І., зав. каф., проф.          |                |                  |
|               |   |                |                  |
| Нормоконтроль |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання: 10.06.2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту           | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1     | Розділ 1. Загальний стан питання          | до 30.06.2021 р.              |          |
| 2     | Розділ 2. Теоретичний розділ              | до 10.07.2021 р.              |          |
| 3     | Розділ 3. Лабораторно-практичний          | до 29.10.2021 р.              |          |
| 4     | Розділ 4. Охорона праці та безпека в НС   | до 12.11.2021 р.              |          |
| 5     | Розділ 5. Економічне обґрунтування роботи | до 01.12.2021 р.              |          |
| 6     | Демонстраційна частина                    | до 05.12.2021 р.              |          |
| 7     |   |                               |          |

Студент \_\_\_\_\_ Подкін А.С.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Макаренко Д.О.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

## Реферат

Подкін А.С. Підвищення експлуатаційної надійності культиватора John Deere 2230 / Випускова кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеню «магістр» за спеціальністю 208«Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

Робота виконана на кафедрі експлуатації МТП в міжфакультетській проблемній лабораторії технічного сервісу машин.

Робота складається з 5 розділів, що містять аналіз стану питання, методики експериментальних досліджень, результати і аналіз досліджень, розділ з безпеки праці та захисту надзвичайних ситуацій та економічне обґрунтування роботи. В кінці пояснювальної записки містяться висновки, бібліографічний список. Всього 54 сторінки листів формату А4. Додається демонстраційний матеріал, виконаний в середовищі PowerPoint.

*Ключові слова:* машинно-тракторний агрегат, культиватор, полімерний композит, експлуатаційна надійність.

Публікації за темою роботи:

Макаренко Д.О., Муранов Є.С., Мисоченко О.О., Холод Р.Р., Подкін А.С., Осипов Є.В., Антіпов А.О. Дослідження показників роботи ДВЗ при введенні спеціальної змащувальної композиції // Збірник матеріалів Міжнародної наукової конференції «Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту». – Кропивницький: ЦНТУ, 17-19 листопада, – 2021 р.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 7  |
| 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНИХ КУЛЬТИВАТОРІВ.....   | 9  |
| 1.1. Загальні положення та класифікація культиваторів.....  | 9  |
| 1.2. Огляд конструкцій сучасних культиваторів.....  | 13 |
| 1.3. Аналіз системи ТО культиваторів .....  | 20 |
| 1.4. Перспективні напрямки підвищення експл. надійності.....  | 22 |
| 1.5. Обґрунтування теми дипломної роботи .....  | 22 |
| 2. ЗАВДАННЯ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....   | 24 |
| 2.1. Програма досліджень.....   | 24 |
| 2.2. Підготовка компонентів та їх змішування.....   | 24 |
| 2.3. Виготовлення експериментальних зразків.....  | 28 |
| 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....  | 31 |
| 3.1. Результати експериментальних досліджень.....   | 31 |
| 3.2. Результати випробувань у графіках і таблицях .....   | 35 |
| 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В<br>НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....                                       | 38 |
| 4.1. Суть охорони праці .....   | 38 |
| 4.2. Аналіз шкідливих факторів при проведенні лабораторних досліджень .....                         | 40 |
| 4.3. Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників... ..                     | 42 |
| 4.4. Правила безпечного виконання робіт при проведенні науково-дослідних<br>лабораторних робіт..... | 43 |
| 4.5. Розробка вимог безпеки праці при настанні надзвичайної ситуації.....                           | 43 |
| Висновки по розділу .....   | 44 |

|  |    |
|--|----|
| 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ ..... | 46 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....                  | 51 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК... ..             | 53 |

## ВСТУП

Надійність машинно-тракторного та автомобільного парків агропромислового комплексу України багато в чому визначається працездатністю вузлів тертя сучасних конструкцій дизельних двигунів, гідротрансмій, ходової частини, агрегатів масляної і гідросистем і т.д., в складі яких є численні приклади високонавантажених підшипників ковзання (ПК) типу «втулка» з обмеженим ресурсом, лімітуючим експлуатаційні можливості всього технічного об'єкта. Підвищення працездатності вузлів тертя сільськогосподарської техніки є першочерговим завданням машинобудівного і ремонтного виробництв.

Одним з важливих напрямків підвищення ефективності використання матеріальних і трудових ресурсів є широке застосування полімерних матеріалів і композицій на їх основі, дослідження і вдосконалення технологічних процесів підготовки і нанесення антифрикційних зносостійких покриттів. За даними ГОСНИТИ полімери дозволяють знизити трудомісткість ремонту машин на 20-30%, собівартість робіт на 15-20%, скоротити витрату чорних і кольорових металів на 40-50%.

Технологічні служби підприємств, які ремонтують і виготовляють сільськогосподарську техніку і переробне обладнання АПК, з метою підвищення довговічності виробів і економії матеріалів зацікавлені в розробці нових технологічних процесів, що дозволяють ефективно відновлювати зношені і виготовляти нові деталі з високим ресурсом.

Використання в парах тертя антифрикційних полімерних композицій дозволяє отримувати дещо інші закономірності зношування - кращі в триботехнічеські відношенні. Нанесення тонкого полімерного покриття на металеві поверхні тягне за собою зміну в певній мірі характеру машинобудівного виробництва і технології подальшого ремонту, роблячи їх більш досконалими, ефективними; економічно вигідними.

У той же час треба відзначити, що безперервне зростання навантажень, швидкостей і температури, ускладнення умов експлуатації вузлів тертя вимагають постійного поліпшення властивостей антифрикційних матеріалів (покриттів). Поряд з зносостійкістю створювані покриття повинні володіти і високою адгезією до

підкладки. Проте, багаторічний досвід застосування полімерних композицій говорить про те, що позитивні властивості полімерних покриттів, обмежені недостатньо високою адгезійною міцністю з основою (металевої деталлю), різко скорочує ресурс вузла тертя і машини в цілому. Крім того, останнім часом особлива увага приділяється дослідженням в області водневого зношування металів, тому що тертя в присутності водневомісний матеріалу (масло, паливо, вода, полімери) призводить до, виділенню водню і локалізації, його в при поверхневому шарі деталі. Це веде до диспергування, а при перенасиченні металу воднем (молізації атомарного водню) до руйнування поверхні з подальшим перенесенням відокремилися часток на менш міцну структуру.

У зв'язку з вищесказаним необхідна розробка методів щодо вдосконалення технології виготовлення втулок з нових композитних матеріалів.



# **1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНИХ КУЛЬТИВАТОРІВ.**

## **1.1 Загальні положення та класифікація машин для проведення культивуації.**

Культиватори - сільськогосподарський реманент для поверхневого розпушування ґрунту (без обертання) і знищення бур'янів. Їх можна також використовувати для внесення мінеральних добрив і нарізки поливних борозн.

По виду стикування культиваторів з трактором розрізняють: причіпні і навісні.

Причіпний культиватор в дії відрізняється простотою в обслуговування та налаштування. Великою перевагою агрегату є можливість його швидкого вирівнювання в поздовжньої і в поперечної лінії завдяки швидкості і простоті регульованих важелів. Жорстке зчеплення агрегату з трактором забезпечує підняття і опускання конструкції паралельно поверхні оброблюваної площі протягом переїздів і розворотів.

Ритмічне піднімання конструкції щодо зчіпки з трактором здійснює пристрій, котрий регулює дишло агрегату з його внутрішніми колесами. Легкість у використанні, практично не існує забивання рослинними залишками робочих органів дає економію в часі і засобах при виконанні робіт. Приклад - КПС-8, КПС-6.

Навісний культиватор для суцільного обробітку розрахований для розпушення ґрунту з неповним роздроблення твердих комків землі, усунення бур'янів і рівномірного змішування добрив з ґрунтом. Група таких механізмів зарекомендувала себе при волого збереженні - культивація стерні з наміром вберегти ґрунт від втрати вологи.

Чи виправдане застосування навісних культиваторів при обробці ґрунту після оранки на зяб під посів ярих, льону, кукурудзи, соняшнику, гороху, буряків. Культивація проводиться під кутом до напрямку оранки. Специфіка культиватора полягає в тому, що, набором робочих приладдя за один прохід він поступово реалізує всі головні процедури передпосівного обробітку. Приклад - СТЕП КН-3,2.

Парові культиватори використовують для догляду за парами і підготовці ґрунту до посіву. Весняну передпосівну культивацію ґрунту проводять через кілька

днів після боронування на глибину загорання насіння для знищення сходів бур'янів і створення ущільненого ложа для насіння. Нерівномірність глибини обробки не повинна перевищувати 1 см.

Після культивуації верхній шар ґрунту повинен бути дрібно грудкувату, а бур'яни повністю підрізани. Дно борозни і поверхня поля після культивуації повинні бути рівними, висота гребнів - не більше 4 см. В процесі культивуації нижні шари ґрунту не повинні виноситися на поверхню.

Для кращого вирівнювання ґрунту і збереження вологи суцільну культивуацію парів і зябу супроводжують боронуванням.

Просапні культиватори застосовують при догляді за просапними культурами, тобто проводять міжрядний обробіток.

З їх допомогою знищують бур'яни, розпушують ґрунт у міжряддях і рядках з метою збереження ґрунтової вологи, поліпшення повітряного і харчового режиму рослин, підготовують рослини.

Міжрядний обробіток деяких просапних культур (наприклад, картоплі) полягає в їх підгортання.

Спеціальні культиватори використовують при догляді за такими культурами, як буряк, баштанні, бавовник, а також за садами і чайними плантаціями.

На культиваторах встановлюють такі робочі органи (рис. 1.1): лапи – однобічні плоско різальні бритви, стрілчасті плоско різальні й універсальні, зуби

– розпушувальні (долотоподібні лапи), оборотні, списоподібні і пружинні,

- сталеві стержні – штанги, голчасті диски, лапи-полочки, підживлювальні лапи або ножі для сухого і рідинного підживлення, корпуси для підгортання і нарізання борозн, ротаційні борінки.

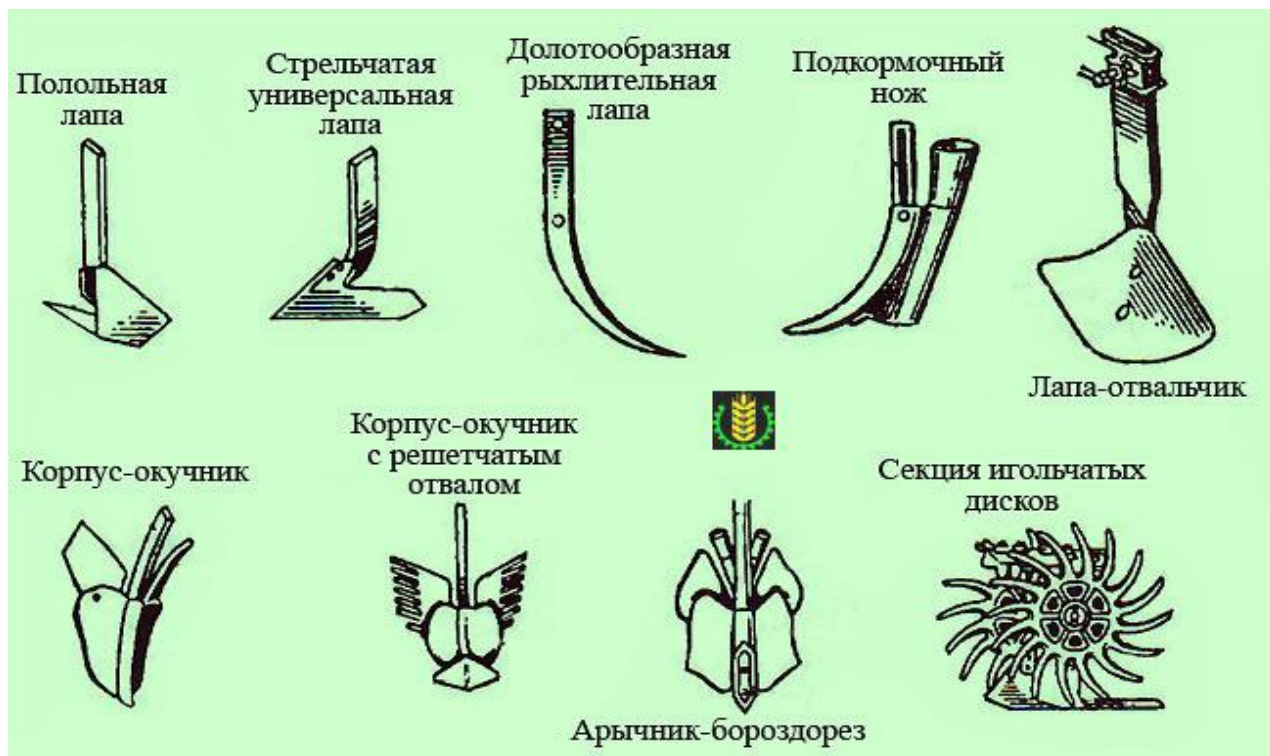


Рис. 1.1 – Робочі органи культиваторів

Однобічні плоско різальні лапи (рис. 1.1, а) призначені для підрізання бур'янів, проріджування культурних рослин, розпушування ґрунту на глибину до 6 см у міжряддях. Лапи мають ширину захвату 85, 120, 150, 165 і 250 мм.

Стрілчасті плоско різальні лапи (рис. 1.1, б) призначені також для підрізання бур'янів, якщо потрібні невелика глибина обробітку (до 6 см) і незначне зміщення ґрунту. Лапи виготовляють з кутом розхилу  $2\gamma = 60^\circ$  або  $70^\circ$  і шириною захвату 145, 150 і 260 мм.

Стрілчасті універсальні лапи (рис. 1.1, в) одночасно з підрізуванням бур'янів розпушують ґрунт. Кут розпушування в цих лап  $\beta = 28^\circ\text{--}30^\circ$ . Лапи з кутом розпушування  $\beta = 30^\circ$  застосовують у культиваторах-розпушувачах для роботи на глибині до 14 см. Виготовляють лапи з кутом розхилу  $2\gamma = 65^\circ$  (ширина захвату 220, 270 і 330 мм) і  $2\gamma = 60^\circ$  (захват 250, 270 і 330 мм).

Розпушувальні зуби (рис. 1.1, г) використовують для розпушування міжрядь зв'язних і щільних ґрунтів на глибину 15 см без винесення вологого шару на поверхню. Виготовляють їх у вигляді загнутого загостреного зуба (долота) із шириною захвату 20 мм.

Оборотні лапи (рис. 1.1, д) на жорстких стояках застосовують у

культиваторах-розпушувачах для обробітку ґрунту на глибину близько 22– 25 см. Оборотна лапа має два заточені зверху кінці. Ширина захвату – 45–60 мм.

Списоподібні лапи (рис. 1.1, е) використовують у парових культиваторах для знищення кореневищ багаторічних бур'янів. Один кінець лапи загострений у вигляді наконечника списа.

Пружинні зуби (рис. 1.1, с) застосовують у просапних культиваторах для розпушування ґрунту в захисних зонах і міжряддях.

Штанговий робочий орган (рис. 1.1, ж) призначений для суцільного обробітку ґрунту, знищення бур'янів, розпушування ґрунту на парах, а також передпосівної культивації в районах недостатнього зволоження і там, де ґрунти піддаються вітрової ерозії.

Голчасті диски (рис. 1.1, з) застосовують для знищення ґрунтової кірки і бур'янів, які слабо вкоренилися, у рядках і захисних зонах. Під час роботи голки дисків рухаються захисними зонами рядків, заглиблюючись у ґрунт на 9 см і зсуваючи його поверхневий шар приблизно на 1–2 см.

Диски виготовляють трьох діаметрів – 350, 450 і 520 мм, завширшки 12–15 мм. Їх встановлюють загнутими зубами за ходом знаряддя (або проти ходу) на відстані 68 мм один від одного (диски діаметром 450 і 520 мм) або на відстані 56 мм (диски діаметром 350 мм).

Лапи-полічки (рис. 1.1, і) використовують для боротьби з бур'янами у спосіб присипання ґрунтом. Лапа-полічка, рухаючись у ґрунті, знімає його тонкий шар у міжрядді і зсуває в рядок, засипаючи дрібні бур'яни.

Підживлювальний ніж (рис. 1.1, г) є розпушувальною долотоподібною лапою з лійкою для туків, через яку вони надходять на дно борозни на глибину до 16 см. Ножі мають змінні наконечники. Для загортання борозни, утвореної ножем, встановлюють розпушувальні або прополювальні лапи.

Підгортальні корпуси (рис. 1.1, й) призначені для підгортання рослин, знищення бур'янів на дні борозни і засипання її ґрунтом. Підгортальні корпуси встановлюють на глибину до 16 см. Висота гребенів досягає 25 см.

Аричник-борознонарізувач (рис. 1.1, м) призначений для нарізування поливних борозен з одночасним унесенням добрив на глибину близько 20 см.

Ротаційну борінку (рис. 1.1, н) застосовують для вирівнювання вершин гребенів, досходового розпушування ґрунту та знищення бур'янів на посівах коренеплодів і посадках картоплі, вирощуваних на грядках.

Прополювальні борінки (рис. 1.1, п) застосовують для розпушування ґрунту та знищення бур'янів у захисних зонах і міжряддях під час культивації високостеблових просапних культур.

Робочі органи прикріплюють до гряділів, які з'єднують з рамою культиватора. Розрізняють радіальне й паралелограмне кріплення гряділів до рам. Радіальне кріплення застосовують у культиваторах для суцільного обробітку ґрунту, а паралелограмне – у культиваторах для міжрядного обробітку. Глибину ходу лап начіпних культиваторів змінюють шляхом переставлення опорних коліс або котків гвинтовими механізмами, а причіпних культиваторів – шляхом змінення сили тиску пружин натискних штанг.

## 1.2 Огляд конструкції сучасних культиваторів.

При обробці ґрунту потрібно дотримуватись таких вимог:

- забезпечення ступеня кришіння ґрунту не менше 85%;
- винос вологого ґрунту на зовнішню поверхню не більше 10%;
- вирівняність поверхні ґрунту, гребнистість до 40 мм;
- відсутність борозен;
- вирівняність дна при передпосівної обробки;
- стабільність глибини обробки, відхилення не більше 20%;

Обробку застосовують для знищення бур'янів і розпушування ґрунту без її обертання при догляді за парами і підготовці до посіву. Розпушування ґрунту сприяє накопиченню і збереженню вологи і поживних речовин в формі, доступній для засвоєння їх рослинами.

Передпосівну культивацію проводять зазвичай на глибину загортання насіння. Нерівномірність глибини обробки не повинна перевищувати  $\pm 0,01$  м. Після культивації верхній шар ґрунту повинен бути дрібно грудкуватого, а бур'яни - повністю підрізани. Дно борозни і поверхня поля після культивації повинні бути рівними. Висота гребнів розпушування шару не повинна перевищувати 0,03 ... 0,04 м, тому одночасно з культивацією часто проводять боронування, використовуються катки. Робочі органи культиватора не повинні виносити на поверхню нижній шар ґрунту. Зі збільшенням швидкості поліпшується вирівнювання поверхні поля і створюються хороші умови для роботи посівних машин. Стрілчасті лапи викликають невирівняні поверхні і винос вологого ґрунту на денну поверхню. Конструктивна схема культиваторів залишається однаковою: кілька рядів стрілчастих лап з радіальної підвіскою, секції зубових борін, прикочуючі котки.

У ґрунтообробних культиваторах застосовують різні варіанти вирівнювання поверхні після проходу стрілчастих лап. Загальне вирівнювання і додаткове дрібнення грудок ґрунту здійснює розташований ззаду коток (рис. 1.2).



Рис. 1.2 – Установка за кожною стрілкою лапою диску (він загортає утворену лапою борозну).

Конструкція може мати пружинні пальці (Рис.1.3)



Рис. 1.3 – Культиватор з декількома рядами пружинних робочих органів для вирівнювання поверхні ґрунту



Рис. 1.4 – борони та пруткові котки;



*Рис. 1.5 – спіральні котки*

Все це призводить до зростання питомої матеріаломісткості ґрунтообробних машин. Для широкозахватних культиваторів вона досягає 292, а імпортованих - 390 кг/м.

Культиватор КПС-4 призначений для суцільної передпосівної обробки ґрунту і обробки парів з одночасним боронуванням на різних типах ґрунтів при робочій швидкості до 12 км/год (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд культиватора КПС-4

Копіюючі колеса негативно впливають на якість обробки ґрунту. При наїзді коліс на горбки лапи стають на п'яту і вигубляються, а в разі потрапляння в зниження спираються на носок і заглиблюються, створюючи невіривняне насінневе ложе (рисунок 1.7).



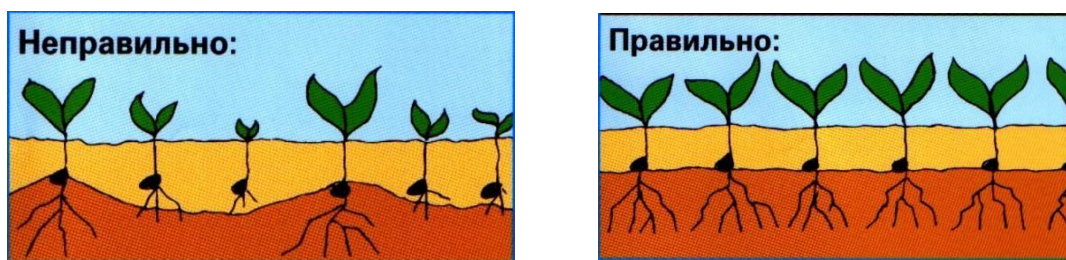


Рис. 1.7 – Невирівняне насіннєве ложе, що негативно впливає на енергію та рівномірність сходів рослин.

Культиватори обладнані пристосуванням для навішення секцій зубових борін, що забезпечують розпушування ґрунту на глибину до 12 см зі знищенням бур'янів.

Глибина обробки підтримується копіюючими колесами. Однак з огляду на те, що вони розташовуються на відстані від робочих органів, добитися високої стабільності їх ходу неможливо. Наявність кута кришіння і стійок, розрізуючих верхній шар ґрунту, призводить до розсовування, виносу вологого ґрунту за стійками, утворення борозенок. Глибина і ширина їх збільшується зі зростанням швидкості руху культиватора. Створюється нетехнологічний фон для посіву.

Культиватор комбінований швидкісний ШККС (рисунок 1.5) призначений для суцільної передпосівної і парової обробки ґрунту, знищення бур'янів з максимальним скороченням стерні та інших пожнивних залишків на полях, оброблених плоскорізними і безвідвальними знаряддями під посіви ярих, овочевих і просапних культур. Агрегується з тракторами тягового класу 30-50 кН. Культиватор являє собою широкозахватну причіпну машину з шарнірно-секційною рамою, з трирядним розташуванням робочих органів, з пристосуванням для вирівнювання у вигляді роторних борінок.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд культиватора ШККС-10

На культиваторі в залежності від виконання може бути встановлене наступне обладнання:

1. Роторна борона (коток) і легка дворядна борона с пружинними зубами.
2. Навіска для кріплення борін БЗСТ-1,0; БЗСС-1,0.

Паровий культиватор КП-4 (рисунок 1.6) виробництва ВАТ РТП «Петрівське», м Світлоград Ставропольського краю (Росія), являє собою сучасний аналог культиватора КПС-4, виконує ті ж операції, але відрізняється тим, що на даній машині кожен робочий орган має власну пружину-стабілізатор і жорстко кріпиться драбинами до рами культиватора, в той час як на КПС-4 стійка лапи жорстко кріпиться до підпружинених грядиль. Замість зубових борін також встановлена борона з пружинним зубом і прикотуючі котки.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд культиватора КП-4

Культиватор TIGER-MATE 255 від компанії CLAAS (рисунок 1.7) має більші експлуатаційні переваги в порівнянні з моделями конструкції 60-х років XX сторіччя, що випускаються і понині в дещо удосконаленому вигляді.



Рисунок 1.7-Загальний вигляд культиватора CLAAS TIGER-MATE 255

На відміну від схожих моделей на культиваторі Tiger-Mate 200 встановлено набір стійок, які забезпечують стабільність робочої глибини. Зусилля притискання 150 фунтів (68 кг). Це забезпечує надійне зчеплення у надважких умовах та

розрихлення з більшою швидкістю на твердішому ґрунті. Три ряди стійок розрихлювача працюють на повну глибину. Четвертий та п'ятий ряди розрихлюють середній шар. Ґрунт, залишки та хімічні добрива змішуються та рівномірно розподіляються по смузі, яку обробляє культиватор. Компоненти ретельно змішуються у шарі, який обробляється.

Культиватор John Deere 2230 (рисунок 1.8) має діапазон робочої ширини захвату від 7,8 до 21,2 м, Копіює поверхню поля та обладнаний прикотуючими котками з гідравлічним регулюванням. Разом з новими польовими культиваторами 2230, компанія Deere представила мульчувальний фінішер 2330. 2330 розроблений, щоб запропонувати виробникам ґрунтообробне обладнання, яке надає їм можливість ефективно розмірювати та розподіляти шматки залишків, зберігаючи рівне насінневе ложе. Рама була перероблена, щоб забезпечити ширину ширини та більше можливостей для задньої борони. Це обладнання оснащується дев'ятьма різними розмірами. Всі дев'ять розмірів можуть працювати зі швидкістю до 16 км/год. 2330 пропонує виробникам багато тих самих функцій, що інші польові культиватори John

Deere, такі як технологія TruSet, яка допоможе їм працювати розумніше і швидше. Джарред Карней, менеджер з маркетингу продуктів John Deere, каже: "Ми внесли деякі суттєві зміни в наше наступне покоління польових культиваторів та мульчувальних машин, щоб виділити John Deere поза конкуренцією щоб клієнти знайшли для себе в них величезну цінність", - додає Карней . "Від рами та шин до більш широких можливостей обробки та вдосконаленої регульованості - усі ці вдосконалення мають гарантувати, що клієнти можуть отримати ідеальну посівну площу за один продуктивний прохід попереду сівалки".



Рисунок 1.8-Загальний вигляд культиватору John Deere 2230.

### **1.3 Аналіз системи ТО культиваторів.**

При порівнянні культиваторів КПС-4 виробництва СРСР та культиватора FOX виробництва фірми STARA (Бразилія) можна прослідкувати тенденцію до зменшення кількості операцій технічного обслуговування.

Для КПС-4 передбачені такі види технічного обслуговування-щозмінне, при зберіганні, при знятті зі зберігання та при транспортуванні. Кожної зміни необхідно проводити очистку робочих органів за допомогою чистика, підтяжку кріплень робочих органів та регулювання глибини їх ходу. Кожні п'ять змін рекомендовано перевіряти кріплення коліс до ступиць та кріплення правої та лівої тяги до центральної тяги та кріплення держаків до грядиль. Кожні десять змін завод-виготівник КОРММАШ рекомендує контролювати надійність кріплення болтів штанг для борін та надійність кріплення лап до стійок. Технічне обслуговування при

зберіганні включає миття деталей культиватора ПАР з наступною очисткою їх в розчиннику та консервування солідолом. При цьому зношені та несправні деталі вибраковуюють та замінюють за допомогою ключів гайкових. Під час зберігання рекомендовано періодично перевіряти культиватор на сліди корозії, зачищати вкриті корозією місця та фарбувати їх. При знятті зі зберігання необхідно заповнити ступиці коліс свіжою змазкою (Солідол-С).

Культиватор Fox був розроблений для роботи на безкам'янистих ґрунтах на глибині до 26 см. При цих робочих умовах знаряддя матиме тривалий корисний термін служби, якщо певні заходи з технічного обслуговування застосовуються, наприклад: щозмінне обслуговування- підтяжка всіх гайок та болтів, оскільки вони витримують основні навантаження під час роботи. Під час роботи ріжучі кромки виснажуються і їх слід замінювати, коли знаряддя проявляє ознаки труднощів з проникненням в ґрунт (регламентований період виробник позначає через вказівник граничного зносу (рисунок 1.9)). Періодично необхідно змащувати маточини коліс, підшипникові вузли, кошик вирівнюючих роликів, вісь колеса, регулювальні болти, шарніри циліндрів і колісні тяги. Наносити рекомендоване мастило на прес-маслянки, як зазначено на наклейках агрегату (рисунок 1.10), періодично перевіряти тиск в шинах. Нормальна шина має тиск 2,7 МПа, стежити за витокami в гідравлічній системі, зберігати всі захисні кришки / ковпачки на швидко розбірних з'єднаннях, коли вони не використовуються

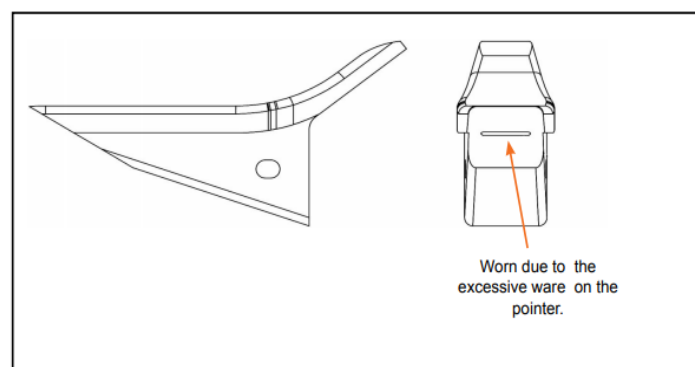


Рисунок 1.9 - Вказівник граничного зносу ( з інструкції до машини).

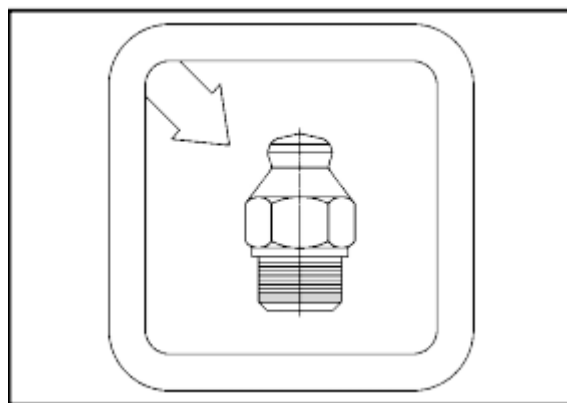


Рисунок 1.10 – Позначення місць змащування культиватора FOX.

#### **1.4. Перспективні напрямки підвищення експлуатаційної надійності**

Сьогодні в більшості провідних виробників сільськогосподарської техніки спостерігається тенденція використання нових матеріалів, що зможуть надійно витримувати навантаження пов'язані зі збільшенням ширини захвату МТА, підвищених вимог щодо частоти ТО і ремонтів. Серед таких матеріалів-анодовані легкі сплави, леговані сталі з високими антикорозійними властивостями та композитні матеріали. Композитні матеріали знаходять широке застосування в трибоспряженнях, оскільки вони здатні до підвищеного спротиву зносу та ударним навантаженням і перевантаженням. При дослідженні стану питання мною було виявлено, що основні композитні матеріали, що зараз використовуються в трибоспряженнях типу копролону з графітовим наповнювачем. Цей матеріал має цілий ряд переваг порівняно з традиційними втулками з кольорових металів, як-то підвищена зносостійкість та відсутність обслуговування (матеріали цієї родини мають здатність до виділення власного змащувального покриття за рахунок додавання в композит графіту). Але основним недоліком цих матеріалів є недостатня міцність для їх застосування в сучасних широкозахватних агрегатах. Згідно довідкової літератури, основними матеріалами, що використовуються в інших галузях промисловості, де є трибоспряження з великими навантаженнями, є композити з додаванням вуглецевого волокна. Отже, перспективним напрямком

підвищення експлуатаційної надійності є розробка і застосування нових полімерних матеріалів, зокрема для трибоспряжень.

### **1.5 Обґрунтування теми дипломної роботи**

На основі проведеного аналізу системи ТО культиваторів та способів підвищення експлуатаційної надійності було обрано до розгляду проблему надмірного зносу в трибоспряженні верхньої втулки стійки культиватора. Цей вид зносу найбільше впливає на продуктивність та агротехнічні вимоги, оскільки через знос стандартної втулки збільшуються люфти, що призводить до великого відхилення від заданої глибини обробки та ширини захвату, підвищеного зносу лапи культиватора. Раніше на кафедрі ЕМТП ДДАЕУ вже проводились дослідження щодо застосування полімерних матеріалів для виготовлення конічних розрізних втулок, але вперше в цій роботі розглянуто використання нових композитів для цих деталей. З довідкових матеріалів нам відомо, що армовані вуглецевим волокном фторопласти особливо ефективні в умовах тертя без достатнього мащення в умовах підвищених навантажень та агресивних середовищ. Вони забезпечують плавне ковзання деталей у спряженні, протидіють корозії та кислотно-лужному впливу. В роботі розглянуто композити, що складаються з фторопласту та вуглецевого волокна у співвідношенні 9 до 1, 8 до 2 та 7 до 3 частин відповідно. Раніше емпіричним шляхом було встановлено, що при введенні в полімер 20% вуглецевого волокна його міцність на стиск перевищує цей показник у ненаповненого фторопласту більше ніж вдвічі, твердість в 1.5 рази а зносостійкість у сотні разів перевищує цю величину у чистого Ф-4. Особливостями використання композитів на основі фторопласту є його хімічна інертність, у зв'язку з чим спостерігається слабка взаємодія з компаундними частками. Шляхи вирішення цієї проблеми і методи виготовлення розглянуті в розділі 2 даної роботи. У зв'язку з викладеним вважаю доцільним розробити технологію виготовлення конічних розрізних втулок та провести їх випробування на відповідність вимогам і розрахувати економічну доцільність такої модернізації.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз відмов деталей стійки культиватора 2230;
- розробити технологію виготовлення деталей та дослідних зразків;
- виготовити експериментальні зразки і провести лабораторні випробування;
- провести лабораторні дослідження властивостей розроблених виробів і зробити перевірку результатів відомими методами;
- навести економічне обґрунтування роботи та надати рекомендації виробникам.



## 2. ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Програма дослідження

Для проведення лабораторних досліджень, розробили відповідну програму, яка включала науково-дослідну експериментальну частину досліджень із створення полімерно-композитних матеріалів, що містять вторинні поліетилену і включала наступні етапи:

- визначення оптимального складу полімерно-композитного матеріалу з використанням фторопласту і ВВ волокна;
- виготовлення зразків за раціональною технологією вироблення методом лиття під тиском;
- проведення лабораторних досліджень основних властивостей полімерно-композитних матеріалів (міцнісні та деякі фізико-механічні);
- обґрунтувати вплив створених композитів на підвищення експлуатаційної надійності МТА.

### 2.2 Підготовка компонентів та їх змішування

Для виконання дослідів були застосовані Фторопласт-4 та вуглецеве волокно. Основні етапи підготовки компонентів-випалювання сторонніх домішок і підсушення ВВ волокна і зважування матеріалу на аналітичних вагах ВЛР-200 (рис.2.1 ).



Рис. 2.1 Ваги аналітичні ВЛР-200

Для зважування була проведена підготовча робота з вагами, тобто їх калібрування та налаштування підсвітки. Для зважування також була розроблена нижченаведена таблиця 2.1, згідно з якою і були відміряні матеріали. Індивідуальне завдання полягало у виготовленні зразків з композитів для їх подальшого випробовування в процесі виконання дипломної роботи. Для виконання даної роботи було вибрано на основі довідкових джерел (див. Література) три співвідношення вуглецевого волокна (ВВ) і фторопласту:

Таблиця 2.1 – Співвідношення маси матриці та наповнювача

|                   | <b>10%</b> | <b>20%</b> | <b>30%</b> |
|-------------------|------------|------------|------------|
| <b>ВВ</b>         | 2,5        | 5          | 7,5        |
| <b>Фторопласт</b> | 22,5       | 20         | 17,5       |
|                   | 25         | 25         | 25         |

Наведена таблиця слугує для визначення ваги складових компонентів майбутнього композиту. Після зважування їх на аналітичних терезах ВЛР-200 компоненти необхідно було перемішати. Для цього використали апарат вихрового шару В-150К-02. Він призначений для змішування компонентів з розмірами часток до 6 мм. Апарат працює за принципом обертання феромагнітних елементів під впливом електромагнітних сил. Для змішування в спеціальну колбу (рис.2.2) додають складові композиту та сталеві цвяхи в кількості ~ 35штук.



Рис.2.2. Колба для змішування в АВШ.

Перемішування на апараті відбувається 7 разів по три запуски, загальна тривалість роботи АВШ не повинна перевищувати 3 хвилини. Після змішування магнітом відокремили цвяхи від готової маси. Нами було помічено збільшення об'єму суміші від початкової приблизно в три рази (в залежності від співвідношення компонентів). Готова маса була розділена по 6 рівних за вагою частин кожного співвідношення (рис.2.3.).



Рис.2.3. Компоненти після змішування в апараті вихрового шару В-150К-02.

Після змішування було виконано підсушування і відпал сторонніх частин в лабораторній сушильній шафі СНОЛ. Ця операція є необхідною, оскільки унеможливити контакт готової суміші з навколишнім середовищем не вдасться. Це призводить до того, що на готовій масі осідають частинки пилу та волокон інших матеріалів, що знаходяться в лабораторії. Нами була розроблена методика по пристосуванню шафи СНОЛ до такої роботи. Шафа сушильна СНОЛ (рис.2.4) призначена для просушки різних матеріалів та проведення аналітичних робіт при температурах до 350С. Шафа сушильна складається з наступних основних частин: регулятор температури сушильних шаф комплектуються аналоговим мікропроцесором чи програмованим регулятором температури по бажанню замовника (в лабораторії полімерних матеріалів шафа комплектуватися програмованим регулятором температури), корпус сушильної шафи виготовлений з

листової сталі, Фарбований порошковою фарбою зі спеціальним полімерним покриттям, що надає покриттю довговічність в експлуатації (порошкове покриття дуже стійке до дії розчинників, лугів та кислот). Ущільнення дверцят виготовлено зі спеціальної термостійкої гуми і разом з конструкцією кріплення дверей дає робочої камери. Робоча камера виготовляється з чорної сталі зі спеціальним покриттям, в деяких випадках вона виготовляється з нержавіючої сталі, що дозволяє вирішувати задачі з розміщення предметів об'ємом не більше 50 л. Нагрів камери здійснюється з усіх сторін, для цього його застосовують оригінальний стрічковий нагрівач, в задній частині робочої камери встановлений вентилятор перемішування повітря, що створює високу рівномірність теплового поля всередині камери. Сушильна шафа має отвір для вводу контрольної термопари термометра, цей отвір розміщений на верхній грані термошафи. В СНОЛ передбачені отвори для видалення вологи з робочої камери та витяжної вентиляції за яку відповідає вищезгаданий вентилятор, що забезпечує примусову конвекцію та рівномірність температури в різних частинах обладнання. Завдяки широкому спектру температур дана шафа використовується в широкому спектрі лабораторних робіт, таких як просушка різного матеріалу, стерилізація, температурне тестування, проколювання, термічне старіння, а також відпуск при невисоких температурах. Основний принцип роботи шафи, що забезпечує універсальність є автоматичне регулювання та підтримання заданої температури всередині простору робочої камери.



Рис.2.4. Шафа сушильна СНОЛ.

### 2.3 Виготовлення експериментальних зразків

Після виконання підготовчих робіт необхідно виготовити експериментальні зразки, що являють собою циліндричні форми висотою 15 мм і діаметром 6 мм(рис 2.5).

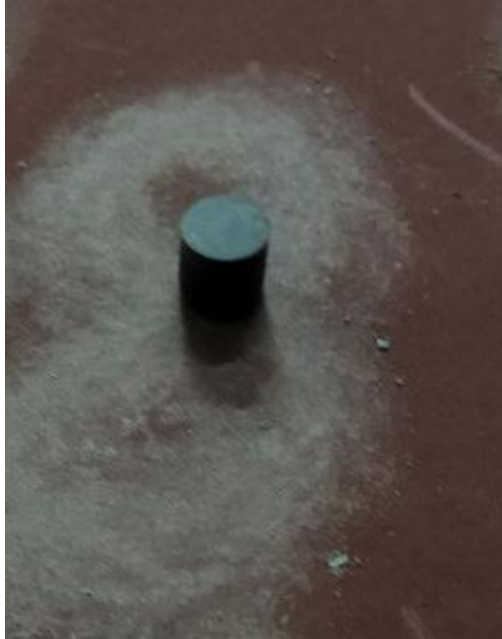


Рис. 2.5. Експериментальний зразок з досліджуваного композиту

Основна вимога до якості зразків-не допускається їх неоднорідність, фрагментація та розшарування. Такі дефекти можуть виникати внаслідок порушення температурного режиму та неправильного змішування компонентів. Форма зразків розроблена з урахуванням оснастки для випробувань їх на машині СМТ-1. Після підсушування кожна порція була засипана в спеціальну шести порційну форму (рис.2.6), що являє собою барабан з шістьма камерами, розмір яких обмежено штифтами і пуансонами з обох боків.



Рис.2.6. Форма для виготовлення зразків.

Всередині форми прокладено ніхромову спіраль, що дає можливість запікати матеріал під тиском. В такому випадку температура запікання буде залежати від сили струму, що подається на спіраль (її можна налаштувати на лабораторному блоці живлення). Кожна порція була засипана і запресована на пресі МС-100 при зусиллі  $300\text{кг/см}^2$  (рис.2.7) в спеціальну циліндричну форму для випікання та запечена під тиском в шафі сушильній СНОЛ при початковій  $T_{\text{поч}}=150\text{C}$ , покроково підвищували температуру кожні 10 хвилин на  $50\text{C}$ .

При досягненні максимальної  $T_{\text{макс}}=350\text{C}$  форму продовжують витримувати 2,5 год. Після цього форму розбирають і візуально контролюють зразки на відсутність тріщини, викришування та інших дефектів. Після цього її пресують при зусиллі  $300\text{кг/см}^2$  протягом 30 хвилин, при цьому температура форми  $380\text{C}$  (рис.6).



Рис.2.7. Пресування зразків у формі при зусиллі  $300\text{кг}/\text{см}^2$ .

Після цього форма витримується при температурі  $50\text{C}$  протягом 30 хвилин і розбирається.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Результати експериментальних досліджень

Виконувались два основних види досліджень-на стирання на машині СМТ-1 та на стиск на машині FP-100. Необхідно навести основні відомості про дане обладнання та методи роботи на ньому.

Машина 2070 СМТ-1 призначена для випробування матеріалів на тертя та знос на вивчення процесів тертя та зносу металів, сплавів і жорстких конструкційних пластмас. Принцип дії машини у притисненні пари «зразок- диск» один до іншого із заданою силою при обертанні одної з поверхонь відносно іншої з заданою частотою. Частота обертання валу нижнього зразка може змінюватись в діапазоні від 75 до 1500 обертів на хвилину, зусилля притиску випробуваних зразків в діапазоні від 200 до 5000 ньютонів. У відповідності з видами наданих на випробування пар зразків існують наступні варіанти схем випробувань: «диск-диск», «диск-колодка» (рис.3.1, рис 3.2), «вал-втулка». Вона складається з двох частин: випробувальної установки та пульта керування. Випробувальна установка містить наступні основні функціональні вузли: випробувальний блок (вузол тертя блок приводу, вузол навантаження), камери. Випробувальний блок є основним вузлом та призначений для формування випробувальної пари тертя. Він повинен забезпечувати точну та надійну основу зразків, однозначність і визначеність в реалізації схеми опробування включаючи рівномірність навантаження та зносу зразків (з'єднання елементів випробувального блока не повинні мати люфти). Також він повинен забезпечувати можливість випробувань різних типів і розмірів зразків по декільком схемам (можливість швидкого переналагодження). Зазвичай у випробуванні в блок конструктивно входить датчик сили (моменту тертя, що є частиною системи вимірювання), прилад призначений для передачі руху одному чи декільком зразкам що входять до вузлів тертя і включає в себе електродвигун та передаточний механізм, кінематика якого визначається характером відносного руху пари що треться. Регулювання швидкості в широких межах забезпечується за допомогою



електропривода. Прилад повинен забезпечувати плавність руху без ривків та ударів, якщо останні спеціально не передбачені тим методом випробувань що використовується. Вузол навантаження застосовується для створення постійного чи змінного нормального навантаження на зразки, для чого використовуються спеціальні механізми: важіль, гравітаційні пружини та інші, при цьому повинні забезпечуватись плавне прикладання та стабільність режиму навантаження незалежно від змін в процесі випробувань сили тертя та величини зносу. Камера застосовується для проведення випробувань у спеціальних температурних умовах: у вакуумі, при подачі мастильного матеріалу, абразиву тощо. Також вона виконує захисну функцію, захищаючи оператора від впливу продуктів зносу, шуму та інших шкідливих факторів. Камера може бути герметичною повністю або частково. Вузли випробувальної установки зазвичай монтуються на спільній станині що при необхідних випадках може бути укомплектована віброопорами. Конструкція випробувальної установки повинна забезпечувати надійну віброізоляцію з урахуванням роботи в умовах інтенсивних динамічних навантажень, у тому числі шляхом монтажу на ізольованому фундаменті. Випробувальна установка електрично зв'язана з пультом керування, який містить блок керування та блок вимірювання. На машині вимірюються та реєструються параметри, необхідні для отримання інформації про процес тертя (сила), момент тертя, силу нормального тиску, швидкість і шлях тертя, температуру в заданій зоні, знос, роботу тертя та ін. Сутність випробування зносу на машині тертя є в тому, що випробувані зразки піддаються зношуванню при заданих умовах з використанням певного заздалегідь визначеного розрахунковим шляхом сталевого диску з насічками певної глибини та частоти обертання. Цей диск розрахований на моделювання того впливу, якого буде зазнавати втулка при її встановленні та роботі на культиваторі John Deere 2230.

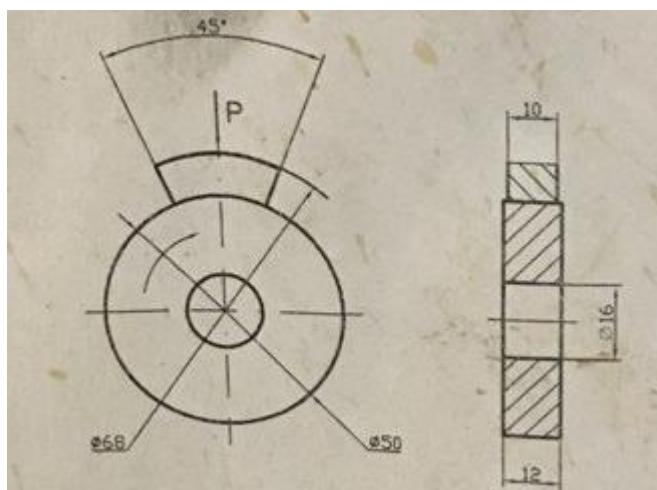


Рис.3.1. Схема випробовувань «диск-колодка».

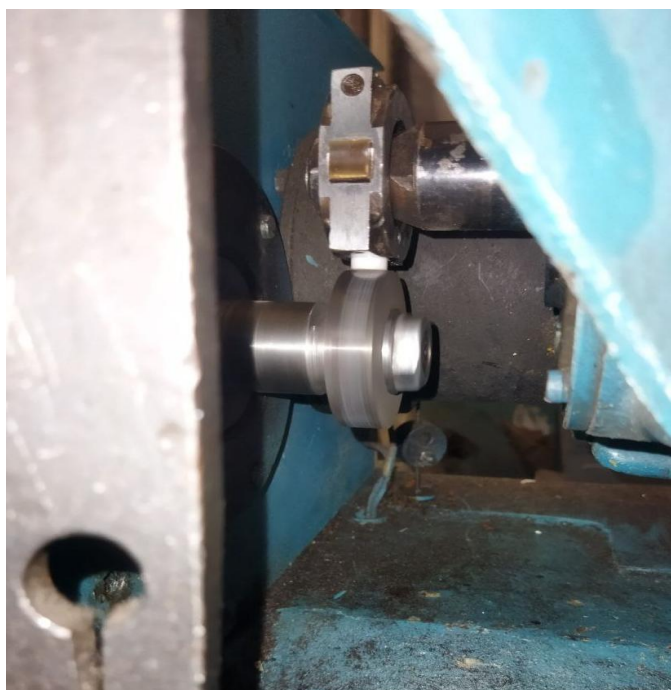


Рис 3.2. Випробовування зразка за схемою по розробленій методиці.

Універсальна електромеханічна розривна машина FP-100 (рис.3.3.) призначена для статичних випробувань металів, арматурної сталі, полімерів, листового та круглого прокату на розтяг та стиск при нормальній температурі.



Рис.3.3. Випробувальна машина FP-100

Машини розривні випробувальні оснащені системою вимірювання, що дозволяє проводити випробування з заданою швидкістю навантаження з автоматичним підтриманням швидкості навантаження, що забезпечує вимір переміщення активного захвату і його індикацію, запис результату на самопишучому двокоординатному приборі. Ця машина оснащена тензометричним датчиком вимірювання навантаження. Модуль навантажуючий встановлюється на фундамент з приямок глибиною 780 мм. Електромеханічні розривні машини в цьому виконанні мають діапазон вимірювання від 1 до 2 кН, від 2 до 4 кН, від 3 до 10 кН, від 4 до 20 кН, від 5 до 40 кН, від 6 до 100 кН. Серед особливостей даних машин можна виділити ручне керування процесом навантаження, електромеханічну систему створення навантаження, візуалізацію дійсного і максимального значення навантаження на аналоговому циферблаті, автоматичне підтримування швидкості навантаження, запис параметрів випробування, координатний тензометричний датчик вимірювання навантаження, вертикальне одностонне виконання силової рами та висока жорсткість силової рами. Під час проведення випробувань зразків з масовим вмістом вуглецю 10-30 відсотків наданій машині вони були перевірені на стиск при навантажуванні в півтори тонни тривалістю 5 хвилин. Після випробувань зразки були виміряні електронним штангенциркулем торекс з метою визначення відносної деформації в поздовжньому

та поперечному напрямках. Також ж було визначено деяку оборотність деформації тобто зразки повертались до близьких значень відносно їх до випробувальних розмірів, але згідно з моїми спостереженнями цей процес не містив в собі системного характеру, зразки з однаковим змістом вуглецевого волокна приймали різні розміри відносно початкових.

### 3.2 Результати випробовувань у графіках і таблицях

#### Результати досліджень представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність границі текучості та ударної в'язкості матеріалу Фторопласт-4 від відсоткового вмісту вуглецевого волокна

| Показник                             | Вміст вуглецевого волокна, % мас. |      |      |      |
|--------------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|
|                                      | 0                                 | 10   | 20   | 30   |
| Границя текучості, МПа               | 28,4                              | 66,2 | 76,4 | 68,3 |
| Ударна в'язкість, КДж/м <sup>2</sup> | 40                                | 27,5 | 18,2 | 10,1 |

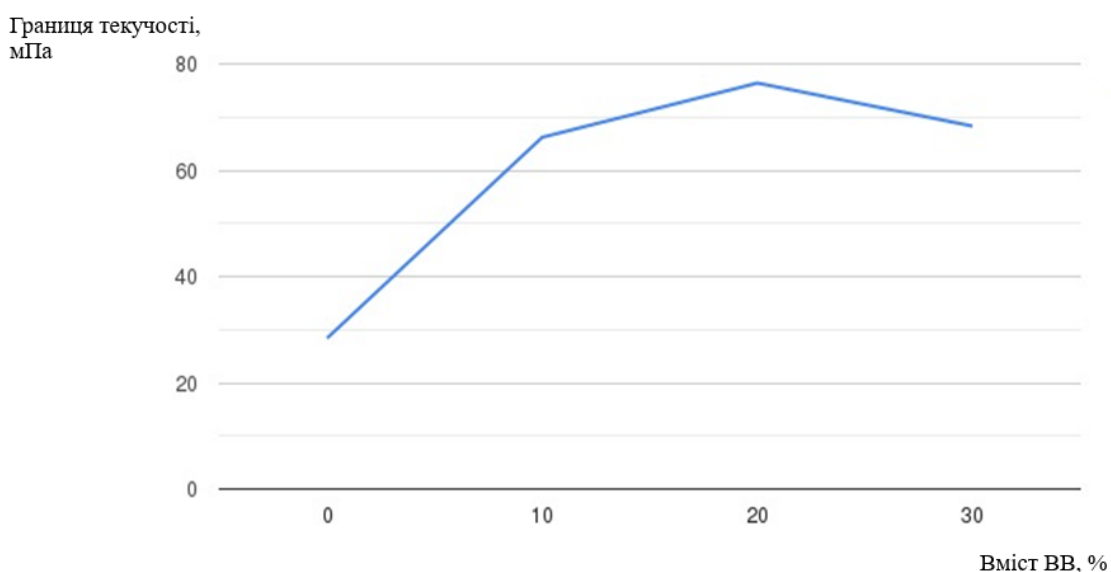


Рис.3.4 Залежність границі текучості від відсоткового вмісту вуглецевого волокна

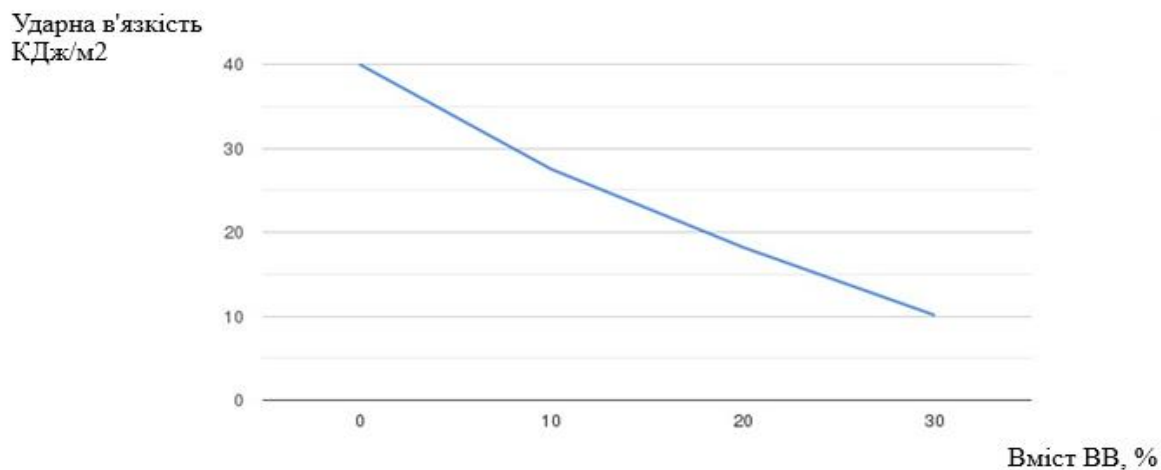


Рис. 3.5. Залежність ударної в'язкості від відсоткового вмісту вуглецевого волокна.

Нижче на рисунках 3.6...3.7 наведені фото копії діаграм, що були отримані на машині FP-100, для композитів з вмістом ВВ 10% і 20%. Зразки з часткою ВВ більше 20 % не випробовувались, оскільки не відповідали поставленим вимогам якості. Згідно проведених досліджень до застосування рекомендується композит з вмістом ВВ 20%.

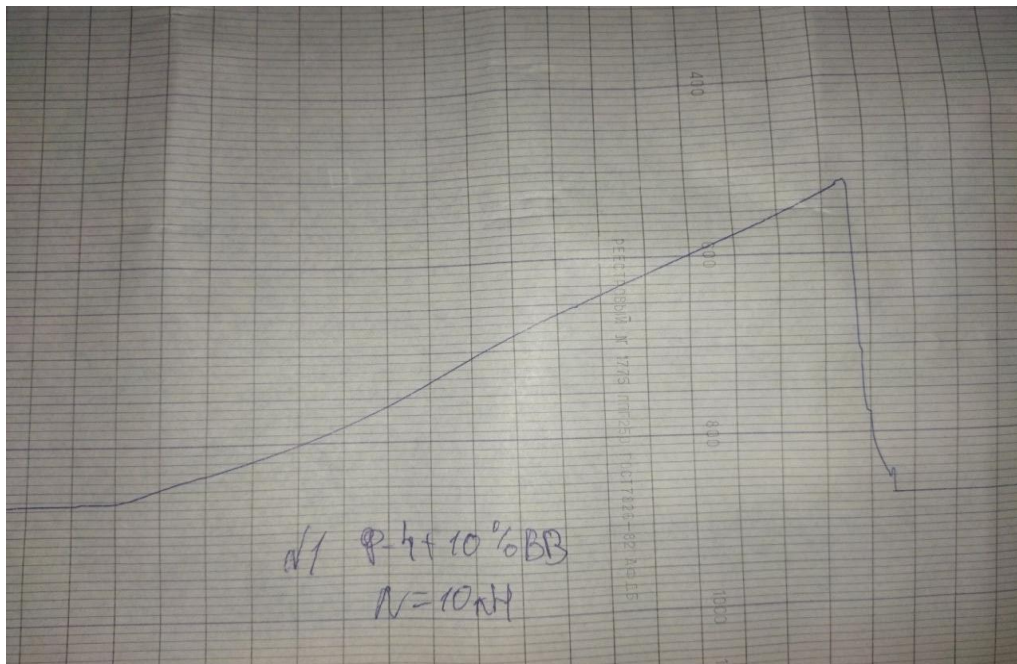


Рис.3.6. Графік дослідження на стиск композиту з вмістом ВВ 10%.

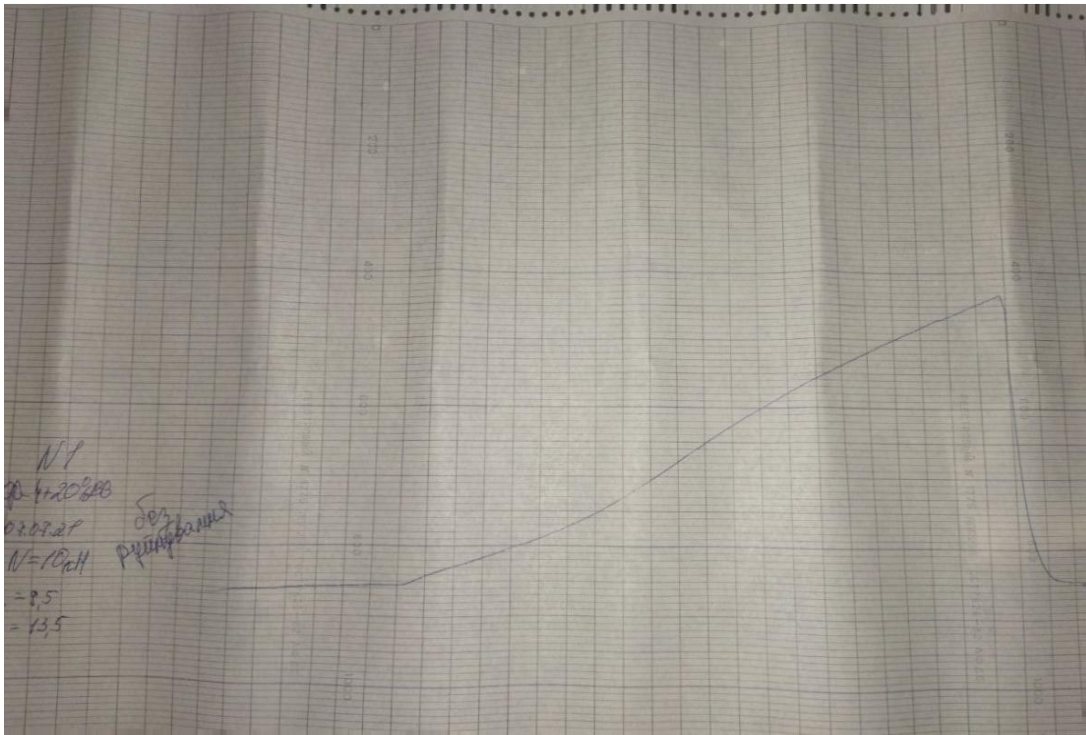


Рис.3.7. Графік дослідження на стиск композиту з вмістом ВВ 10%.  
 Результати дослідження чистого Фторопласту-4 на стиск наведено на рис. 3.8





## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Суть охорони праці**

*Охорона праці* – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці на виробництві [11].

Закон “Про охорону праці” покладає на роботодавців обов'язки по забезпеченню здорових і безпечних умов роботи. Охорону праці треба розглядати, орієнтуючись до певне підприємство чи господарство. Усі заходи з охорони праці тісно пов'язані з організацією роботи, економікою, технічною естетикою і т.д.

Важливою є система охорони праці в наукових організаціях, ЗВО, оскільки студенти на практичних роботах та під час участі у проведенні наукових робіт виконують завдання в умовах підвищеної небезпеки із новими розробленими приладами, дослідним устаткуванням, що підключене до мережі 220 та 380 В.

Тому, при прийомі на роботу співробітники, які влаштовуються на наукову та дослідницьку роботу, проходять вступний інструктаж та первинний на робочому місці. В подальшому проводяться плановий інструктаж (кожні 6 місяців та, у випадку залучення до робіт підвищеної небезпеки, кожні 3 місяці). Позаплановий інструктаж проводять за настання надзвичайних ситуацій, що трапились внаслідок порушення виконання правил безпеки праці персоналом, експлуатацією несправного устаткування та (або) виникнення небезпечних умов у разі поломки устаткування з вираженими небезпечними факторами: вибух або передумови до нього, спалахування і т.д.

В кабінеті № 130 міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії технічного сервісу машин розташоване таке устаткування: машини для

дослідження тертя і зношування матеріалів СМЦ-2; машина для дослідження міцнісних властивостей матеріалів FP-100/1; мікротвердомір ПМТ-3У; оптичний мікроскоп МБІ-6; аналітичні ваги ВЛР-200 та допоміжне обладнання: терморпари, комп'ютери, інструмент тощо.



а)



б)

Рис.4. Обладнання лабораторії, що споживає найбільшу потужність електроенергії: а) машини тертя та зношування; б) розривна машина FP-100/1

Приведено аналіз шкідливих факторів, які можуть виникнути при проведенні дослідів з використанням даного устаткування.

#### **4.2 Аналіз шкідливих факторів при проведенні лабораторних дослідів**

При виконанні лабораторних дослідів працівники можуть знаходитись в зоні дії шкідливих факторів. Наприклад, при роботі з випробувальною машиною FP-100/1 шкідливим фактором є можливість враження електричним струмом та від часток (уламків) матеріалів в момент їх руйнування – 1 (рис.4.2) та зони руху траверси. Траверса має бути огорожена спеціальним щитком, пошкодження якого не допускаються.

Для захисту працівника від уражень уламками у конструкції машини передбачений захисний щиток, виготовлений з оргскла – удароміцного пластику.

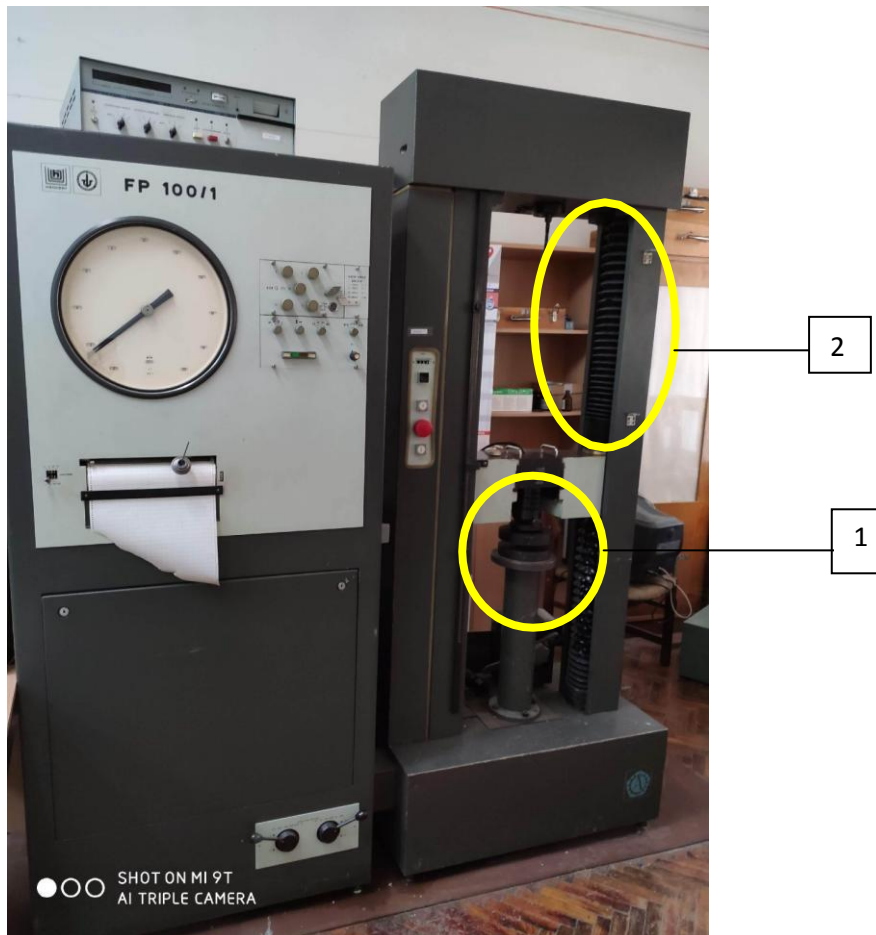


Рис.4.2. Шкідливі фактори, що можуть виникати при роботі машини FP-100/1:

1 – ураження від часток зразків; 2 – зона руху траверси.

При виконанні дослідницьких робіт з екструдером, який застосовувався під час виконання роботи (рис. 4.3), можуть виникнути такі шкідливі фактори: наявність продуктів деструкції полімерів під час їх нагріву до 180...200°C, нагріті сталеві частини екструдера, наявність рідинної ванни, через яку, з метою зниження температури і стеклування, проходять стренги.

При виробництві графітопластиків присутня небезпека розлітання графітових частин по лабораторії по причині адгезії та фізико-механічних властивостей. Як відомо, графіт є провідником електричного струму. Таким чином, необхідно вжити заходів до мінімізації його розпилення по приміщенню лабораторії і швидко очищати поверхню устаткування та підлоги від графітового пилу.



Рис.4.3. Екструдер під час його комплектації

Експериментальний екструдер заземлено та забезпечено вогнегасниками та потоковим водопостачанням.

#### **4.3 Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників**

При зайнятості наукових співробітників в лабораторії необхідно створити умови, що будуть забезпечувати нормальні умови роботи і збережуть їх здоров'я.

Так, усе устаткування, що підключено до електромережі має бути заземлено, а також встановлено відповідні таблички напруги – 220 чи 380 В. У лабораторії мають бути мобільні таблички з написами «Не вмикати – працюють люди», «Прилад не працює», «Обережно, напруга». Освітлення, вентиляція мають відповідати діючим вимогам та чинному законодавству з охорони праці. Лабораторія має бути забезпечена хоча б двома вогнегасниками та системою аварійного знеструмлення всього устаткування (вимкнення подачі електричного струму в лабораторію).

Самі співробітники мають бути оснащені спеціальним одягом, рукавицями, захисними окулярами. У кожній лабораторії має бути медаптечка з наповненням, що відповідає специфіці роботи.

При вході в лабораторію з внутрішньої сторони має бути розміщено Інструкцію з охорони праці і План евакуації при аварійній ситуації.

#### **4.4 Правила безпечного виконання робіт при проведенні науково-дослідних лабораторних робіт**

Виходячи з вище вказаної інформації, співробітники і керівник лабораторії зобов'язані виконувати ці правила безпечного виконання робіт.

Пройти інструктаж з ОП з реєстрацією в журналі.

Вивчити (знати) будову устаткування, його призначення, характеристики, перелік операцій, для яких воно призначається.

Перед проведенням дослідницьких робіт необхідно здійснювати перевірку комплектації, цілісності та непошкодженості устаткування, його роботоздатності устаткування.

Використовувати лабораторне устаткування лише за призначенням. Проводити техобслуговування устаткування згідно з інструкцією до застосування. Повірка має проводитись згідно з графіком.

Після закінчення дослідів, необхідно виконати запис в журналі випробувань (якщо записи не виконуються автоматично), очистити робоче місце, перевірити стан устаткування, вимкнути обладнання з електромережі.

#### **4.5 Розробка вимог безпеки праці при настанні надзвичайної ситуації**

Устаткування в кабінеті № 130 перебуває у зоні ризику, де факторами ризику є: ураження електричним струмом, травматизм обертовими конструкціями або

уламками від зразків, що зруйновано. Тому, розроблено вимоги безпеки праці в разі настання позаштатної ситуації, що пов'язана з цими факторами.

*Вимоги безпеки праці перед початком роботи обладнання.*

До початку роботи в лабораторії працюючий забор'язаний перевірити справність та комплектацію устаткування.

Визначити розмір науково-дослідницьких робіт і раціонально розділити роботи за часом так, щоб гарантувати здорові умови праці та правильне виконання наукових дослідів з метою недопущення похибки дослідницьких результатів.

При експлуатації устаткування треба вслідкувати всім вимогам безпеки, що наведені в „Правилах безпеки праці при роботі з електричним обладнанням” та “Правила безпеки праці при роботі з хімпрепаратами» (до цього віднесено полімери і композити).

*Вимоги безпеки праці під час проведення робіт.*

1. Під час проведення наукових дослідів заборонено знаходитись в лабораторії стороннім особам.

2. Усі досліди, експерименти виконуються тільки на справному та повіреному устаткуванні із дотриманням вимог безпеки роботи.

3. Заборонено проводити перенастроювання, ТО, ремонт устаткування, що ввімкнено до електричної мережі крім діагностування електрочастини машин.

4. Не починати досліди на не підготовленому обладнанні, при ненормативній напрузі в електромережі.

5. Заборонено лишати без нагляду машини тертя, розривну машину, що мають двигуни високої потужності і аналогові схеми керування.

6. Вживати їжу у лабораторії заборонено.

### *Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях*

В випадку виникнення пожежі необхідно викликати пожежну бригаду, доповісти керівнику роботи і прийняти участь в ліквідації епіцентру пожежі. Для цього треба негайно вимкнути електроживлення лабораторії шляхом натискання на тумблер аварійного вимкнення, застосувати вуглекислотний чи порошковий вогнегасник.

При травмуванні працівника треба надати йому термінову допомогу та викликати швидку допомогу. Якщо це неможливо, необхідно терміново доставити працівника до медзакладу.

### *Вимоги безпеки праці після виконання робіт*

1. Вимкнути устаткування і дати охолонути, потім зняти зразки.
2. Почистити устаткування від продуктів зносу, руйнації зразків.
3. Протерти устаткування сухою тканиною.
4. Занотувати час та види досліджень у журналі.
5. Перевірити відсутність пошкоджень вузлів і механізмів, витоків оливи і т.д.
6. Вимкнути устаткування від електроживлення.

**Висновки по розділу.** Проведено аналіз шкідливих факторів під час проведенні наукових дослідів в кабінеті № 130 Міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії техсервісу машин. На основі цього розроблено додаткові пропозиції з покращення умов і безпеки праці при роботі з науково-дослідницьким устаткуванням, що має виключити або звести до мінімуму виникнення позаштатних ситуацій.

## 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

В економічній частині роботи наведемо розрахунки ґрунтообробного агрегату на базі John Deere 6930 і просапного культиватора 2230.

В основу економічної ефективності покладено підвищення експлуатаційної надійності агрегату шляхом застосування композитної втулки для стійки культиваторної лапи. Тоді, змінними показниками роботи МТА будуть продуктивність, витрати робочого часу, паливо-мастильних матеріалів, питомі експлуатаційні та приведені витрати.

Модернізований таким чином просапний агрегат буде виконувати якісну обробку без зупинки на технічне обслуговування, при забезпеченні високої експлуатаційної надійності.

Розрахуємо економічну ефективність застосування модернізованого агрегату John Deere 6930+John Deere 2230LL у порівнянні із традиційним агрегатом у складі John Deere 6930+John Deere 2230LL згідно методики, розробленої науково-педагогічними працівниками кафедри ЕМТП ДДАЕУ [17].

Питомі експлуатаційні витрати агрегату розраховують за формулою:

$$C_{\text{пит}} = C_m + C_{\text{м}} + C_{\text{нмм}} + C_{\text{зн}} \quad (5.1)$$

де  $C_m, C_{\text{м}}$  - сума витрат на реновацію, капітальний і поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин трактора, приймаємо з таблиці 7.1 [17], грн./га;

$C_{\text{нмм}}$  вартість паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

$C_{\text{зн}}$  - оплата праці персоналу, який обслуговує агрегат, грн./га.

$$C_m = \left[ \frac{B_m \cdot \alpha_{\text{рм}} \cdot g_{\text{за}}}{100 \cdot G_n^{\text{пik}}} + \frac{\sum C_m^{\text{н}} \cdot g_{\text{за}}}{1000} \right] \cdot K_i, \quad (5.2)$$

де  $B_m \cdot \alpha_{\text{рм}}$  балансова вартість трактора (грн.) та норма відрахувань, %. З табл.

7.1 [17] визначаємо балансову вартість трактора, яку беремо з урахуванням фактичної сьогоднішньої його ціни (1400000 грн.) та норму відрахувань – 10%;



$\sum C_m^H$  - питомі нормативні витрати на капітальний, поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин і гусениць, грн./т палива, з врахуванням сучасних цін складе близько 2320 грн. Цю цифру приймаємо за табл. 7.1[17].

$G_{год}^{рик}, g$  - нормативне річне завантаження палива (кг). При сезонному навантаженні 60 нормо-змін по 65 га/зм і гектарній витраті палива 2,3 кг, норма річного завантаження складе 8970 кг;

$K_i$  - коефіцієнт індексації цін, який враховує інфляцію. Так як ціни приймаємо реальні, то  $K_i$  приймаємо 1.

Для трактора John Deere 6930 витрати на реновацію, ремонт та технічне обслуговування для даного виду робіт складуть:

$$C_m = \left[ \frac{1400000g \cdot 0g2,3}{100g8970} + \frac{2320g2,3}{1000} \right] = 41,23 \text{ грн} / \text{га}$$

Вартість паливо-мастильних матеріалів знайдемо за формулою:

$$C_{пмм} = C_k \cdot G_{год} = 28 \cdot 2,3 = 64,4 \text{ грн} / \text{га} \quad (5.3)$$

де  $C_k$  - комплексна ціна дизельного пального, грн. Вартість пального буде однаковою для обох варіантів агрегатів, що порівнюються.

Оплату праці обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$C_{зн} = \frac{1,49( K_{нк} \cdot m_{мех} \cdot f_{мех} + m_{доп} \cdot f_{доп} ) \cdot 1,02 \cdot K_з}{W_{зм}}, \quad (5.4)$$

де 1,49 і 1,02 - коефіцієнти, які беруть до уваги при нарахуванні оплати праці;

$K_{нк}$  - коефіцієнт, який передбачає класність механізаторів. Приймаємо коефіцієнт 1,2 для трактористів-машиністів першого класу;

$m_{мех}$  і  $m_{доп}$  - кількість трактористів-машиністів і допоміжних працівників, які обслуговують агрегат;

$f_{мех}$  і  $f_{дон}$  - оплата праці за змінну норму (тарифні ставки) виробітку відповідно трактористам-машиністам і допоміжним працівникам, грн./зм. Приймаємо з табл.7.2 [17];

$K_3$  - коефіцієнт збільшення оплати праці за рахунок інфляції, приймаємо  $K_3 = 10$ .

Оплата праці механізаторів:

$$C_{змс} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 15,58 + 1 \cdot 10,83) \cdot 1,02 \cdot 10}{40} = 14,02 \text{ грн / га}$$

Експлуатаційні витрати культиватора 2230 знайдемо за формулою:

$$C_{сгм} = \left[ \frac{B_M \cdot \alpha_p}{100 \cdot n_{зм}^M \cdot W_{зм}} + \frac{\sum C_{го}}{W_{зм}} \right] \cdot 1, \text{ грн / га} \quad (5.5)$$

$$C_{сгм} = \left[ \frac{550000 \text{ г} 2,5}{100 \text{ г} 40 \text{ г} 60} + \frac{27,4 + 4,3 + 21}{40} \right] \text{ г} = 29,97 \text{ грн / га}$$

Величина капітальних вкладень складе:

$$K = \frac{1400000 \cdot 10 \cdot 2,3}{100 \cdot 8970} + \frac{550000 \cdot 12,5}{100 \cdot 60 \cdot 40} = 64,55 \text{ грн / га}$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{num} = 41,23 + 64,4 + 14,02 + 29,97 = 149,62 \text{ грн / га}$$

Приведені витрати на одиницю площі при експлуатації серійного просапного агрегата знайдемо за формулою:

$$П_г^P = C_n^P + E \cdot K = 29,97 + 0,15 \cdot 64,55 = 39,65 \text{ грн / га}$$

де  $E = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

**Аналогічно проведемо розрахунки для агрегату, що складається з трактора John Deere 6930 і модернізованого культиватора 2230М.**

Експлуатаційні витрати на даному виді робіт складуть для трактора :

$$C_m = \left[ \frac{1400000 \text{ г} 0 \text{ г} 2,3}{100 \text{ г} 8970} + \frac{1850 \text{ г} 2,3}{1000} \right] = 40,16 \text{ грн / га}$$

=

$\sum C_M^n$  - питомі нормативні витрати на капітальний, поточний ремонт, зберігання, заміну шин і гусениць, грн./т палива, без урахування технічного обслуговування культиватора, складе приблизно 1850 грн.

Вартість паливо-мастильних матеріалів знайдемо за формулою:

$$C_{пмм} = C_k \cdot G_{год} = 28 \cdot 2,3 = 64,4 \text{ грн/га}.$$

Оплата праці механізаторів:

$$C_{зпс} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 15,58 + 1 \cdot 10,83) \cdot 1,02 \cdot 10}{42} = 11,56 \text{ грн/га}.$$

Експлуатаційні витрати модернізованого культиватора 2230М знайдемо за формулою:

$$C_{сзм} = \left[ \frac{552000 \text{ грн} \cdot 2,5}{100 \text{ грн} \cdot 2 \cdot 60} + \frac{27,4 + 4,3 + 21}{42} \right] \text{ грн} = 27,12 \text{ грн/га} =$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{итт} = 40,16 + 64,4 + 11,56 + 27,12 = 143,24 \text{ грн/га}$$

Величину капітальних вкладень при експлуатації агрегату за формулою:

$$K = \frac{1900000 \text{ грн} \cdot 0,3}{100 \text{ грн} \cdot 970} + \frac{552000 \text{ грн}}{60 \text{ грн} \cdot 2 \cdot 100} = 50,91 \text{ грн/га}$$

Нами було розраховано, що балансова вартість модернізованого культиватора складатиме 552000 грн.

Приведені витрати на один га при експлуатації модернізованого МТА складуть:

$$П_{г1}^p = C_n^p + E \cdot K = 27,1 + 0,15 \cdot 50,91 = 34,73 \text{ грн/га}$$

Річний економічний ефект:

$$E_E = П_{г}^p - П_{г1}^p, \text{ грн} \quad (5.6)$$

$$E_E = 39,65 \cdot 300 - 34,73 \cdot 300 = 1476 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних витрат визначаємо за формулою:

$$N = \frac{B_{в1} - B_{в2}}{Ee},$$

де  $B_{в1}$ ,  $B_{в2}$  – балансова вартість культиватора до та після модернізації.

$$N = \frac{552000 - 550000}{1476} = 1,36$$

Отримані результати формуємо у в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. – Економічне обґрунтування конструкторської розробки

| Показник   | Одиниця виміру | Варіант                          |                                   |
|--|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|  |                | Базовий                          | Проектний                         |
| Агрегат  | -              | John Deere 6930+ John Deere 2230 | John Deere 6930+ John Deere 2230M |
| Балансова вартість агрегату (трактора + культиватора)        | грн.           | 2450000                          | 2452000                           |
| Нормативне навантаження                                      | нормо-змін     | 60                               | 60                                |
| Змінна продуктивність  | га             | 40                               | 42                                |
| Витрати пального   | кг/га          | 2,3                              | 2,3                               |
| Витрати на реновацію, ремонт та ТО                           | грн. / га      | 41,23                            |                                   |
| Вартість ПММ   | грн. / га      | 64,4                             | 64,4                              |
| Оплата праці   | грн. / га      | 14,02                            | 11,56                             |
| Експлуатаційні витрати                                       | грн. / га      | 149,62                           | 143,24                            |
| Величина капітальних вкладень                                | грн. / га      | -                                | 50,91                             |
| Приведені витрати  | грн. / га      | 39,65                            | 34,73                             |
| Річний економічний ефект від сервісу при навантаженні 300 га | грн.           | -                                | 1476                              |
| Термін окупності   | років          | -                                | 1,36                              |

Таким чином бачимо, що модернізація культиватора John Deere 2230 дозволить ефективно агрегувати її з трактором John Deere 6930. При цьому річний економічний ефект складає 1476 грн. за нормативного річного навантаження 60 нормо-змін. Строк окупності експлуатації машинно-тракторного агрегату у складі John Deere 6930+ John Deere 2230 складе 1,36 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз методів підвищення експлуатаційної надійності машинно-тракторних агрегатів на прикладі культиваторного показав, що можна що удосконалення втулки стійки культиваторів є актуальним завданням, так як жоден вітчизняний виробник цього типу с.-г. машин не застосував інноваційних рішень, направлених на підвищення надійності, а лише додав нові операції ТО.

2. Розраховано, що оптимальними співвідношеннями для виготовлення зразків є сполуки фторопласту і вуглецевого волокна у співвідношеннях 10% і 90%, 20% і 80% та 30% і 90%. Розроблено методику виготовлення експериментальних зразків і виробів.

3. Встановлено, що композити на основі вуглепластиків мають дуже високі показники границі текучості при стисканні (98...101 МПа). Такі матеріали доцільно використовувати у більш навантажених вузлах. Тому, рекомендовано до випробувань наступний композит: Фторопласт-4 + 20% ВВ, який має величину напруження границі текучості при стисканні 57 МПа, ударну в'язкість – 40 кДж/м<sup>2</sup>..

4. Проведений аналіз шкідливих факторів при проведенні експериментальних досліджень в аудиторії № 130 Міжфакультетської проблемної науко- во-дослідної лабораторії технічного сервісу машин. На основі цього розроблені додаткові заходи з поліпшення умов та безпеки праці при роботі з науково- дослідним обладнанням, що повинно унеможливити або знизити до мінімуму виникнення небезпечних ситуацій.

5. Розраховано, що модернізація культиватора 2230 дозволить ефективно агрегатувати її з трактором John Deere 6930. При цьому річний економічний ефект складає 1476 грн. за нормативного річного навантаження 60 нормозмін. Строк окупності експлуатації машинно-тракторного агрегату у складі John Deere 6930+ John Deere 2230 складе 1.36 року.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / [Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.]; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.;
2. Прийоми обробітку ґрунту [Електронний ресурс]. – 2016 р. – С 9. – Режим доступу : <http://poznayka.org/s36133t1.html>;
3. Культиватор [Електронний ресурс]: Вікіпедія – вільна енциклопедія. – 2016. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80#.D0.9A.D0.BB.D0.B0.D1.81.D0.B8.D1.84.D1.96.D0.BA.D0.B0.D1.86.D1.96.D1.8F>;
4. Коток польовий [Електронний ресурс]: Вікіпедія – вільна енциклопедія. – 2016. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9>;
5. Борона [Електронний ресурс]: Вікіпедія – вільна енциклопедія. – 2017. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0>;
6. Типы луцильников. Их назначение и регулировки. [Електронний ресурс] – 2014-2017 рр. – С 55. – Режим доступу: <http://helpiks.org/2-95403.html>;
7. Система кріплення лап до рами та стійкість ходу по глибині. [Електронний ресурс]. – С. 103. – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5063510/page:16/>
8. «Аграрна техніка та обладнання». – 2017. №1 (38). – С. 35 – 36.
9. Обзор культиватора ORTHMAN для полосовой обработки почвы. [Електронний ресурс] : Агропрактик. – 2012 р. – Режим доступу : [http://agropraktik.ru/blog/Strip\\_till/42.html](http://agropraktik.ru/blog/Strip_till/42.html)

10. Україну спасет продуктивное село? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://topor.od.ua/ukrainu-spaset-produktivnoe-selo/>
11. Основы надежности сельскохозяйственной техники / [В.И. Прейсман]; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища школа, 1988. — 17-18 с.
12. Деркач А.Д. Разработка системы повышенной корректности копирования поверхности почвы / А.Д. Деркач, Д.А. Макаренко, А.Н. Шаповал // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Материалы Международной научно-технической конференции посвященной 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Минск. – 2017. С. 180-184.
13. Деркач О.Д. До питання створення широкозахватних посівних комплексів з підвищеним ресурсом рухомих з'єднань / О.Д. Деркач, М.М. Науменко, Д.О. Макаренко [та ін.]. – Х: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2015. – №159. – С. 186-193.
14. Деркач О.Д. Підвищення ефективності посівних машинно-тракторних агрегатів впровадженням сучасних матеріалів / О.Д. Деркач, Д.О. Макаренко, О.В. Клименко // Розумна агротехніка для ефективного землеробства: наук.-практ. конф., 20-21 жовтня 2016 р.: тези доп. – Х: ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2016. – С. 25.
15. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник / М. І. Черновол, В. Ю. Черкун, В. В. Аулін, Є. К. Солових, С. Г. Гранкін, О. В. Гранкіна. - Кіровоград : КОД, 2010. - 320 с.
16. Основы охраны труда: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
17. В.Ю. Ільченко. Практикум з використання машин у рослинництві. [В.Ю. Ільченко, А.С. Кобець, П.М. Кухаренко та ін.]. Навч. посібник. Дніпропетровськ, РВВ ДДАЕУ, 2002 р., 212 с.
18. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. Совет: К.В. Фролов и др. – М.: Машиностроение. Т.IV-3. 2003 – 593 с.