

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ АДАПТАЦІЄЮ ХАРАКТЕРИСТИК
КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛАСТИКІВ ДО УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-12-21 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Муравко Сергій Сергійович

Керівник: _____ Деркач Олексій Дмитрович

Рецензент: _____

Дніпро – 2022

**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)

« ____ » _____ 2022 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Муравку Сергію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Підвищення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки адаптацією характеристик конструкційних пластиків до умов експлуатації»

керівник роботи Деркач Олексій Дмитрович, к.т.н., доцент _____.

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

затвержені наказом ДДАЕУ від

« 18 » 10 2022 року № 3008

2. **Строк подання студентом роботи** 06.12.2022 р. _____.

3. **Вихідні дані до роботи.** Навчальний посібник «Дипломне проектування з машиновикористання в рослинництві», наукові праці НПП кафедри ЕМТП; навчальна, довідкова література з машиновикористання в рослинництві та застосування конструкційних пластиків в конструкції с.-г. техніки.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання та довговічність сільськогосподарської техніки . 2. Теоретичне обґрунтування підвищення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки. 3. Методи та методики досліджень. 4.

Експериментальна частина 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях.

6. Економічне обґрунтування роботи. Загальні висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Титульний лист. 2. Тема, мета, завдання. 3. Аналіз стану питання. 4. Теоретичні аспекти. 5. Методи дослідження властивостей полімерно-композитних матеріалів. 6. Результати досліджень. 7. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 8. Економічне обґрунтування роботи. 9. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Деркач О.Д., зав. каф. ЕМТП		
2	Деркач О.Д., зав. каф. ЕМТП		
3	Деркач О.Д., зав. каф. ЕМТП		
4	Деркач О.Д., доц. каф. ЕМТП		
5	Вініченко І.І, зав. каф. економіки		
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 10.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2022 р.	
2	Теоретичний	до 10.10.2022 р.	
3	Розрахунковий	до 29.10.2022 р.	
4	Експериментальна частина	до 20.11.2022 р.	
4	Охорона праці	до 01.12.2022 р.	
5	Економічний	до 04.12.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.12.2022 р.	

Студент

(підпис)

Сергій МУРАВКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ДЕРКАЧ

(прізвище та ініціали)

Реферат

С.С. Муравко. Підвищення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки адаптацією характеристик конструкційних пластиків до умов експлуатації. ДДАЕУ. – 2022 р. – 68 с.

Дипломна робота складається з пояснювальної записки формату А4, виконаної на 66 сторінках, додатків та супроводжувальних презентаційних слайдів, виконаних в програмі Power Point.

Робота виконана в рамках науково-дослідної роботи держбюджетного фінансування БМ-15/2022 «Розробка композитних елементів необслуговуємих рухомих з'єднань машин і механізмів з використанням відходів побутових, промислових пластиків» (№ держреєстрації 0119U104023).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	8
1.1. Розвиток сільськогосподарської техніки.....	8
1.2. Довговічність, як складова надійності технічних систем.....	12
1.3. Проблеми підвищення довговічності сільськогосподарської техніки.....	13
1.4. Методи підвищення довговічності сільськогосподарської техніки	14
1.5. Обґрунтування теми дипломної роботи	18
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....	20
2.1. Особливості динамічних навантажень в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки	20
2.2. Аналітичне визначення зон напружень в трибоспряженнях, що містять полімерно-композитні деталі	21
Висновки по розділу.....	32
3. ПРОГРАМА, ЗАВДАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
3.1. Програма та завдання досліджень.....	33
3.2. Підготовка полімерно-композитних матеріалів та наповнювачів.....	34
3.3. Одержання полімерно-композитних матеріалів з різним співвідношенням компонентів (поліамід, вуглецеве волокно, графіт, мастило).....	35
3.4. Виготовлення експериментальних зразків методом литтям під тиском та їх підготовка до випробувань.....	36
3.5. Методика дослідження фізико-механічних характеристик експериментальних зразків	38

3.6. Результати дослідження фізико-механічних характеристик матеріалів.....	40
3.7. Виробничі випробування	46
Висновки по розділу.....	48
4. ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	49
4.1. Загальні положення.....	49
4.2. Вимоги безпеки під час роботи.....	50
4.3. Вимоги безпеки після закінчення робіт.....	52
4.4. Вимоги безпеки в аварійних та небезпечних ситуаціях.....	52
4.5. Розрахунок штучного освітлення в лабораторії № 018.....	54
Висновок по розділу.....	57
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	64
БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	66
Додатки	

ВСТУП

Україна – потужна аграрно-промислова країна. Нині триваюча війна з РФ показала, наскільки важливою є аграрна галузь не тільки економіці, а й у сфері національної та продовольчої безпеки нашої країни. Порушені виробничі стосунки як із зовнішніми, так і з внутрішніми партнерами призвели до суттєвого зменшення виробництва сільськогосподарської техніки в Україні. Крім кількості, знижується і якість продукції, бо погіршилася якість складових. Іноді конструкторам необхідно вносити зміни в конструкції машин, щоб по-перше, здешевити машину, а по-друге, зібрати той же культиватор чи посівну машину із доступних складових, які є в наявності або можуть бути поставлені виробнику.

Наприклад, перші екземпляри зернозбиральних комбайнів КЗС-9 «Славутич», які зійшли з конвеєра у 1996 році, мали наробіток до першої відмови на рівні 7...8 годин. Через два роки після доведення техніко-технологічних показників до необхідного рівня, цей показник зріс до 59 годин. Однак, і цього було мало. Адже, конкуренти вітчизняного комбайна – CLAAS, JOHN DEERE – мали цей показник на рівні 160 год.

Щоб сьогодні не втрапити в аналогічну ситуацію, незважаючи на надскладні економіко-виробничі умови, українські виробники повинні отримати доступ до сучасних технологій, матеріалів і конструкцій, які забезпечать підвищення надійності машин.

У даній роботі вирішується проблема підвищення однієї із складових надійності – довговічності.

Дипломна робота виконана в рамках держбюджетної теми «Розробка композитних елементів необслуговуваних рухомих з'єднань машин і механізмів з використанням відходів побутових, промислових пластиків» (№ держреєстрації 0119U104023).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Розвиток сільськогосподарської техніки

Особливістю експлуатації сільськогосподарської техніки (СГТ) є нерівномірність завантаження протягом року, стислі агротехнічні терміни, експлуатація в умовах високої запиленості в середовищі біологічних матеріалів. Як відомо, для проведення технологічних операцій створені різні за конструктивним виконанням і призначенням СГТ: борони дискові, борони зубові, борони пружинні, культиватори, плуги, обприскувачі (самохідні, начіпні і причіпні), розкидачі мінеральних добрив (причіпні, начіпні), жатки, комбайни (причіпні і самохідні). Такі умови експлуатації зумовлювали конструкторів до постійного удосконалення різних елементів. Одні з таких елементів, що мають підвищену інтенсивність зношування є трибоспряження. У своїх працях проф. Буря О.І. згадував тези відомого вченого-триболога Б.І. Костецького, який писав, що «85...90 % деталей машин виходять з ладу через причину зношування, і лише 10...15 % - за причини недостатньої міцності» [1, 2]. Інтенсифікація виробничих процесів у рослинництві спонукає також до інтенсифікації процесів зношування в трибоспряженнях. У зв'язку з цим, у конструкторських відділах виробників СГТ ведуться роботи зі створення посівних машин, що відповідають сучасним вимогам. Тобто, сучасна СГТ повинна мати високу продуктивність, надійність, бути нескладною в експлуатації. Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи проводяться як у напрямі вдосконалення існуючої техніки, так і в напрямку пошуку нових технічних рішень [3]. Процес удосконалення посівних машин закладено у відповідних концепціях, чи парадигмах розвитку.

Так, аналізуючи перші покоління СГТ, можна зробити висновок, що їхнє створення базувалося на законах механіки [4]. Цим були досягнуті такі цілі:

- отримані теоретичні результати досліджень елементів конструкцій СГТ з урахуванням їх взаємодії як між собою, так і з середовищем;

- визначені траєкторії руху елементів машинно-тракторного агрегату по складному рельєфу поля.

У той же час, Альт В.В. стверджував, що тяговий опір СГТ з роками зростає [4] (рис.1.1).

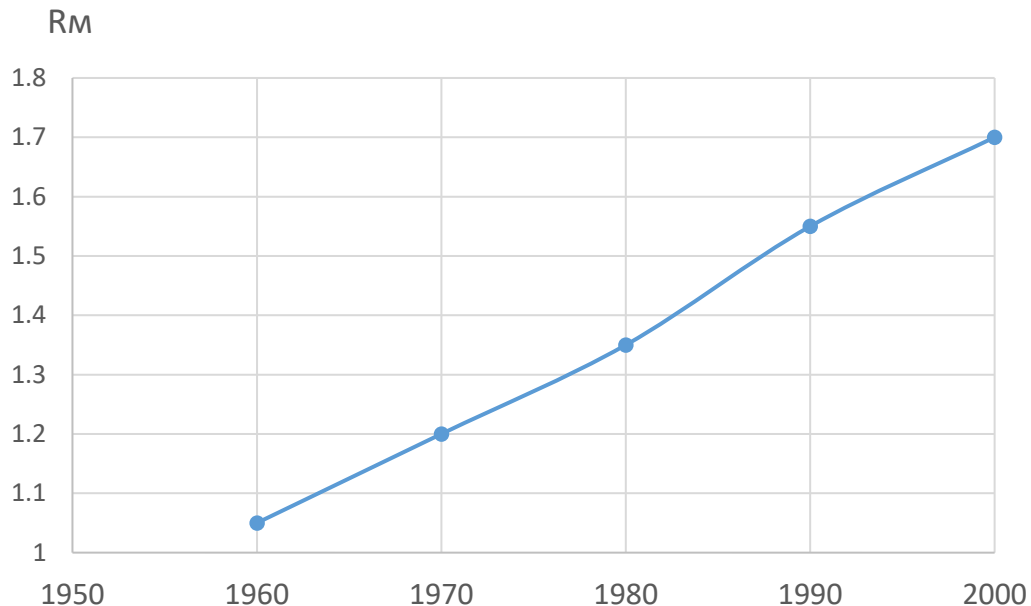


Рис.1.1. Залежність тягового опору сільськогосподарської техніки з роками.

Очевидно, це можна пояснити двома факторами. По-перше, тяговий опір зростає із підвищенням робочої швидкості. А по-друге, збільшення ширини захвату та маси СГТ також сприяє збільшенню цього показника.

Також, прогнозуючи розвиток залежності на рис.1.1 виникає думка, що тяговий опір R_m не може постійно зростати.

Сьогодні модно виділити основні напрямки удосконалення чи модернізації СГТ:

- удосконалення конструкції;
- застосування нових матеріалів.
- інші техніко-технологічні рішення (автоматизація, роботизація).

Як правило, перші два пункти також можуть обмежуватись у випадку агрегування з тракторами класичної тягово-енергетичної концепції (ТЕК). Тобто, коли трактор (енергетичний засіб) тягне за собою сільськогосподарську

машину, яка виконує певну роботу. Навіть якщо сучасні виробники пропонують безпілотні трактори, як от фірма Case IH (CNH) – рис.1.2 – то і тут залишається принцип агрегату ТЕК. Тобто, акцент на підвищення ефективності використання МТА полягає через підвищення його кінематичних показників: зменшення перекриття, підвищення стійкості руху, оптимізація руху в загінці.



Рис.1.2. Безпілотний трактор класичної тягово-енергетичної концепції.

Та ж сама корпорація CNH викупила у фірми Raven автономний робот, який мав назву DOT. Сьогодні цей робот має назву Autonomous Farm Robot (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Сільськогосподарських робот Autonomous Farm Robot

Тут застосовано більш ефективний спосіб агрегування, коли енергетичний засіб не «тягне» за собою СГМ. В цьому випадку, шасі ро́бота має повний привід від гідрооб’ємного приводу і корисна енергія розподіляється відразу на робочі органи машин. Особливо це ефективно, коли Autonomous Farm Robot агрегується з сівалкою.

Однак, як показує аналіз конструкції тієї ж сівалки, яка агрегується з даною машиною, її конструкція являє собою класичне технічне рішення сівалки (рис.1.4): рама, до якої приєднані копіювальні механізми, сошники, прикотне колесо на качаючому важелі і т.д.



Рис.1.4. Посівні секції, що агрегуються з Autonomous Farm Robot виконані за класичним машинобудуванням.

Також нами встановлено, що в паралелограмних механізмах застосовані трибоспряження – рухомі з’єднання – на основі класичного спряження типу «металевий вал – металева втулка». Таке технічне рішення в певній мірі нівелює здатність даної машини автономно працювати тривалий час і може призводити до вимушених простоїв під час відмов або планових технічних обслуговувань (ТО).

1.2. Довговічність, як складова надійності технічних систем

Надійність машин – це комплексна властивість, яка полягає у здатності виконувати задані функції в заданих умовах експлуатації протягом встановленого терміну [5]. У цілому, цей комплексний показник включає в себе такі складові надійності, як безвідмовність, довговічність, працездатність та ремонтпридатність.

Як правило, основу надійності, а, отже, і вказаних вище її складових, закладають при проектуванні та виготовленні машин і підтримують профілактичними заходами, як от – система технічного обслуговування. Як зазначав проф. Рибак Т.І. «наука про надійність машин базується перш за все на певному рівні теоретичних розробок, розрахунків на міцність деталей складових частин, математичній статистиці, теорії ймовірності, тощо» [5, с. 7]. Крім вказаного, варто зауважити, що до цього можна також додати і розрахунки на тертя та зношування та постановка трибологічного експерименту. Бо підвищити довговічність, як складову надійності, можна також, якісно вплинувши на процес тертя у трибоспрямленнях СГТ. Адже, працюючи в складних умовах, деталі СГТ вочевидь піддаються різним видам зношування: механічному, абразивному, хімічному, окиснювальному тощо. Всі ці види тертя детально розкриті в класичній літературі [6], дають нам чітку уяву про те, якими властивостями повинні володіти нові деталі СГТ.

Заявлена тема дипломної роботи направлена на покращення саме довговічності, як складового показника надійності. Дамо визначення цьому терміну.

Довговічність – властивість машини зберігати роботоздатність протягом певного часу або до виконання певного обсягу робіт (за умови виконання технічних обслуговувань і ремонтів) [5]. Отже, цей показник можна охарактеризувати ще й як такий, що довговічність – це граничний термін експлуатації машини, протягом якого зберігаються гарантовані експлуатаційні показники. Слід зауважити, що довговічність має два види: моральну і фізичну. Моральна – обмежується часом, коли машина вже не може відповідати новим

існуючим вимогам у виробництві, а фізична – визначається тривалістю експлуатації.

1.3. Проблеми підвищення довговічності сільськогосподарської техніки

Як правило, при експлуатації СГТ на деталі впливають різні види негативних явищ: волога, температура, абразив, динамічні навантаження. Ці явища викликають з одного боку різні види зношувань, як ми вказували в р.1.2, а саме:

- механічне зношування – викликане контактом двох тіл, що труться (може бути зі змащування, без змащування і граничне);

- абразивне – вид зношування, коли між поверхнями двох тіл, що труться потрапляють твердіші за ці тіла частинки пилу і починають інтенсивно зношувати робочі поверхні;

- хімічне зношування – відбувається при дії агресивних хімічних речовин (пестициди, наприклад);

- окиснювальне – виникає у випадку, коли пара тертя піддається дії кисню повітря або оксигену, що є наявний у змащувальних матеріалах. У цьому випадку, окисна плівка, яка утворюється в результаті реакції, має низькі механічні і несприятливі трибологічні властивості і інтенсивно зношується;

- корозійне зношування – найчастіше відбувається під дією вологи і повітря, як правило чітко проявляється при неправильній постановці машин на зберігання.

Є також і інші види зношувань, але вони менш впливають на довговічність.

Однією з проблем підвищення довговічності СГТ є те, що ми не можемо змінити умови експлуатації. Машини повинні працювати на відкритому повітрі, піддаючись кліматичним впливам, дії абразиву та соку рослинних решток. При цьому, машинам необхідно зберігати і підвищувати продуктивність, темп робіт, а це – зростання швидкостей і навантажень у вузлах тертя. Така залежність вимагає створення нових конструкцій або застосування нових матеріалів із

комплексом нових властивостей, відмінних від традиційних матеріалів – сталей та сплавів. Слід зауважити, що сучасна СГТ має відповідати сучасним екологічним вимогам, створювати мінімальне навантаження на ґрунт та довкілля.

1.4. Методи підвищення довговічності сільськогосподарської техніки

Класичні методи підвищення довговічності являють собою удосконалення конструкторських, технологічних та експлуатаційних методів модернізації [7].

Розглянемо їх детальніше.

До конструкторського методу підвищення довговічності деталей СГТ відноситься створення нових конструкцій вузлів, що включають деталі, виготовлені із довговічних матеріалів та поєднання їх у спряженнях. Конструкторський метод використовується на етапі проектування або вдосконалення конструкцій з урахуванням досягнень науки і техніки.

Підвищити довговічність після проходження конструкторського методу (або у випадку вичерпаних можливостей конструкторського забезпечення надійності) можна, застосувавши технологічний метод. Він полягає в тому, що деталі виготовляються із високою заданою точністю, а також з використанням технологій, які дозволяють корегувати фізико-механічні властивості, управляти процесами зміцнення поверхневих шарів методом термічної та механічної обробки, нанесення поверхневих зносостійких шарів матеріалів, у тому числі й композиційних. Перевагою даного методу є можливість підвищувати довговічність вузлів без внесення змін у конструкцію. Наприклад, підвищити довговічність трибоспряження можна, застосувавши більш зносостійкий матеріал, менш уразливий до зовнішніх факторів тощо.

Найпростішим з точки зору споживача є експлуатаційний метод підвищення довговічності СГТ, суть якого полягає в забезпеченні виконання вимог планових ТО, забезпечення відповідних параметрів технічного стану відповідно до технологічного регламенту та умов експлуатації.

У СГТ довговічність залежить від усіх цих трьох методів. Так само і вплив зовнішніх факторів та умов роботи є важливим моментом при проектуванні нових трибоспряжень.

Враховуючи те, що у сучасних конструктивних рішеннях СГТ основною проблемою, яку долають конструктори є тертя і міцність конструкцій. Динамічні навантаження трибоспряжень.

Щоб забезпечити працездатність конструкцій в умовах динамічних збурень, необхідно подолати такі явища, як тертя та несуча здатність. Дано цим поняттям визначення та коротку характеристику.

Тертя - це складний фізико-механічний процес, кількість і якість його залежить від тиску на поверхні деталі, трибологічних властивостей матеріалу, з якого виготовлені елементи тертя, а також, умов тертя. Наприклад, до умов тертя можна віднести наявність оливи чи твердого змащувача, стабільного транспортування в зону тертя залишків технологічних матеріалів тощо.

Розрізняють такі види тертя:

- без змащування (сухе тертя), коли між поверхнями тіл відсутнє мастило;
- граничне тертя, яке характеризується розділенням деталей між собою тонким шаром (менше 0,1 мкм), який не володіє властивостями рідини;
- рідинне тертя – випадок, коли тертьові поверхні повністю розділені оливою або іншою технологічною рідиною.

Сухе тертя зумовлює найбільшу швидкість зношування в наслідок створення умов для підвищення температури, концентрації тиску P на окремих ділянках, що інтенсифікує процес зношування.

Несуча здатність – це стан конструкції або машини, за якого вона може виконувати свою роботу в заданих умовах експлуатації з допустимими відхиленнями від допустимих параметрів вимог [5]. Іншими словами, цей термін можна охарактеризувати, як властивість деталей складових сатин машини сприймати навантаження, які зустрічаються при зумовлених умовах

експлуатації. При цьому, це несуча здатність повинна відбуватися без порушення функціонального призначення відповідних деталей.

Несуча здатність особливого значення набула в процесі впровадження нових матеріалів, особливо неметалевого походження – полімерів та композитів на їх основі.

Полімерно-композиційні матеріали, які розроблені для використання в конструкціях механізмів і машин, називаються конструкційними пластиками (КП).

Дослідженнями та розробкою КП в механізмах і машинах, зокрема в сільськогосподарському машинобудуванні займалися такі вчені: В.В. Аулін, С.К. Абрамов, П. Дашіч, О.Д. Деркач, Б.А. Ляшенко, Н.Т. Арламова, О.І. Буря, Д.О. Макаренко, Ю.Ф. Климчук, Л.М. Крейдлін, Т.І. Рибак, І.В. Рула, П.Д. Стухляк, О.П. Чигвінцева М. Murgas та ін. Результатом їх об'ємної праці стали розроблені нові речовини і матеріали, нові конструкції машин з новими, недосяжними за використання металів, властивостями. Це пояснюється тим, що трибоспряження, укомплектовані ПК, мають високі зносостійкість і стійкість до корозійних збурень; менші масу, екологічне навантаження тощо.

Застосування ПКМ як таких в трибоспряження машин і механізмів дозволило підвищити довговічність, зменшити експлуатаційні витрати [8, 9].

Можна вважати, що застосування ПКМ у трибоспряженнях – також є одним з методів підвищення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки. Проте, виникла при цьому нова проблема, пов'язана з широким спектром динамічних навантажень у спряженнях СГТ – це відповідність властивостей ПКМ умовам роботи. Так, в роботі [10], наприклад, обґрунтовано застосування вуглепластика УПА-6-30 для виготовлення вічок шнека жатки зернозбиральних комбайнів. При цьому, величина максимальних тисків, які виникають в з'єднанні «палець – вічко» складає всього 0,45 МПа, а границя міцності даного матеріалу при стисненні – 128 МПа. Тобто, невідповідність властивостей матеріалу і умов експлуатації механізму очевидна. Аналогічно. Виконані дослідження в роботі [11], де проведені аналітичні

розрахунки показали, що в спряженні паралелограмного механізму посівних машин Turbosem II 19-60 величина навантаження дорівнює 2377 Н. При цьому, несуча здатність самої полімерно-композитної деталі перевищує в десять разів заявлені навантаження.

Наведений в табл.1.1. аналіз використання марок ВП для виготовлення тих чи інших деталей рухомих з'єднань, вказує на необхідність розробки більш детального підходу до обґрунтування матеріалів.

Таблиця 1.1. – Аналіз використання марок ПК у трибоспряженнях СГТ

Вид техніки	Механізм	Марка ПКМ
Зернозбиральні комбайни	Пальцевий механізм жатки	УПА-6-30/40
	Підшипник променя мотовила	ПА-6, ПА-66, УПА-6-30
Сівалки	Паралелограмний механізм	УПА-6-30/40
	Шарнір важеля прикотного колеса	
Культиватори	Шарнір стійки	УПА-6-40
Автомобільна вантажна	Розтискний кулак гальмівного механізму, шворінь поворотного кулака	
Спецтехніка	Поворотний механізм башти	

Як бачимо з наведеного аналізу, застосування в різних механізмах знаходять практично однакові матеріали. З одного боку, це вирішує проблему універсальності матеріалів, а з іншого – може бути неефективне використання ресурсів. Наприклад, на нашу думку, використання КП марки УПА-6-40 для виготовлення вічок шнека жатки, які піддаються максимальному тиску всього до 0,45 МПа нерационально. УПА-6-30 – це досить дорогий матеріал з високими фізико-механічними і трибологічними характеристиками (табл.1.2), які не реалізуються в повній мірі в даному та аналогічних механізмах. Крім того, вченими нашого університету виконано ряд наукових досліджень із застосування ПКМ, в структуру яких уведено відпрацьовані полімери: поліетилен, поліаміди [12, 13].

Таблиця 1.2 – Деякі властивості ПКМ марки УПА-6-30

Параметр	Розмірність	Показник
Густина	г/см ³	1,2
Ударна в'язкість	кДж/м ²	35...41
Границя міцності при стисканні	МПа	128 ...132
Коефіцієнт тертя без змащування	-	0,26 ... 0,32
Коефіцієнт тертя при змащуванні оливою И-40	-	0,03 ...0,05

Таким чином, для ефективної реалізації властивостей тих чи інших деталей в механізмах, необхідно застосовувати науково-обґрунтовані марки КП.

1.5 Обґрунтування теми дипломної роботи

Аналіз стану питання із застосування КП у конструкціях машин і механізмів, у тому числі, в рухомих з'єднаннях СГТ показав, що виробники, як правило, або сповідують традиційні методи конструювання трибоспряжень СГТ, або використовують КП без належного обґрунтування. Проблема адаптації властивостей КП до умов роботи є очевидна.

Тому, *метою* роботи є розробка адаптивних систем властивостями конструкційних пластиків, які забезпечать підвищення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі *завдання*:

- навести аналіз техніко-технологічних і конструктивних рішень рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки;
- навести методику розрахунку величини зусиль і тисків у метало-полімерних спряженнях;
- провести лабораторні дослідження конструкційних пластиків для ефективного застосування в рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки;
- навести заходи з охорони праці та економічну ефективність при експлуатації модернізованої сільськогосподарської техніки.

Вирішити вищезначені завдання і досягнути мети роботи, можливо в умовах Міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії Дніпровського державного аграрно-економічного університету, так як тут є всі необхідні ресурси: інформаційно-наукове забезпечення; науково-дослідне обладнання; інтелектуальний ресурс; позитивний досвід розробки і впровадження наукових розробок у виробництво.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

2.1. Особливості динамічних навантажень в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки

Умови, в яких експлуатується СГТ можна назвати стохастичними [14]. Це пов'язано як з нерівномірною структурою ґрунту, так і з рельєфними особливостями. При виконанні технологічних операцій, машинні агрегати рухаються по нерівній поверхні (рис.2.1). Горизонтальні перепади в межах одного поля можуть складати до 2...3 метрів, а в межах ширини захвату агрегату – до 0,3 ... 0,5 м. Це спричиняє виникненню великих напружень в рухомих з'єднаннях СГТ. При цьому, ці напруження не повинні впливати на якість і продуктивність агрегатів – технологічні операції повинні бути виконані у відповідності до агротехнічних вимог.

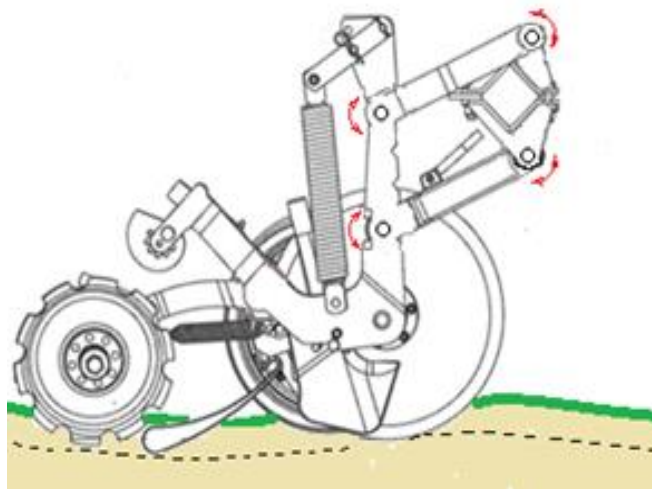


Рис. 2.1 – Схема руху машини по поверхні змінної кривизни (на прикладі посівного агрегату).

Впроваджуючи нові конструктивно-технологічні рішення з обґрунтуванням ПКМ у рухомих з'єднаннях необхідною умовою функціонування трибоспрязень в наведених вище умовах експлуатації є міцність деталей. Так як

основним об'єктом досліджень є адаптація властивостей ПКМ до змінних умов експлуатації, необхідно провести аналітичне визначення областей (зон або полів) напружень і деформацій, які можуть виникати при динамічних знакозмінних навантаженнях.

2.2. Аналітичне визначення зон напружень в трибоспряженнях, що містять полімерно-композитні деталі

У розглянутих нами конструкціях, наведених в табл. 1.1 виникають навантаження і тиски різного порядку. Створена математична модель дала б можливість моделювати стани підшипникових вузлів за різних умов. Зокрема, полімерні композити, володіючи більшими демпферними властивостями, при дії значних навантажень матимуть більші деформації, ніж сталеві корпуси. Величину цих деформацій і повинні дозволяти вираховувати математичні моделі.

Для розробки математичної моделі необхідно скласти вихідні дані. Для цього складемо схему навантаження на основі підшипникового вузла ковзання, в основу якого закладено полімерно-композитні вкладиші (рис. 2.2.) Стандартний підшипниковий вузол має нерозрізний вкладиш рис. 2.2, б (кут α_1 співпадає з кутом α на рис. 2.2, а).

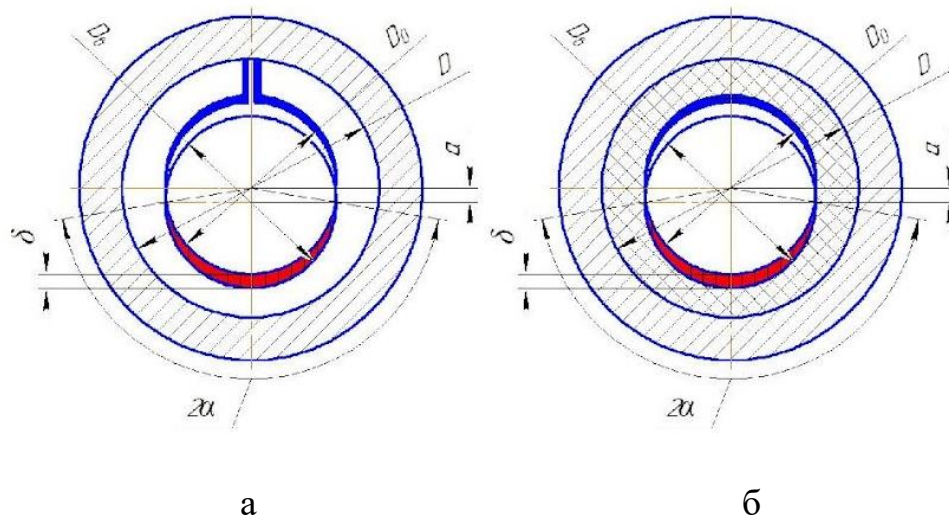


Рис. 2.2 – Порівняльні схеми напружень в підшипниках ковзання в опорному вузлі: I і II – зони розтягу і стиску 2α – внутрішній кут;

За умов дії зовнішнього силового чинника висуваємо припущення про те, що поза зоною контакту відбувається рівномірне радіальне зміщення матеріалу у напрямку до центру (рис. 2.2, б.). Цей ефект можна виразити за формулою:

$$U_r(\varphi) = -C_1, \text{ при } |\varphi| \geq \alpha \quad (2.1)$$

де C_1 - величина "стрибка" (або моментального зміщення), що визначається з умови незмінності повного об'єму підшипника.

Використовуючи рівність площ $S_1 = 2(\alpha \sin \alpha - \Delta_R \alpha)$ та $S_2 = 2 \cdot C_1 \cdot (\pi - \alpha)$, можемо визначити константу C_1 за умови, що $S_1 = S_2$. Підставивши її у вираз (2.1), отримаємо:

$$U_r(\varphi) = \frac{-\Delta_R (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)}{(\pi - \alpha)}, \text{ при } |\varphi| \geq \alpha \quad (2.2)$$

При знаходженні функції $\sigma_{\varphi\varphi}(\varphi)$ виходить з того, що поява відмінного від нуля напруження $\sigma_{\varphi\varphi}$ пов'язана тільки з "витискуванням" матеріалу поза зоною контакту. Якщо прийняти аналогічне припущення як в (2.1), то отримаємо:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\varphi) = C_2 \quad (2.3)$$

Константу C_2 можливо визначити з граничної умови, при $\varphi = \pm\alpha$:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\pm\alpha) = \frac{E}{(1+\nu) \cdot \nu} \cdot \frac{\alpha \cdot \cos \alpha - \Delta_R}{S} \quad (2.4)$$

У випадку, коли отримаємо $C_2 = 0$, то з урахуванням математичних законів, знайдемо, що:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\pm\alpha) = \frac{E}{(1+\nu) \cdot \nu} \cdot \frac{U_r(\pm\alpha)}{S} \quad (2.5)$$

При $\nu = 0,5$:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\varphi) = -\frac{4}{3} \cdot \frac{E}{S} \cdot \Delta_R \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi - \alpha} \quad (2.6)$$

З урахуванням граничної умови (2.3), і вираз (2.4) можна подати в наступному вигляді:

$$\sigma_{rr} = \begin{cases} -\frac{1}{1-\nu^2} \cdot \frac{E}{S} a \cdot \cos\alpha \left(\frac{\cos\varphi}{\cos\alpha} - 1 \right), & \text{при } |\varphi| \leq \alpha; \\ 0, & \text{при } |\varphi| \geq \alpha. \end{cases} \quad (2.7)$$

Запропонованій (рис.2.2, б) схемі навантаження при її роботі, відповідає епюра радіальних деформацій (рис.2.3). Оскільки відбувається зміщення α осі валу, її не можна знайти у випадку тільки з одних геометричних міркувань, то рівняння визначення зміщення α має вигляд:

$$\int_V U_{\varphi\varphi} dV = 0, \quad (2.8)$$

де V - об'єм полімерно-композитного підшипника ковзання.

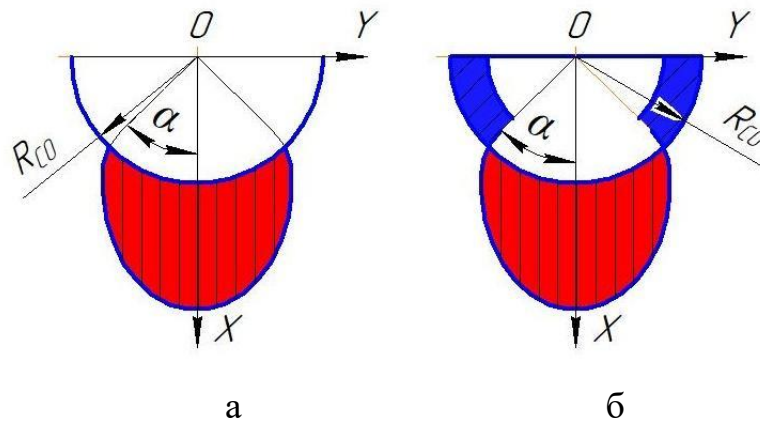


Рис. 2.3 – Епюри радіальних деформацій при статичному навантаженні вкладишу: а – з осьовим розрізом; б – без осьового розрізу.

Якщо брати до уваги реальну зміну геометрії деталі, то з цих міркувань зміна об'єму підшипника буде така:

$$\Delta V = V - V',$$

де V і V' - об'єм полімерно-композитного підшипника відповідно до і після деформації; l – довжина втулки за твірною.

Тобто маємо:

$$\Delta V = l \int_0^{2\pi} \int_{R_1}^{R_1 - U_r(\varphi)} r dr d\varphi. \quad (2.9)$$

Через те, що геометричні параметри мають таку залежність: $R_1 \gg U_r(\varphi)$, вираз (2.9) можна дещо спростити:

$$\Delta V = l R_1 \int_0^{2\pi} U_r(\varphi) d\varphi. \quad (2.10)$$

Виходячи з фізичного змісту діагональних компонент тензора деформації, маємо:

$$\Delta V = - \int_V U_{rr}(r, \varphi) dV - \int_V U_{\varphi\varphi}(r, \varphi) dV. \quad (2.11)$$

У циліндричних координатах перший доданок правої частини набирає вигляду:

$$- \int_V U_{rr} dV = - \int_0^l dz \int_0^{2\pi} \int_{R_1}^{R_1+S} U_{rr}(r, \varphi) r dr d\varphi. \quad (2.12)$$

Проінтегрувавши по r за умови, що в нульовому наближенні по малому параметру S/R_1 , деформація $U_{rr}(r, \varphi) = U_{rr}(\varphi)$. Можна переконатися, що права частина рівняння (2.12), тобто і перший доданок правої частини рівняння (2.11) аналогічна правій частині рівняння (2.10). Це доводить справедливість виразу (2.8) за умови (2.1). Від інтегральної умови (2.8) можна перейти через пряме інтегрування $U_{\varphi\varphi}$ від об'єму по r і z з урахуванням симетрії завдання. При інтегруванні отриманого рівняння по $\varphi \in (0 \text{ до } \pi)$, розділимо обидві частини виразу на $(1-\nu)^2$ і визначимо відповідне зміщення a [15]:

$$a = \frac{\Delta_R}{\cos \alpha} \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \left(\frac{\text{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \right) \right]^{-1} \quad (2.13)$$

Якщо підставивши вираз (2.13) у вираз (2.7), то отримаємо остаточну формулу для контактного напруження:

$$\sigma_{rr} = \begin{cases} -\frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{\Delta_R}{S} \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \alpha} - 1 \right) \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)}{\pi} \right]^{-1}, & \text{при } |\varphi| \leq \alpha; \\ 0, & \text{при } |\varphi| \geq \alpha. \end{cases} \quad (2.14)$$

Вираз (2.13) можливо використати при отриманні виразів для зміщень і деформацій полімерної втулки по зонах розтягу I і стискання II (рис. 2.2). Запишемо повну систему рівнянь і граничних умов для напружено етапу рухомого вузла деталей у циліндричних координатах:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}}{r} = 0; \\ \frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{2 \cdot \sigma_{r\varphi}}{r} = 0, \end{cases} \quad (2.15)$$

де σ_{rr} та $\sigma_{\varphi\varphi}$ - нормальні напруження, $\sigma_{r\varphi}$ - дотичні; σ_{zz} - осьове напруження з врахуванням деформацій U_{rr} , $U_{\varphi\varphi}$, $U_{r\varphi}$:

$$\sigma_{rr} = \frac{E \cdot [(1-\nu)U_{rr} + \nu U_{\varphi\varphi}]}{(1-2\nu)(1+\nu)}; \quad \sigma_{\varphi\varphi} = \frac{E \cdot [\nu U_{rr} + (1-\nu)U_{\varphi\varphi}]}{(1-2\nu)(1+\nu)}; \quad (2.16)$$

$$\sigma_{r\varphi} = \frac{E \cdot U_{r\varphi}}{2 \cdot (1+\nu)}; \quad \sigma_{zz} = \frac{\nu E \cdot [U_{rr} + U_{\varphi\varphi}]}{(1-2\nu)(1+\nu)};$$

Деформація U_{rr} , $U_{\varphi\varphi}$ і $U_{r\varphi}$ пов'язані зі зміщенням U_r , U_φ співвідношенням:

$$U_{rr} = \frac{\partial U_r}{\partial r}; \quad U_{\varphi\varphi} = \frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{U_r}{r}; \quad U_{r\varphi} = \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{U_\varphi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} \quad (2.17)$$

Додаємо до рівнянь граничні умови і граничні умови на внутрішній поверхні вкладиша $r = R_1$. Для зони I величини зони контакту $0 \leq |\varphi| \leq \alpha$, а для зони II $\bar{\alpha} \leq |\varphi| \leq \pi$.

В зоні контакту можливе припущення про недеформованість валу, радіальні зміщення дорівнюють:

$$U_r^{(I)}(r, \varphi) = a \cdot \cos \varphi - \Delta_R. \quad (2.18)$$

Радіальні напруження поза зоною контакту:

$$\sigma_{rr}^{(II)}(R_1, \varphi) = 0; \quad (2.19)$$

Граничні умови на зовнішній поверхні $r = R_2$ у випадку припущення про недеформованість поверхні корпусу дорівнює:

$$U_r(R_2, \varphi) = 0. \quad (2.20)$$

Відсутність дотичних напружень на зовнішній поверхні забезпечуватиметься умовою:

$$U_{r\varphi}(R_2, \varphi) = 0 \quad (2.21)$$

До останньої умови додаємо умови симетрії:

$$U_r(r, 0) = 0 \text{ при } R_1 \leq r \leq R_2; \quad U_\varphi(r, \pi) = 0 \text{ при } R_1 \leq r \leq R_2. \quad (2.22)$$

Оскільки $S \ll R_1$, то $\sigma_{r\varphi}(r, \varphi) = 0$. Виходячи, що $\frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} = 0$ і $\frac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} = 0$, то

$$\partial \sigma_{\varphi\varphi}(r, \varphi) = f(r).$$

При визначенні деформацій $\frac{\partial U_r}{\partial r}$, маємо:

$$U_r(r, \varphi) = U_r(R_1, \varphi)(R_2 - r) / S \quad (2.23)$$

Для радіальних зміщень U_r і деформацій U_{rr} в зоні контакту маємо:

$$U_r^{(I)}(r, \varphi) = (a \cos \varphi - \Delta_R) \cdot (R_2 - r) / S \quad (2.24)$$

$$U_r^{(II)}(r, \varphi) = (a \cos \varphi - \Delta_R) / S$$

Нормальні напруження в точці $\varphi = \alpha$, дорівнює нулю: $\sigma_{rr}(R_1, \alpha) = 0$.

З цієї умови випливає, що:

$$U_{\varphi\varphi}(R_1, \alpha) = -\frac{1-\nu}{\nu} \cdot U_{rr}(R_1, \alpha) \quad (2.25)$$

Крім цього для напруження $\sigma_{rr}(R_1, \varphi)$ отримаємо:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(R_1, \varphi) = \sigma_{\varphi\varphi}(R_1, \alpha) = -\frac{E}{\nu(1+\nu)} U_{rr}(R_1, \alpha) \quad (2.26)$$

Остаточно при $\varphi = \alpha$, маємо:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(R_1, \varphi) = \frac{E}{\nu(1+\nu)} \frac{a \cos \alpha - \Delta_R}{S} \quad (2.27)$$

Зазначені формули справедливі як в зоні (I), так і в зоні (II):

$$U_{\varphi\varphi}^{(I)}(R_1, \varphi) = -\frac{1-\nu}{\nu} \cdot U_{rr}^{II}(R_1, \varphi) \quad (2.28)$$

$$U_{\varphi\varphi}^{(II)}(R_1, \varphi) = -\frac{E}{\nu(1+\nu)} \cdot U_{rr}^{II}(R_1, \varphi)$$

Вираз для радіального зміщення отримаємо, використовуючи формулу:

$$U_r(r, \varphi) = \frac{U_r(R_1, \varphi)(R_2 - r)}{S}, \quad (2.29)$$

З врахуванням (2.13) для деформованих зон розтягу (I) і стискання (II) отримаємо:

$$U_r^{(I)}(r, \varphi) = \Delta_R \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \alpha} - 1 \right) - \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1} \cdot \frac{(R_2 - r)}{S}; \quad (2.30)$$

$$U_r^{(II)}(r, \varphi) = -\Delta_R \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1} \cdot \frac{(R_2 - r)}{S}. \quad (2.31)$$

Кутові зміщення в зонах розтягу і стискання отримаємо, використовуючи формули:

$$U_{\varphi\varphi}^{(I)}(R_1, \varphi) = \frac{1-\nu}{\nu} \cdot \frac{\alpha \cos \alpha - \Delta_R}{S}. \quad (2.32)$$

$$U_{\varphi\varphi}^{(II)} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi}. \quad (2.33)$$

При цьому для $U_{\varphi}^{(I)}$ та $U_{\varphi}^{(II)}$ отримаємо наступні вирази:

$$U_{\varphi}^{(I)}(r, \varphi) = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{R_1}{S} \Delta_R \cdot \left(\frac{\sin \varphi}{\cos \alpha} - \varphi \right) - (tg \alpha - \alpha) \cdot \frac{\varphi}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1}; \quad (2.34)$$

$$U_{\varphi}^{(II)}(r, \varphi) = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{R_1}{S} \cdot \Delta_R \cdot (tg \alpha - \alpha) \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{\pi} \right) \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1}; \quad (2.35)$$

Для деформацій U_{rr} , використавши формули:

$$U_{rr}^{(I)}(r, \varphi) = \frac{\alpha \cos \varphi - \Delta_R}{S}; \quad (2.36)$$

$$U_{rr}^{(II)}(R_1, \varphi) = \frac{\alpha \cos \varphi - \Delta_R}{S}. \quad (2.37)$$

Враховуючи вираз (2.24) формули для $U_{rr}^{(I)}$ та $U_{rr}^{(II)}$:

$$U_{rr}^{(I)}(r, \varphi) = -\frac{\Delta_R}{S} \cdot \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \alpha} - 1 \right) - \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1}; \quad (2.38)$$

$$U_{rr}^{(II)}(r, \varphi) = -\frac{\Delta_R}{S} \cdot \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1}. \quad (2.39)$$

Для отримання виразів для деформацій $U_{\varphi\varphi}^{(I)}$ та $U_{\varphi\varphi}^{(II)}$ використовуємо

вирази:

$$U_{\varphi\varphi}^{(I)}(r, \varphi) = (\nu \cdot (1-\nu) \cdot S)^{-1} \cdot \left\{ a \left[(1-2 \cdot \nu) \cdot \cos \alpha + \nu^2 \cos \varphi \right] - \Delta_R \cdot (1-\nu)^2 \right\}, \quad (2.40)$$

$$U_{\varphi\varphi}^{(II)}(r, \varphi) = \frac{1-\nu}{\nu} \cdot \frac{\alpha \cos \alpha - \Delta_R}{S}. \quad (2.41)$$

Враховуючи вираз (2.24), отримаємо:

$$U_{\varphi\varphi}^{(I)}(r, \varphi) = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{\Delta_R}{S} \cdot \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \alpha} - 1 \right) - \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{tg \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1};$$

(2.42)

$$U_{\varphi\varphi}^{(II)}(r, \varphi) = -\frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{\Delta_R}{S} \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1}. \quad (2.43)$$

Нормальне напруження з врахуванням (2.24) в зонах розтягу (I) і стиску (II) визначається за формулами:

$$\sigma_{rr}^{(I)}(r, \varphi) = -\frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{\Delta_R}{S} \cdot \left(\frac{\cos\varphi}{\cos\alpha} - 1 \right) \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1}; \quad (2.44)$$

$$\sigma_{rr}^{(II)}(r, \varphi) = 0. \quad (2.45)$$

Вираз для напруження $\sigma_{\varphi\varphi}$, що є загальне для обох зон, представлений наступним чином:

$$\sigma_{\varphi\varphi}^{(I)}(r, \varphi) = \sigma_{\varphi\varphi}^{(II)}(r, \varphi) = \frac{\nu E}{(1-\nu) \cdot (1-\nu^2)} \cdot \frac{\Delta_R}{S} \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1} \quad (2.46)$$

Для умов: $S \leq R_1$ випливає, що $\sigma_{r\varphi}(r, \varphi) = 0$. Враховуючи це, умова є загальною для обох зон і характеризує напруження:

$$\sigma_{r\varphi}^{(I)}(r, \varphi) = \sigma_{r\varphi}^{(II)}(r, \varphi) = 0. \quad (2.47)$$

Враховавши формули (2.44), (2.46) та формулу визначення σ_{zz} , маємо:

$$\sigma_{zz} = \frac{\nu \cdot E}{(1-2 \cdot \nu) \cdot (1+\nu)} \cdot (U_{rr} + U_{\varphi\varphi}) = \nu \cdot (\sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi}). \quad (2.48)$$

Використовуючи вирази, отримані для зон розтягу (I) та стиску (II), отримуємо:

$$\sigma_{zz}^{(I)} = -\frac{\nu \cdot E}{1-\nu^2} \cdot \frac{\Delta_R}{S} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi}} \cdot \left(\frac{\cos\varphi}{\cos\alpha} - 1 + \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha - \alpha}{\pi} \right); \quad (2.49)$$

$$\sigma_{zz}^{(II)} = -\frac{\nu^2}{(1-\nu)} \cdot \frac{E}{(1-\nu^2)} \cdot \frac{\Delta_R}{S} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1} \quad (2.50)$$

До виразів (2.49) і (2.50) необхідно додати умову плоскої деформації $U_{zz}^{(I)}(r, \varphi) = U_{zz}^{(II)}(r, \varphi) = 0$, а також систему рівностей:

$$\begin{aligned} U_z^{(I)}(r, \varphi) &= U_z^{(II)}(r, \varphi) = 0; \\ U_{zr}^{(I)}(r, \varphi) &= U_{zr}^{(II)}(r, \varphi) = 0; \\ U_{z\varphi}^{(I)}(r, \varphi) &= U_{z\varphi}^{(II)}(r, \varphi) = 0; \\ \sigma_{zr}^{(I)}(r, \varphi) &= \sigma_{zr}^{(II)}(r, \varphi) = 0; \\ \sigma_{z\varphi}^{(I)}(z, \varphi) &= \sigma_{z\varphi}^{(II)}(z, \varphi) = 0. \end{aligned}$$

Що стосується невідомої величини α , то її визначають з формули:

$$L_{IV} = \frac{1}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{\alpha}{\cos \alpha} - \sin \alpha \right) \cdot \left[1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha - \alpha}{\pi} \right]^{-1} \quad (2.51)$$

де L_{IV} - статична кутова функція, що зв'язує навантаження P з кутом напівохоплення α . Індекс IV означає, що формула отримана для матеріалів з довільними значеннями коефіцієнта Пуассона. Значення L_{IV} можна визначити з [15].

Отриману систему рівнянь розв'язуємо за допомогою прикладної програми MathCad 14.0 (trial version).

Для остаточного визначення реакцій опор на прикладі рухомих з'єднаннях посівної секції комплексу «Агро-Союз Turbosem II 19-60», відобразимо остаточні реальні результати вихідних ланок, що характеризують відтворення у схематичному вигляді паралелограмного механізму: $AB_1 = CD = 600$ мм; $B_1B_2 = 85$ мм; $B_2P_1 = 75$ мм; $AC = B_1D = 215$ мм; $DE = 160$ мм; $ES = 100$ мм; $SP_1 = 80$ мм; $SJ = 200$ мм; $JD = 200$ мм; $U_1J = 130$ мм; $U_2J = 140$ мм; $U_1J = 130$ мм; діаметри диску 400 мм, опорного колеса 400 мм; прикотного колеса 305 мм; $\angle \varphi_{\max} = 65^\circ$

; $\angle\alpha = 45^\circ$; $\angle\beta = 72^\circ$; $\angle\gamma = 80^\circ$, $l_1 = 100$ мм. Значення мас окремих деталей: $m_1 = 15$ кг; $m_2 = 7$ кг; $m_3 = 9$ кг; $m_4 = 4$ кг; $m_5 = 4$ кг; $m_6 = 8$ кг; $m_7 = 10$ кг; $m_8 = 7$ кг; $m_9 = 1,5$ кг. Коефіцієнт жорсткості пружини: $P_1P_2 = 162$ Н/см; $U_1U_2 = 95$ Н/см.

Також підчас експлуатації посівної секції на спряження рухомих з'єднань деталей необхідно визначити зовнішні сили, які діють на посівну секцію з умов їх максимального динамічного впливу. Посівний комплекс Turbosem II 19-60 з тракторами потужністю 310 к.с. з умов експлуатації дані транспортні засоби повинні мати підчас роботи 25% запасу за потужністю.

Приймаючи до уваги, що в такому випадку максимальна потужність трактора, що діє на агрегат складатиме 233 к.с., ця потужність під час роботи розподіляється на 60 посівних секцій. Тому, у розрахунку на одну секцію під час роботи буде діяти потужність, величиною 3,9 к.с. З технічних умов дана потужність діє за швидкості руху посівного комплексу близько 8...9 км/год. Щоб визначити силу тяги, що діє на посівну секцію використаємо просту формулу Д. Уатта:

$$W = F \cdot v \Rightarrow F = \frac{W}{v}. \quad (2.52)$$

За таких умов сила тяги, що буде прикладена до посівної секції складе 1150 Н. Для врахування всіх можливих сил, що діють на посівні секції, враховуємо і силу тяжіння рамної конструкції посівного комплексу. Тому маса посівного комплексу без бункеру також розподіляється між 60 посівними секціями. Загальна маса посівного комплексу 11900 кг. В такому випадку на кожну посівну секцію буде діяти 199 кг, а сила 1952 Н. Сила тяги та ваги рамної конструкції розподіляється порівну між двома кріпленнями посівної секції до рами посівного комплексу.

Підставивши зазначені числові значення в систему наведених у даному розділі рівнянь, застосувавши програму MathCad 14.0 (trial version), отримуємо такі результати силової картини посівної секції комплекс Turbosem II 19-60:

$$F_{R1} = 3022,5, F_{R2} = 2817,8 \text{ Н}; F_{R3} = 941,2;$$

$R_A = 1663 \text{ Н}; R_{B1} = 2377,3 \text{ Н}; R_C = 1285,9 \text{ Н}; R_D = 1674,5 \text{ Н}; R_E = 2876 \text{ Н}; R_S = 2677,3 \text{ Н}; R_J = 921,1 \text{ Н}; R_D = 893,7 \text{ Н}.$

Висновок по розділу.

Проведений аналіз особливостей використання підшипникових вузлів в сільськогосподарській техніці та описані критерії вибору підшипника.

Наведене аналітичне обґрунтування експлуатації полімерно-композитного підшипника ковзання в рухомих вузлах посівної секції сільськогосподарської техніки.

Проведений аналіз схеми навантаження підшипника ковзання, на основі чого вибрана математична модель згідно теорії пружності для розрахунку зміщень (радіальних, кутових), деформацій,(радіальних, осьових), а також нормальної, дотичної напруги для полімерного підшипника по зонах розтягування і стискування із застосуванням моделей для їх реалізації в програмному середовищі MathCad 14.0 (trial version).

Отримані значення силових зусиль лежать в межах $941,2...3022,5 \text{ Н}$; а реакції в шарнірах – до $2677,3 \text{ Н}$ є підґрунтям для вибору і обґрунтування полімерно-композитних матеріалів із заданим комплексом властивостей.

3. ПРОГРАМА, ЗАВДАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма та завдання досліджень

Аналіз зон напружень та визначення силової картини у рухомих з'єднаннях, які складаються з пари тертя «полімерний композит – сталь», дозволяє обґрунтувати необхідні характеристики та властивості ПКМ. Наступним етапом є розробка або підбір необхідних КМ для забезпечення певної «запрограмованої» довговічності трибоспряження. Одним із найбільших факторів, що впливає на працездатність ПКМ є їх фізико-механічні характеристики та властивості, а саме межа текучості та ударна в'язкість. Перший параметр характеризує величину навантаження, за якого матеріал починає втрачати свою геометричну форму. В реальних трибоспряженнях деталь деформується та втрачає працездатність, або її довговічність різко зменшується. КМ зі значною ударною в'язкістю забезпечують працездатність в умовах знакозмінних ударних навантажень. Саме тому, забезпечення необхідних характеристик та властивостей ПКМ, з урахуванням режимів роботи трибоспряжень є актуальною задачею машинобудування.

Програма робіт складалася з таких етапів:

- підготовка полімерно-композитних матеріалів та наповнювачів;
- одержання полімерно-композитних матеріалів з різним співвідношенням компонентів (поліамід, вуглецеве волокно, графіт, мастило);
- виготовлення експериментальних зразків методом лиття під тиском та їх підготовка до випробувань;
- дослідження фізико-механічних характеристик одержаних матеріалів;
- обробка результатів та формування висновків.

Основним завданням досліджень є обґрунтування складів ПКМ, що забезпечать реалізацію адаптивної системи управління довговічністю трибоспряжень сільськогосподарської техніки.

3.2 Підготовка полімерно-композитних матеріалів та наповнювачів

Основою (матрицею) майбутніх ПКМ обрано поліамід 6. Як наповнювачі в роботі використано – вуглецеве волокно довжиною 3 мм, порошок-графіт та мастило ПМС-400. Поліамід 6 та графіт – гігроскопічні. Тому, для видалення вологи зі вказаних компонентів, перед переробкою, виконували їх сушіння протягом 2 годин, в термошафі СНОЛ 67/350 (рис. 3.1), за температури 80 °С.



Рисунок 3.2 – Термошафа СНОЛ 67/350

Додавання мастила ПМС-400 виконували шляхом перемішування з матрицею в обертовому електромагнітному полі на машині АВС-100. Режим змішування: тривалість – 15 секунд, повторюваність – 5 разів.

В таблиці 3.1 наведено склади ПКМ та їх умовні назви, які одержували шляхом екструзії.

Таблиця 3.1 – Склади розроблених ПКМ та їх умовні назви

Умовна назва ПКМ	Відсотковий вміст компонентів в ПКМ, мас. %			
	Поліамід 6	Вуглецеве волокно	Графіт	Масло ПМС- 400
УПА-6-10	90	10	-	-
УПА-6-15	85	15	-	-
УПА-6-20	80	20	-	-
УПА-6-20+1,5ПМС	78,5	20	-	1,5
УПА-6-20+5ГР	75	20	5	-

Вибір концентрації компонентів обґрунтований тим, що найбільшої ударної в'язкості ПКМ, на основі поліаміду 6, зазвичай можна досягнути при наповненні вуглецевим волокном 17 мас.% [1, 2]. При цьому, необхідно обов'язково приймати певний діапазон концентрацій відносно оптимального значення.

3.3 Одержання полімерно-композитних матеріалів з різним співвідношенням компонентів (поліамід, вуглецеве волокно, графіт, мастило)

Змішування компонентів та їх переробка в ПКМ виконували на експериментальному екструдері ЕКГ-45 (рис. 3.2). Екструдер обладнаний двома дозуючими пристроями: для основного компоненту – матриці, і окремо для наповнювача. Суміш компонентів після попереднього змішування транспортується до чотирьох зон нагріву, що мають різну температуру. В зонах нагріву відбувається поступове прогрівання суміші компонентів до температури розплаву. Одержаний розплав через систему фільтер подається під тиском у

вигляді безперервних стренгів та подається у ванну з водою, де відбувається їх охолодження. Стренги після охолодження подрібнюються на грануляторі.



Рисунок 3.2 – Експериментальний екструдер ЕКГ-45

В подальшому, для видалення залишків вологи одержані гранули ПКМ сушили в термошафі СНОЛ 67/350 за температури 80 °С протягом 3...4 годин.

3.4 Виготовлення експериментальних зразків методом литтям під тиском та їх підготовка до випробувань

Основний компонент всіх одержаних ПКМ – поліамід 6, гігроскопічний матеріал. Тому, перед виготовленням експериментальних зразків виконували сушіння ПКМ за температури 90 °С протягом мінімум 4 годин у термошафі з конвекцією – СНОЛ 67/350.

Виготовлення експериментальних зразків для дослідження характеристик одержаних матеріалів виконували методом лиття під тиском на машині ПЛ-32 (рис. 3.3).

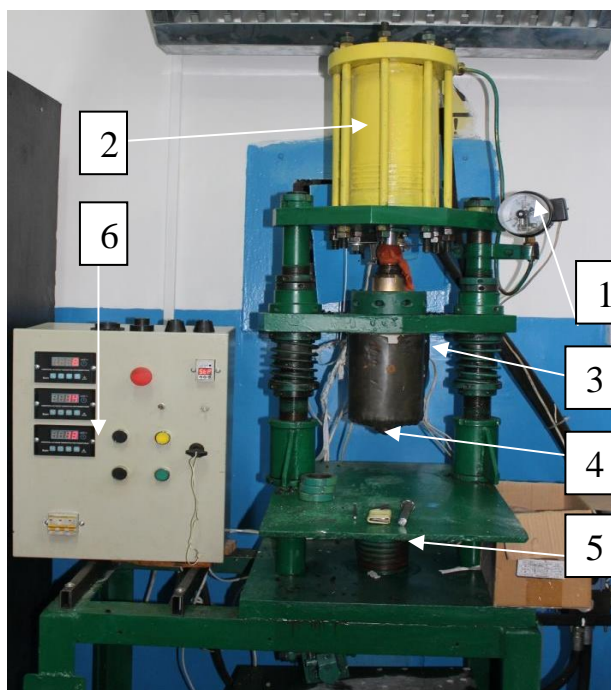


Рисунок 3.3 – Машина ПЛ-32:

1 – манометр; 2 – робочий гідроциліндр; 3 – нагрівальна зона; 4 – сопло (яблуко); 5 – платформа для прес-форм; 6 – пульт управління режимами роботи

Експериментальні зразки одержували за відомою технологією [10]. ПКМ подавали до нагрівальної камери 4. В нагрівальній камері підтримувалась температура розплаву за допомогою термопари та системи контролю, з відхиленням від встановленої $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Максимальний тиск встановлювали та контролювали за допомогою манометру 1, обладнаного системою кінцевих вимикачів. Шафа управління 6 дозволяє виконувати виготовлення зразків у напів автоматичному або ручному режимах. Розплав ПКМ з робочого циліндра подавався під тиском до прес-форм, які попередньо нагріті до температури 80°C . Отримані зразки мали однорідну структуру, візуально дефектів не зафіксовано.

Зразки для дослідження фізико-механічних характеристик та властивостей представлені на рис. 3.4.



а

б

Рисунок 3.4 – Зразки для експериментальних досліджень:

а) ударної в'язкості; б) фізико-механічних характеристик та властивостей

Для проведення досліджень характеристик та властивостей матеріалів обирали непарну кількість зразків, кожен з яких взято з окремої заливки в прес-форму.

3.5 Методика дослідження фізико-механічних характеристик експериментальних зразків

Фізико-механічні характеристики та властивості визначали на випробувальній машині FP-100 (рис. 3.5), згідно ГОСТ 4651-82.

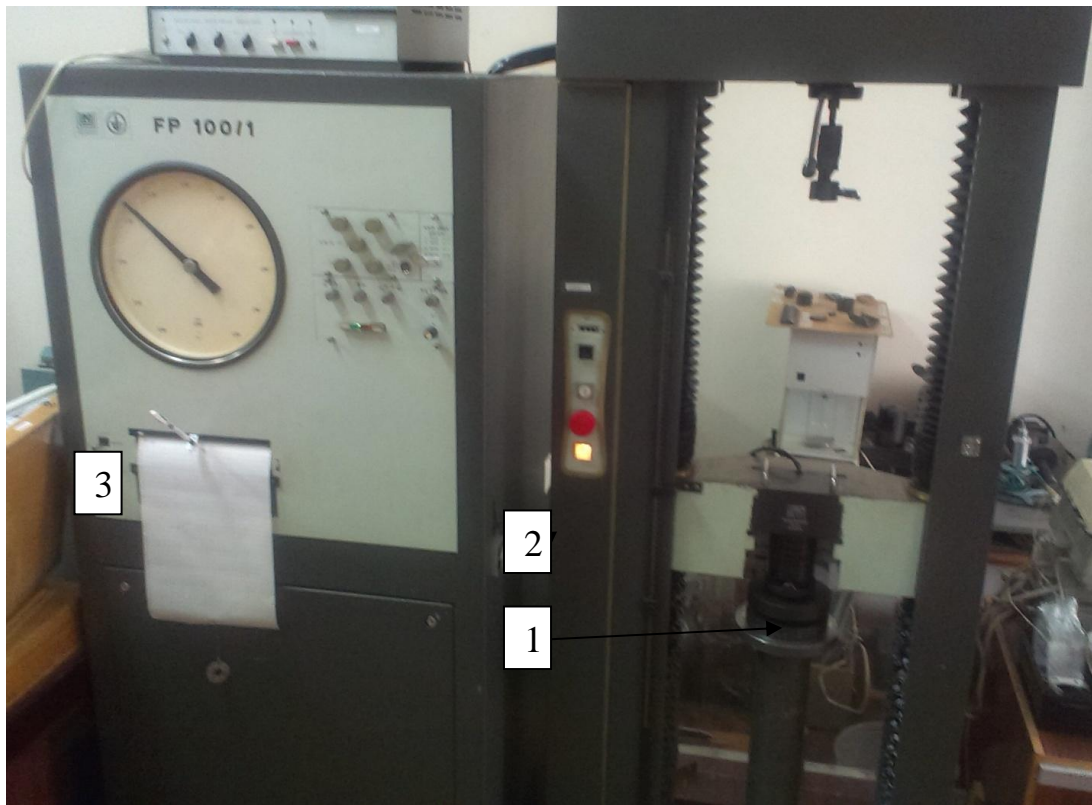


Рисунок 3.5 – Випробувальна машина FP-100

1 – платформа; 2 – пристосування для випробування на стискання; 3 – бланк реєстрації результатів.

Дослідження границі міцності при стисканні, для розроблених ПКМ, виконували для зразків, що мали такі розміри: діаметр 10мм, висота 15 мм. Перед випробуванням виконували підготовку зразків, що полягала у отриманні паралельності опорних площин зразків, з відхиленням в межах 0,1%. Реєстрацію процесу дослідження здійснювались самописцем на спеціальному бланку 3. Після чого виконували обробку отриманих даних за наведеними нижче виразами.

Границю міцності при стисканні (σ_p) визначали за формулою [10]:

$$\sigma = P / F, \quad (3.1)$$

де P – навантаження, МПа

F – мінімальна площа поперечного перерізу зразка, мм²;

$$F = \pi d^2 / 4, \quad (3.2)$$

де d – діаметр зразка, мм.

Відносну деформацію при стисканні(ε) розраховували за формулою:

$$\varepsilon = \Delta h_{p.c.} \cdot 100 / h_0, \quad (3.3)$$

де $\Delta h_{p.c.}$ – величина зменшення висоти зразка при руйнуванні, мм;

h_0 – початкова висота зразка, мм.

Границю текучості ПКМ визначали шляхом проведення дотичних ліній на діаграмі, отриманої на самописці. З точки перетину дотичних проводили перпендикуляр до графіку на діаграмному папері. Точка перетину, відповідного перпендикуляра з графіком, дозволяє визначити величину навантаження при границі текучості. Враховуючи масштаб по осі навантаження визначали границю текучості ПКМ у МПа. Детальне пояснення із використанням графіку буде наведено у результатах досліджень.

Ударну в'язкість визначали на маятниковому копрі КМ-0,4 за методом Шарпі згідно ГОСТ 4647-80 при температурі $23 \pm 2^\circ \text{C}$ і відносній вологості повітря $50 \pm 5 \%$ [10]. Перед випробуванням виконували вимірювання розміри зразків з похибкою, що не перевищувала $\pm 0,02$ мм.

Ударну в'язкість зразків визначали за формулою, в кДж:

$$a_n = \frac{A_n}{b \cdot s \cdot 1000} \quad (2.6)$$

де A_n – енергія удару, затрачена на руйнування зразка, кДж/(кг/см²), фіксується на цифровому табло приладу;

b – ширина зразка по його середині, мм;

s – товщина зразка по його середині, мм.

3.6 Результати дослідження фізико-механічних характеристик матеріалів

Дослідження границі текучості ПКМ виконували для 5 зразків. При цьому найбільше та найменше значення із одержаних результатів вилучали. На основі

трьох результатів, що залишилися, визначали середнє арифметичне значення, яке приймали як кінцевий результат.

Одну з діаграм (рис. 3.6), одержаних самописцем, при випробуванні зразку з ПКМ УПА-6-15, перетворено в електронний вигляд для пояснення методики визначення границі текучості матеріалів.

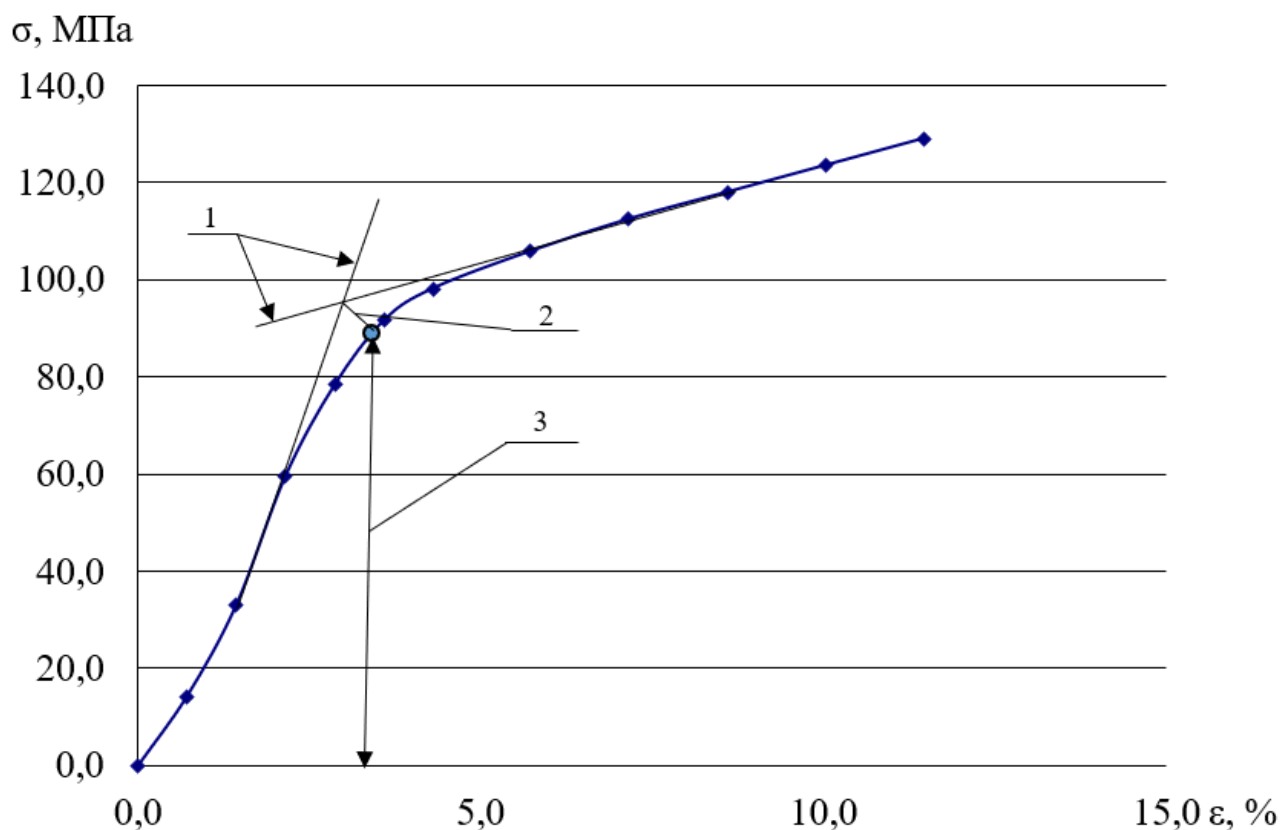


Рисунок 3.6 – Графік залежності напруження-відносна деформація для матеріалу

Границю текучості ПКМ визначали на основі графіку залежності напруження-відносна деформація (рис. 3.6) за такою методикою. До двох частин графіку проводили дотичні 1. З точки перетину дотичних ліній проводили перпендикуляр 2 до перетину з лінією графіка залежності напруження-відносна деформація. Отримане значення напруження в точці перетину перпендикуляра з графіком приймали для визначення границі текучості ПКМ. Для інших експериментальних зразків визначали границю текучості аналогічно.

Отримані результати середніх значень границі текучості розроблених ПКМ наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження границі текучості розроблених ПКМ

Марка ПКМ	№ з/п	Границя текучості, МПа	Середнє значення границі текучості, МПа
УПА-6-20+1,5% ПМС	1	89,24	90,22
	2	91,21	
	3	90,31	
УПА-6-20+5% графіт	1	90,29	88,95
	2	85,22	
	3	91,34	
УПА-6-10	1	83,90	83,09
	2	82,28	
	3	83,1	
УПА-6-20	1	91,46	90,34
	2	83,31	
	3	89,22	
УПА-6-15	1	88,34	88,87
	2	91,49	
	3	86,79	

Аналізуючи табл. 3.2 можна зробити висновок про задовільний розподіл наповнювачів в матриці, так як значних відхилень результатів від середнього значення для кожного з ПКМ не зафіксовано.

Отримані результати (рис. 3.7), дозволяють зробити обґрунтовані висновки щодо впливу наповнювачів на границю текучості одержаних ПКМ. Очевидним є те що зі збільшенням концентрації вуглецевого волокна у ПКМ, зростає його границя текучості. Пов'язано це з тим, що ВВ виконує функцію армування матриці матеріалу - поліаміду.

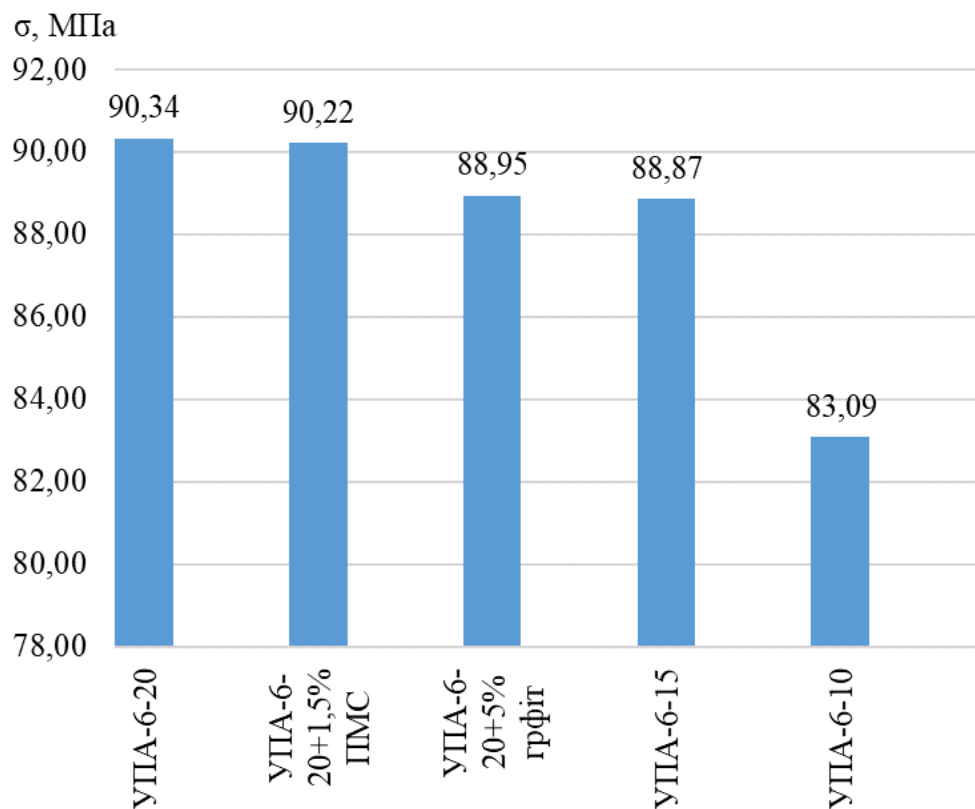


Рисунок 3.7 - Залежність границі текучості матеріалів від складу ПКМ

Встановлено (рис. 3.7), що введення до структури ПКМ УПА-6-20 додаткового компоненту, такого як силіконове мастило ПМС-400 у кількості 1,5 мас. %, призводить до не суттєвого зменшення границі текучості ПКМ, всього на 0,13 %. При додаванні в ПКМ УПА-6-20 графіту у кількості 5 мас. % границя текучості знижується незначно - на 1,53 %. Деяке суттєве зниження границі текучості для ПКМ УПА-6-10, у порівнянні з УПА-6-20, пов'язане зі зменшенням вдвічі концентрації ВВ, що виконує функцію армування матриці.

Дослідження ударної в'язкості одержаних ПКМ проводили для п'яти зразків. Серед отриманих результатів два граничні значення для кожного матеріалу не враховували при визначення середнього значення ударної в'язкості, яке приймали, як остаточне. Результати випробувань наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати дослідження ударної в'язкості розроблених ПКМ

Марка ПКМ	№ з/п	Ударна в'язкість, кДж/м ²	Середнє значення ударної в'язкості, кДж/м ²
УПА-6-20+1,5% ПМС	1	56,25	55,56
	2	56,25	
	3	54,17	
УПА-6-20+5% графіт	1	41,67	44,44
	2	45,83	
	3	45,83	
УПА-6-10	1	31,25	31,25
	2	31,25	
	3	31,25	
УПА-6-20	1	43,75	44,44
	2	45,83	
	3	43,75	
УПА-6-15	1	33,33	36,81
	2	35,42	
	3	41,67	

Аналізуючи табл. 3.3 можна зробити висновок, що вміст ВВ має суттєвий вплив на ударну в'язкість, що цілком логічно, так як це наповнювач “зв'язує” всі компоненти ПКМ.

Виходячи з результатів дослідження границі текучості ПКМ, за еталонний матеріал для порівняння обрано УПА-6-20. Отримані результати (рис. 3.8), дозволяють зробити такі висновки. Введення в структуру ПКМ , на основі поліаміду 6 та ВВ, силіконового мастила марки ПМС-400 у концентрації 1,5 мас. %, призводить до суттєвого зростання величини ударної в'язкості на 25 %, у порівнянні з УПА-6-20. Слід зазначити, що введення графіту 5 мас. % не впливає на ударну в'язкість.

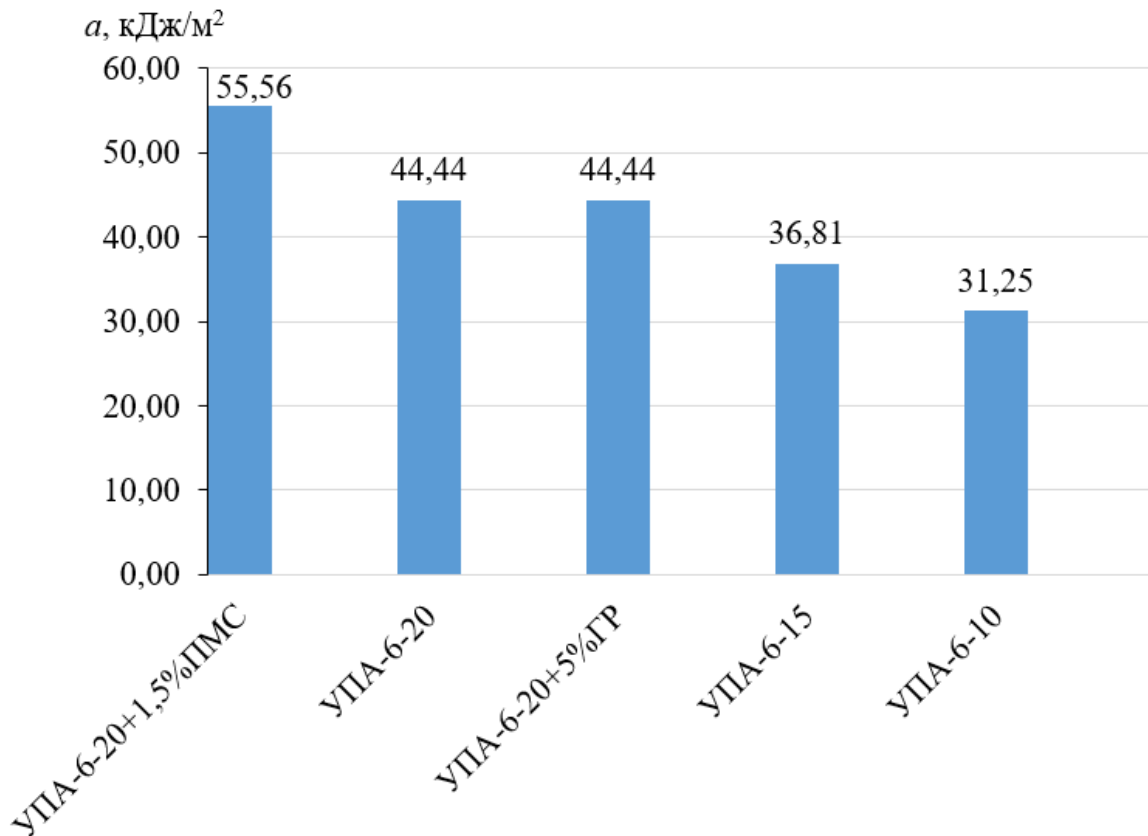


Рисунок 3.8 - Залежність ударної в'язкості створених ПКМ від вмісту компонентів у них

Зменшення концентрації ВВ, у ПКМ до 15 та 10 мас. %, призводить до суттєвого зниження ударної в'язкості матеріалів УПА-6-15 та УПА-6-10, на 17,1 % та 29,6 % відповідно. Очевидно, що введення в структуру композиту силіконового мастила марки ПМС сприяє підвищенню його пластичності, про що свідчить зростання енергії на руйнування зразків (ударна в'язкість). Також, при охолодженні зразків після виготовлення, наявність силікону усуває частину внутрішніх напружень та їх концентраторів. Зменшення концентраторів напружень забезпечує стабільність границі текучості.

Стабільно високі міцнісні показники розроблених ПКМ дозволили перейти до виготовлення експериментальних деталей СГТ.

3.7. Виробничі випробування

Для виробничої перевірки адаптованих до умов експлуатації деталей були виготовлені втулки трибоспряжень відкритого типу (без герметизації) для посівного комплексу John Deere 1895. Обраний механізм – важіль прикотного колеса (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Комплектація трибоспряження рухомого з'єднання - важеля прикотного колеса посівного комплексу John Deere 1895.

Для забезпечення обґрунтованих в [10] оптимальних умов експлуатації пар тертя «полімерний композит – сталь» забезпечили шорсткість металевої поверхні нижче $R_a \leq 0,63$. Посадка – перехідна. З метою розробки даного вузла, як такого, що не потребує обслуговування, внесли зміни в конструкцію спряження (рис.3.10). Так, експериментальні втулки 1 спряження виготовлені із стопорним упором (у вигляді «грибка»). Серійні втулки мали трубчасту конструкцію. Також для подовження довговічності вузла, встановлено регульовальні шайби 2. Фіксація вузла та утримання від провертання забезпечується болтовим з'єднанням 3.

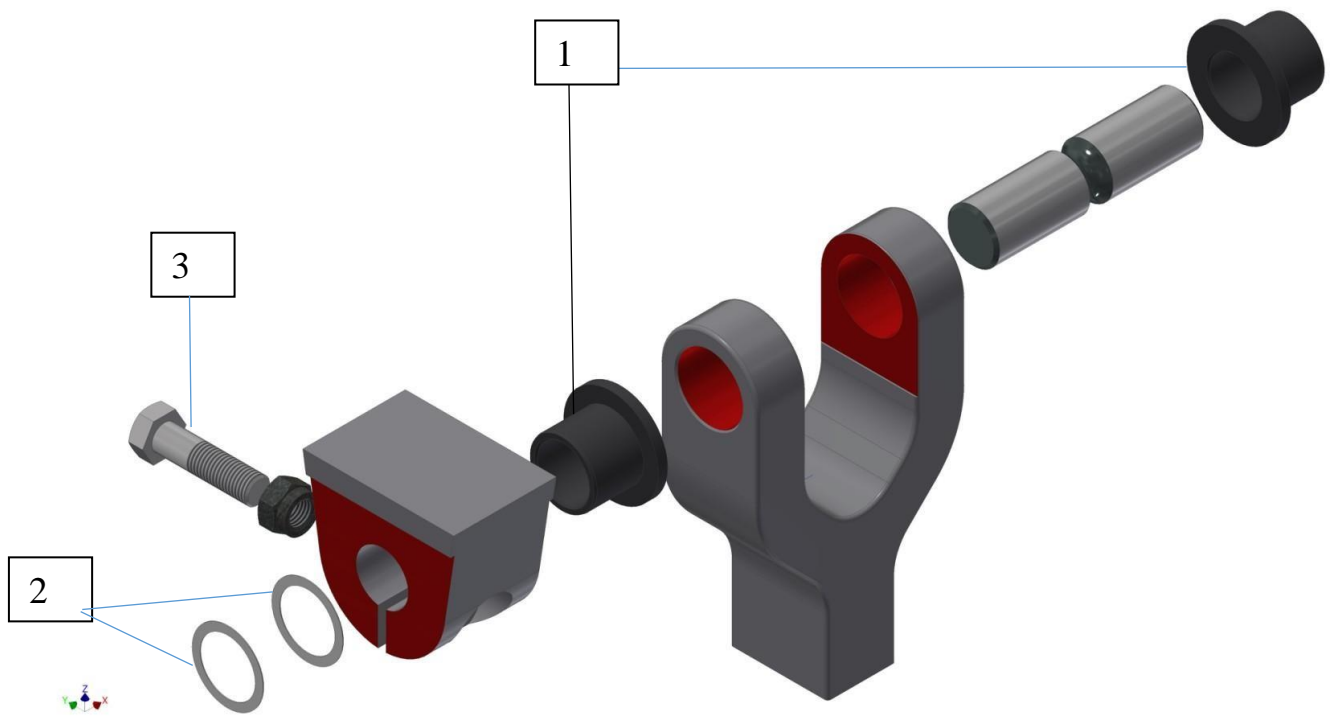


Рисунок 3.10 – Складальна схема трибоспряження важеля прикотного колеса:
 1 – полімерно-композитна втулка (експериментальна); 2 – регулювальні шайби;
 3 – болт.



Рисунок 3.11 – Трибоспряження модернізованого важеля прикотного колеса посівного комплексу John Deere 1895.

Модернізовані таким чином посівний агрегат пройшов осінню посівну кампанію. Зауважень до експлуатації не було. За результатами випробувань нами встановлено такі переваги модернізованого посівного комплексу:

- витрати змащувальних матеріалів на обслуговування модернізованих вузлів скоротилися до нуля;
- усунуто проблему приклинювання важелів, як це було у випадку серійної комплектації та при модернізації деталями з вуглепластиків УПА-6-30/40;
- за результатами отриманих сходів пшениці озимої агрономічна служба підприємства відзначила вищу дружність сходів у порівнянні із серійними агрегатами.

Висновки до розділу

Гігроскопічність полімерних композитів на основі поліаміду 6 можна зменшити введенням в його структуру силіконових олив, наприклад, марки ПМС.

Для трибоспряжень, що працюють за знакозмінних навантажень необхідно застосовувати композити із вмістом вуглецевого волокна не менше 20 мас. % - тоді буде забезпечений ефект стійкості конструкції трибоспряження до навантажень 2600 Н.

Модернізований полімерно-композитними деталями посівний комплекс John Deere 1895 відпрацював осінню посівну кампанію без зауважень інженерних і агрономічних служб.

Рекомендовано продовжити польові випробування.

4. ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Загальні положення

Для створення безпечних умов праці в лабораторії № 018, в якій встановлено екструдер, необхідно забезпечити відповідне освітлення, вентиляцію, заземлення екструдера. Згідно завдання керівника дипломної роботи, необхідно розрахувати освітлення, та як при організації лабораторії вентиляцію і електрозабезпечення розробляли і приймали сертифіковані компанії. А освітлення було залишене на вільний розсуд. Спочатку визначимо основні положення і обов'язки працівників при проведенні наукових досліджень і експериментів у лабораторії.

Відповідальність за безпеку праці у лабораторії несе завідувач лабораторії, який призначається відповідним наказом по університету.

До роботи в лабораторії допускаються особи з науковим ступенем або без такого (в такому разі тільки разом з керівником) після проходження ними вступного інструктажу, первинному інструктажу на робочому місці, стажування на робочому місці з відповідним записом в журналі вступних і первинних інструктажів з охорони праці. Особи, які не вивчили правила експлуатації лабораторного обладнання, до роботи не допускаються.

У лабораторії, яка пов'язана із переробкою полімерних матеріалів забороняється:

- працювати в умовах недостатнього освітлення;
- працювати за вимкненої чи несправній вентиляції;
- полишати без нагляду нагрівальне нестационарне обладнання та установки, що мають відкрите полум'я;
- виконувати роботи використовуючи несправне обладнання;
- працювати без спеціальних засобів захисту (одяг, взуття та ін.);
- виконувати роботи одному працівнику;
- працювати без засобів індивідуального захисту - рукавиць, маски - при роботі з графітом-порошком.

Дослідник, що працює в лабораторії повинен мати засоби індивідуального захисту: окуляри та маску, гумові рукавички, спецодяг (халат). Під час приготування графіту до дозування, необхідно одягати прогумований фартух та рукавиці. Після закінчення роботи, спецодяг ретельно промивається водою з лужним розчином.

По закінченню роботи в лабораторії необхідно відключити подачу напруги до обладнання та устаткування, прибрати робочу зону, вимити і прибрати лабораторний посуд, очистити лабораторне обладнання від робочого матеріалу (гранули ПКМ, його складових, пилу тощо), закрити водяні крани.

На випадок пожежі у лабораторії обов'язково повинні бути розміщені первинні засоби пожежогасіння: вуглекислотні вогнегасники, кошма (для випадків необхідності гасіння одягу на працівниках).

В лабораторії обов'язково повинна бути в наявності аптечка з повним набором медикаментів та засобів, для надання першої допомоги.

4.2. Вимоги безпеки праці під час роботи

Приміщення, в яких розміщені лабораторії для компаундування полімерів, їх екструзії та виготовлення різними методами (лиття під тиском, пряме гаряче пресування, екструзія та пултрузія і т.д.) належать до групи із підвищеною небезпекою.

Всі виробничі приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електрострумом поділяються на 3 групи: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні. Основними технічними заходами захисту від поразки струмом в лабораторії є – захисне заземлення і занулення.

Обов'язковими засобами індивідуального захисту, якими повинні забезпечуватися працівники в лабораторіях є: ізолюючі підставки, діелектричні рукавиці, боти та ін. Кожен такий засіб може застосовуватися тільки для використання на відповідну напругу з обов'язковим вказанням дати останнього

випробування, і не мати пошкоджень. Для кожного із спеціальних засобів індивідуального захисту передбачено періодичне проведення випробування їх опору. Так, для ізолюючих килимків випробування необхідно проводити 1 раз на рік, а для рукавичок не рідше ніж кожні 6 місяців.

Забороняється витирати мокрою ганчіркою обладнання, що знаходиться під напругою; завантажувати сушильну шафу легкозаймистими речовинами (бензин, спирт, ефір тощо); працювати із незаземленими приладами.

Екструдер (рис.4.1) є заземленим та встановленим на діелектричній плитці.



Рисунок 4.1. - Загальний вигляд екструдера ЕКГ-45, встановленого в лабораторії № 018 на діелектричній підлозі та відповідно заземленим.

4.3. Вимоги безпеки після закінчення робіт

Після закінчення робіт у лабораторії необхідно прибрати робоче місце, вентиляція повинна працювати ще 5...10 хв.

Посуд, що звільнився після приготування складових ПКМ (графіт, подрібнені вуглецеві волокна тощо), має бути ретельно очищений і вимитий.

Ємності та посуд, у яких виконувались роботи з горючими рідинами, необхідно, після завершення робіт, очистити та вимити спеціальними лужними розчинами.

Після завершення роботи працівники повинні вмити руки з милом або іншими миючими матеріалами, дозволеними до використання.

4.4. Вимоги безпеки в аварійних та небезпечних ситуаціях

В лабораторії полімерних композитів можуть виникати різні небезпечні ситуації, що можуть стати причиною нещасних випадків і ураження працівників. Необхідно пам'ятати, що у випадку нещасного випадку, після надання першої долікарської допомоги потерпілому, слід негайно викликати лікаря або екстрену допомогу.

Так як в лабораторії № 018 встановлений екструдер, що має найвищу зону нагріву - 300 градусів за Цельсієм, настання термічних опіків є досить імовірним. У випадку одержання термічного опіку терміново необхідно усунути небезпечне джерело температури та оголити місце ураження. Якщо опік відноситься до опіків першого ступеня, то його необхідно обробити 96% спиртом та 3%-ним розчином пермагнату натрію. Після цього потрібно швидко накласти стерильну пов'язку на уражену ділянку. Якщо опік відноситься до другого ступеня, то його необхідно обробити сімдесяти відсотковим спиртовим. Після обробки на уражену ділянку накладають стерильну легку пов'язку. При отриманні працівників опіків третього або четвертого ступеня необхідно закрити уражену ділянку стерильною пов'язкою, а випадку значної площі ураження – полотном чи чистим рушником. Після надання першої долікарської допомоги необхідно викликати швидко медичну допомогу. У випадку коли є незадіяні в наданні

допомоги особи, вони повинні викликати екстрену медичну допомогу одразу при настанні нещасного випадку.

У випадку хімічних опіків уражену поверхню швидко промивають значною кількістю води для змивання залишків речовини. Після цього, на місце ураження необхідно накласти пов'язку в залежності від типу речовини, що призвело до ураження. Так, при опіках, що спричинені дією кислот накладають стерильну пов'язку, яка змочена двома відсотковим розчином соди. При опіках спричинених лугами накладають серветку змочену двома відсотковим розчином оцтової кислоти. У випадку опіків очей спочатку необхідно вимити обличчя із заплющеними очима. Після цього виконують промивання очей водою протягом 5...10 хвилин. У випадку опіків очей кислотою, необхідно до води додавати двома відсотковий розчин гідрокарбонату натрію. При опіках очей лугами, спочатку очі промивають двома відсотковим розчином борної кислоти. У випадку опіку очей аніліновими барвниками промивання очей слід виконувати п'яти відсотковим розчин таніну або міцним настоєм чаю. На пошкодженні очі повязок не накладають. У випадках опіків очей одразу необхідно викликати екстрену медичну допомогу.

Першочерговими діями при електротравмі є звільнення від небезпечного дії струму, шляхом використання ізолюючих предметів та матеріалів. Обов'язково необхідно виконати знеструмлення приладів та обладнання. У випадку неможливості відключення джерела струму, постраждалого потрібно відтягнути і перемістити в безпечне місце, з дотриманням таких заходів: використовувати гумові рукавички або накинути на руки сухий одяг в декілька шарів; використовувати гумове взуття чи килимок або суху дерев'яну дошку; відтягувати постраждалого за одяг не чіпаючи відкритих частин тіла. Після цього постраждалого необхідно розмістити на рівне та сухе місце.

При важкому ураженні, що призвело до зупинки дихання та серцебиття необхідно виконувати штучне дихання і закритий масаж серця до прибуття екстреної медичної допомоги або до візуальних ознак біологічної смерті.

У випадку отруєння кислотами необхідно виконати промивання шлунку 2...3 літрами води, додаючи при цьому оксиду магнезю, дотримуючись такого співвідношення, одна чайна ложка на склянку води, викликаючи при цьому блювоту; ротову порожнину потрібно ополіскувати п'яти відсотковим розчином гідрокарбонату натрію. Після чого дозволяється прийом молока в незначних обсягах.

У випадку отруєння лугами необхідно виконати промивання шлунку підкисленою водою, для якої на одну склянку води додають столову ложку двох відсоткового розчину оцтової або лимонної кислоти, викликаючи при цьому блювоту. Також необхідно ковтати сирі яйця, пити холодне молоко чайними ложками, ковтати кусочки вершкового масла. Крім цього, на груди необхідно прикладати компреси з льоду, а руки та ноги прогрівати грілки.

У випадку отруєння окисом вуглецю необхідно забезпечити доступ потерпілого до свіжого повітря. У випадку втрати свідомості, привести до тями використовуючи нашатирний спирт. У випадку зупинки дихання необхідно виконувати штучне дихання.

Обов'язково необхідно викликати лікаря у випадку отруєння.

4.5. Розрахунок штучного освітлення в лабораторії № 018

Сучасна наука з охорони праці виокремлює такі види освітлення: природне, штучне та комбіноване. Дамо визначення кожному з цих видів.

«Природне освітлення – освітлення приміщень світлом, що походить від неба (прямим чи відбитим), проникаючим через світлові отвори у зовнішніх захисних конструкціях» [17]. Може бути бічним, верхнім та комбінованим.

«Штучне освітлення – освітлення приміщень та інших місць, де недостатньо природного освітлення» [17]. Поділяється на робоче, аварійне, охоронне, чергове, загальне, місцеве та комбіноване. «Робоче освітлення забезпечують у всіх приміщеннях, а також на ділянках відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей і руху транспорту». Для приміщень, що мають зони з різними умовами природного освітлення та з різними режимами

роботи, передбачається роздільне керування робочим освітленням. Воно впливає на регламент технологічних процесів, тому його важливо контролювати. Нині в країні екстрена ситуація з електропостачанням. Від нього залежить також технологічний процес виробництва ПКМ. У випадку припинення електропостачання, необхідно раціонально завершити виробничий процес і для цього також повинно бути аварійне безпечне освітлення. Це таке освітлення, яке не припиняється або автоматично вводиться в дію під час раптового вимкнення робочих (основних) джерел світла. «Аварійне освітлення призначене для забезпечення евакуації людей або тимчасового продовження роботи на об'єктах, де раптове відключення освітлення створює небезпеку травматизму або неприпустимого порушення технологічного процесу» [17].

Необхідно провести розрахунки величини освітлення в лаборторії № 018, розміром 6×4×3,5 м. Обираємо енергоощадний вид ламп – люмінесцентного типу – ЛД 30-4. Кількість ламп – 4 штуки. Природне освітлення – бічне, з двох вікон, коефіцієнт природного освітлення складає 13,5 %. У приміщенні знаходиться два вікна з параметрами 1,4 м×1,5 м.

Дамо коротку характеристику розряду виконуваних робіт. В лабораторії розряд виконуваних в приміщенні робіт III – висока точність при розмірах об'єкта розрізнення 0,3...0,5 мм; контраст високий, фон світлий; підрозряд – в. Згідно [8], норма рівня освітленості становить 200 лк.

У лабораторних умовах необхідно передбачати таке штучне освітлення, яке мало б створити безпечні умови праці задля зменшення імовірності виникнення нещасних випадків.

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = a \times b / h \times (a+b), \text{ де}$$

a – ширина приміщення (м), b – довжина приміщення (м), h – висота підвісу світильників (м).

$$i = 6 \times 4 / 3,5 \times (6+4) = 0,68.$$

Коефіцієнт використання світлового потоку буде становити 0,40, коефіцієнт запасу = 1,5 [17]. Коефіцієнт нерівномірності освітленості становить

1,1 (для добре спроектованого приміщення коефіцієнт Y можна брати рівним: 1,15 – для ламп розжарювання; 1,1 – для люмінесцентних ламп). Коефіцієнт відбиття стелі – 50, стін – 30, підлоги – 10 (полімерна плитка має темний колір). Коефіцієнт запасу враховує зниження освітленості внаслідок можливого забруднення ламп або світильників у процесі їх експлуатації.

Розраховуємо світловий потік світильника:

$$\Phi = (E_n * K_3 * S * Z) / (n * K_v)$$

де Φ – світловий потік, лм;

E_n – освітленість відповідно до нормативних значень, лк;

S – площа підлоги в робочому приміщенні, м²;

K_3 – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

K_v – коефіцієнт використання світлового потоку;

n – кількість встановлених ламп.

Знаходимо фактичне освітлення:

$$E = (200 * 1,5 * 30 * 1,1) / (6 * 0,40) = 3440 \text{ (лм)}.$$

У світильнику встановлено 2 лампи ЛД 30-2, потужність лампи 30 Вт, світловий потік 1645 Лм.

Фактичне освітлення 4 світильників складе:

$$E = (3290 * 3 * 0,40) / (1,5 * 25 * 1,1) = 132 \text{ лк}.$$

Оскільки 132 Лк менше, ніж 200 Лк (освітленість за нормою), то штучне освітлення приміщення, де проводились дослідження, не задовольняє вимогам.

Розрахуємо необхідну кількість світильників для приміщення:

$$n = (E * K_3 * S) / (K_v * K_l * \Phi_l), \text{ де}$$

K_l – кількість ламп у світильнику;

Φ_l – світловий потік однієї лампи.

$$n = (200 * 25 * 1,5) / (0,4 * 2 * 1645) = 5,7 \text{ світильники}.$$

Приймаємо 6 світильників по 2 лампи типу ЛД 30-2, потужністю 30 Вт, світловий потік 1645 Лм для освітлення даного приміщення площею 24 м².

Висновок по розділу. Наведені основні ризики виникнення небезпечних ситуацій при роботі в лабораторії полімерних композитів № 018. Лабораторія відноситься до міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії технічного сервісу машин.

Розраховано, що для ефективного освітлення для третього розряду робіт необхідно 6 світильників із встановленими в них двома лампами типу ЛД 30-2, потужністю 30 Вт. Вони забезпечуватимуть світловий потік 1645 Лм для освітлення даного приміщення площею 24 м².

Таким чином, безпечні умови праці за критерієм освітленості виконані.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Одним із завдань роботи є підвищення довговічності трибоспрядень СГТ шляхом адаптації ПКМ до умов експлуатації. Після дослідження властивостей розроблених ПКМ, обрали такий, міцніші властивості якого найбільш відповідають умовам роботи - УПА-6-20+1,5% ПМС. На польові випробування обрали підшипники ковзання на паралелограм посівної машини, яку обрали в якості СГТ.

Розроблені деталі повинні забезпечити ряд технологічно-економічних переваг: збільшити періодичність технічного обслуговування; зменшити витрати на ТО; підвищити темп та агровимоги до сівби.

Інженерна експлуатація МТП передбачає обчислення таких основних показників посівних агрегатів: продуктивність (годинна та змінна), витрати робочого часу, паливо-мастильних матеріалів, питомі експлуатаційні та приведені витрати.

Модернізація рухомих з'єднань сівалки ПКМ дозволяє виконувати сівбу якісно, незалежно від агрофону, за умови раціонального складу МТА. Крім цього, основною перевагою модернізованих посівних машин є відсутність ТО рухомих з'єднань під час експлуатації, за рахунок чого зменшуються простой техніки, і як результат підвищується темп робіт.

Виконаємо розрахунок економічної ефективності від експлуатації модернізованого агрегату John Deere 8335R + John Deere 1895M –у порівнянні із серійним немодернізованим агрегатом у складі John Deere 8335R + John Deere 1895.

Питомі експлуатаційні витрати агрегату знаходили із залежності [16]:

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

де C_m, C_m - сума витрат на реновацію, капітальний і поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин трактора, приймаємо з таблиці 7.1[16], грн./га; якщо довідкових даних по агрегату немає, то встановлюємо їх, виходячи із фактичних витрат у діючому підприємстві.

$C_{пмм}$ - вартість паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

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

$$C_m = \left[\frac{B_m \cdot \alpha_{pm} \cdot g_{za}}{100 \cdot G_n^{pik}} + \frac{\sum C_m^n \cdot g_{za}}{1000} \right] \cdot K_i, \quad (5.2)$$

де $B_m \cdot \alpha_{pm}$ - балансова вартість трактора (грн.) та норма відрахувань, %. Балансову вартість трактора обираємо з врахуванням реальної його ціни на теперішній час, а саме – 2 510 000 грн. Норму відрахувань приймаємо 10%;

$\sum C_m^n$ - сумарні питомі витрати на ремонт, обслуговування та зберігання трактора, враховуючі всі фактори приймаємо – 1849 грн. Орієнтовно, без врахування інфляції її можна обрати з табл. 7.1 [16].

$G_n^{pik}, g_{год}$ - нормативне річне завантаження палива (кг). При сезонному навантаженні 60 нормо-змін по 140 га/зм і гектарній витраті палива 5,6 кг, норма річного завантаження складе 47040 кг;

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

Для трактора John Deere 8335R витрати на реновацію, ремонт та технічне обслуговування для даного виду робіт складуть:

$$C_T = \left[\frac{2510000 \cdot 10 \cdot 5,6}{100 \cdot 47040} + \frac{1849 \cdot 5,6}{1000} \right] \cdot 1 = 40,79 \text{ грн/га}$$

Вартість паливо-мастильних матеріалів необхідних для роботи МТА визначаємо за формулою:

$$C_{\text{ПММ}} = C_{\text{к}} \cdot G_{\text{ГОД}} = 55 \cdot 5,6 = 308 \text{ грн/га} \quad (5.3)$$

де $C_{\text{к}}$ - комплексна ціна дизельного пального, грн. Вартість пального приймається з врахуванням витрат на паливо та мастильні матеріали для забезпечення працездатності енергетичного засобу. Приймаємо однаковою для обох варіантів агрегатів, що порівнюються.

Оплату праці обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

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

де 2,49 і 1,02 - коефіцієнти, що враховують при нарахуванні оплати праці;

$K_{\text{нк}}$ - коефіцієнт, що враховує класність механізаторів. Вибирається в залежності від складності виконуваних технологічних операцій. Приймаємо коефіцієнт 1,2 для трактористів-машиністів першого класу;

$m_{\text{мех}}$ і $m_{\text{доп}}$ - кількість трактористів-машиністів і допоміжних працівників, що обслуговують агрегат в одну зміну;

$f_{\text{мех}}$ і $f_{\text{доп}}$ - тарифна змінна ставка (оплата праці за зміну) відповідно трактористам-машиністам і допоміжним працівникам, грн./зм. Орієнтовно обираємо з табл.7.2 [17] або відповідно до встановлених тарифів у господарстві;

$K_{\text{з}}$ - коефіцієнт збільшення оплати праці, що враховує величину інфляції, приймаємо $K_{\text{з}}=10$.

Оплата праці механізаторів:

$$C_{\text{зпс}} = \frac{2,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 15,58 + 1 \cdot 10,83) \cdot 1,2 \cdot 10}{140} = 6,30 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на сівалку John Deere 1895 знайдемо за формулою:

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

Підставимо відомі дані у формулу (5.5) і отримаємо величину експлуатаційних витрат:

$$C_{СГМ} = \left[\frac{1255000 \cdot 12,5}{100 \cdot 60 \cdot 140} + \frac{27,4 + 4,3 + 21}{140} \right] \cdot 1 = 19,05 \text{ грн/га}$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{\text{пит}}^C = 40,79 + 308 + 6,3 + 19,05 = 374,11 \text{ грн/га}$$

Величину капітальних вкладень при експлуатації серійного агрегату:

$$K_p = \frac{B_T \cdot \alpha_{рМ} \cdot G_{га}}{100 \cdot G_{рік}} + \frac{B_M \cdot n}{n_{зМ} \cdot W_{зМ}} = \frac{2510000 \cdot 10 \cdot 5,6}{100 \cdot 47040} + \frac{1255000 \cdot 1}{60 \cdot 140} = 179,28 \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

Приведені витрати при експлуатації серійного агрегату складуть:

$$P_B^p = C_{\text{п}}^p + E \cdot K = 374,11 + 0,15 \cdot 179,28 = 401,00 \text{ грн/га}$$

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

Аналогічно проведемо розрахунки для агрегату, що складається з трактора John Deere 8335R і модернізованої сівалки John Deere 1895M.

Експлуатаційні витрати на даному виді робіт складуть для трактора:

$$C_T = \left[\frac{2510000 \cdot 10 \cdot 5,4}{100 \cdot 47200} + \frac{1849 \cdot 5,4}{1000} \right] \cdot 1 = 38,70 \text{ грн/га}$$

$\sum C_M^n$ - сумарні питомі нормативні витрати, грн./т палива, без урахування затрат на ТО сівалки, орієнтовно приймаємо – 1849 грн.

Вартість паливо-мастильних матеріалів знайдемо за формулою:

$$C_{\text{пмм}} = C_K \cdot G_{\text{год}} = 55 \cdot 5,4 = 297 \text{ грн/га.}$$

Оплата праці механізаторів:

$$C_{\text{зпс}} = \frac{2,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 15,58 + 1 \cdot 10,83) \cdot 1,2 \cdot 10}{154} = 5,72 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати модернізованої сівалки John Deere 1985М знайдемо за формулою:

$$C_{\text{СГМ}} = \left[\frac{1305000 \cdot 12,5}{100 \cdot 60 \cdot 154} + \frac{20,4 + 4,3 + 18}{154} \right] \cdot 1 = 17,93 \text{ грн/га.}$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{\text{проект}}^{\text{пит}} = 38,70 + 297 + 5,72 + 17,93 = 359,35 \text{ грн/га,}$$

Величину капітальних вкладень при експлуатації модернізованого агрегату за формулою (5.6):

$$K_p = \frac{2510000 \cdot 10 \cdot 5,4}{100 \cdot 47200} + \frac{1305000 \cdot 1}{60 \cdot 154} = 169,94 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на один га при експлуатації модернізованого МТА:

$$P_B^p = C_{\text{п}}^p + E \cdot K = 359,35 + 0,15 \cdot 169,94 = 384,84 \text{ грн/га}$$

Отримані результати формуємо у в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. – Економічне обґрунтування конструкторської розробки

Показник	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Агрегат	-	John Deere 8335R + John Deere 1895	John Deere 8335R + John Deere 1895M
Балансова вартість агрегату	грн.	3 765 000	3 815 000
Нормативне навантаження	нормо-змін	60	60
Змінна продуктивність	га	140	154
Витрати пального	кг/га	5,6	5,4
Витрати на реновацію, ремонт та ТО	грн. / га	40,79	38,70
Вартість ПММ	грн. / га	308,00	297,00

Оплата праці	грн. / га	6,30	5,72
Експлуатаційні витрати	грн. / га	19,05	17,93
Величина капітальних вкладень	грн. / га	179,28	169,94
Приведені витрати	грн. / га	401,00	384,84
Річний економічний ефект від сервісу при навантаженні 5000 га	грн.	-	80800

Отже, на прикладі модернізації посівного комплексу John Deere 1895М доведена економічна ефективність застосування полімерно-композитних матеріалів із адаптованими властивостями у конструкціях сільськогосподарської техніки. Розрахований економічний ефект встановлено на рівні 80800 грн для одного посівного комплексу John Deere 1895М.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз стану питання із застосування конструкційних пластиків у конструкціях машин і механізмів, у тому числі, в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки показав, що виробники, як правило, або сповідують традиційні методи конструювання трибоспряжень сільськогосподарської техніки, або використовують конструкційні пластики без належного обґрунтування. Проблема адаптації властивостей КП до умов роботи є очевидна.

2. Наведене аналітичне обґрунтування експлуатації полімерно-композитного підшипника ковзання в рухомих вузлах посівної секції сільськогосподарської техніки.

Проведений аналіз схеми навантаження підшипника ковзання, на основі чого вибрана математична модель згідно теорії пружності для розрахунку зміщень (радіальних, кутових), деформацій, (радіальних, осьових), а також нормальної, дотичної напруги для полімерного підшипника по зонах розтягування і стискування із застосуванням моделей для їх реалізації в програмному середовищі MathCad 14.0 (trial version).

Отримані значення силових зусиль лежать в межах 941,2...3022,5 Н; а реакції в шарнірах – до 2677,3 Н є підґрунтям для вибору і обґрунтування полімерно-композитних матеріалів із заданим комплексом властивостей.

3. Гігроскопічність полімерних композитів на основі поліаміду 6 можна зменшити введенням в його структуру силіконових олив, наприклад, марки ПМС.

Для трибоспряжень, що працюють за знакозмінних навантажень необхідно застосовувати композити із вмістом вуглецевого волокна не менше 20 мас. % - тоді буде забезпечений ефект стійкості конструкції трибоспряження до навантажень 2600 Н.

Модернізований полімерно-композитними деталями посівний комплекс John Deere 1895 відпрацював осінню посівну кампанію без зауважень інженерних і агрономічних служб.

4. Наведені основні ризики виникнення небезпечних ситуацій при роботі в лабораторії полімерних композитів № 018. Лабораторія відноситься до міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії технічного сервісу машин.

Розраховано, що для ефективного освітлення для третього розряду робіт необхідно 6 світильників із встановленими в них двома лампами типу ЛД 30-2, потужністю 30 Вт. Вони забезпечуватимуть світловий потік 1645 Лм для освітлення даного приміщення площею 24 м².

Таким чином, безпечні умови праці за критерієм освітленості виконані.

5. На прикладі модернізації посівного комплексу John Deere 1895М доведена економічна ефективність застосування полімерно-композитних матеріалів із адаптованими властивостями у конструкціях сільськогосподарської техніки. Розрахований економічний ефект встановлено на рівні 80800 грн для одного посівного комплексу John Deere 1895М.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Буря А.И. Трение и изнашивание органопластиков на основе полиамида-6 // Трение и износ. – 1998. – Т.19, №5. – С.671-676.
2. Буря О.І. Застосування полімерних матеріалів у конструкціях зернозбиральних комбайнів // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 1998. – Т.3. – С.12–24.
3. Сисолін П.В. Висівні апарати сівалок (еволюція конструкцій, розрахунки параметрів): навч. посібник для студ. вищих навч. закл. із спец. "Машини та обладнання с.-г. виробництва" / М.О. Свірень. – КНТУ, Кіровоград, 2004. - 160с.
4. Альт В. В. Концепция развития посевных машин / В. В. Альт, С. Г. Щукин, В. А. Вальков // Достижения Науки и Техники АПК. – 2008. - №9. - С.44-48.
5. Рибак Т.І. Підвищення надійності машин для хімічного захисту у рослинництві. – К.: «Урожай», 1986. – 104 с., іл.
6. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. – 526 с., ил.
7. 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.
8. Kobets, A., Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiw, A., Krutous, D., Muranov, E. Design of mated parts using polymeric materials with enhanced tribotechnical characteristics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/12 (107), P. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214547>
9. V. Aulin., O. Derkach., D. Makarenko, A. Hrinkiv, A. Pankov, A. Tykhyi. Analysis of tribological efficiency of movable junctions “polymeric-composite materials – steel. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 4, Issue 12 (100). P. 6-15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176845>.

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

11. 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.

12. Макаренко Д.О., Деркач О.Д., Муранов Є.С., Крутоус Д.І. Деякі властивості конструкційних пластиків, наповнених вторинним поліетиленом та їх застосування в сільськогосподарському машинобудуванні. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного [Електронний ресурс]. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 1. DOI: doi.org/10.31388/2220-8674-2020-1

13. О.Д. Деркач, Д.О. Макаренко, Є.С. Муранов. Вплив графіту на фізико-механічні характеристики та трибологічні властивості вторинного поліетилену. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 6(37), ч. 1, 9-15. [http://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/6\(37\)_I/4.pdf](http://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/6(37)_I/4.pdf)

14. Ю.П. Нагірний. Обґрунтування інженерних рішень. К.: Урожай. – 1994. – 282 с.

15. Скородинський, І.С. Аналіз деформування кусково-однорідного тіла з в'язкопружним проміжним шаром за дії зсувного навантаження. Приклад. пробл. механіки і математики. 2008. Вип. 6. С. 175-182

16. 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.

17. Методичні рекомендації до написання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних роботах для студентів інженерно-технологічного факультету денної і заочної форми навчання Галузь знань: 18 «Виробництво та технології», спеціальність: 181 «Харчові технології», освітньо-професійна програма: «Харчові технології», освітній ступінь: магістр,

термін навчання: повний, форма навчання: денна, заочна.. – Дніпро: ДДАЕУ, 2022 – 21с.

18. Зернові сівалки: проблеми вибору. Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу 2019 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://propozitsiya.com/ua/zernovi-sivalky-problemy-vyboru>