

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ _ ” _____ 2025р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
В.В. Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)

магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Підвищення працездатності сільськогосподарських машин з
розробкою техніко-технологічної системи»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Лесько І.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

РЕФЕРАТ

Лесько І.І. Підвищення працездатності сільськогосподарських машин з розробкою техніко-технологічної системи (Кваліфікаційна робота, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 63 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 21 рисунки, 8 таблиць, 15 джерела літератури).

Кваліфікаційній роботі досліджується питання підвищення одного з ключових компонентів надійності – довговічності.

Огляд сучасного стану застосування конструкційних пластиків (КП) в машинах та механізмах, зокрема, в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської машин (СГМ), виявив, що більшість виробників схилиються до традиційних підходів конструювання трибологічних пар СГМ, або ж використовують КП без достатнього обґрунтування їхнього вибору. Очевидною є проблема пристосування властивостей КП до специфічних умов експлуатації.

Мета дослідження є створення адаптивних систем на основі полімерних матеріалів для підвищення працездатності машин, спрямованих на подовження експлуатаційного терміну кінематичних з'єднань у сільськогосподарських машинах.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести всебічний аналіз існуючих техніко-технологічних та конструктивних рішень рухомих з'єднань, що використовуються в сільськогосподарській техніці.
- розробити методику розрахунку величини сил і тисків, що виникають в метало-полімерних з'єднаннях.
- виконати ряд лабораторних досліджень конструкційних пластиків для їхнього оптимального використання в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки.
- запропонувати заходи з охорони праці та оцінити економічну вигоду від впровадження модернізованої сільськогосподарської техніки.

Ключові слова: ПЛАСТИК, СИЛ, З'ЄДНАННЯ, МАШИН, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ДОВГОВІЧНІСТЬ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІК.....	7
1.1. Розвиток технічного забезпечення аграрного виробництва	7
1.2. Тривалість експлуатації, як важлива характеристика надійності інженерних комплексів	11
1.3. Проблематика збільшення терміну служби аграрної техніки	12
1.4. Методології збільшення терміну служби агротехніки.....	13
1.5. Підтвердження значущості обраної проблематики для дипломної роботи	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ РУХОМИХ ВУЗЛІВ СГТ	19
2.1. Вплив динаміки робочих навантажень на рухомі вузли СГТ.....	20
2.2. Оцінка зон концентрації напружень у трибоз'єднаннях із композитними елементами	21
2.3. Висновки за розділом.....	28
РОЗДІЛ 3. ПЛАН, ЦІЛІ ТА ПІДСУМКИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
3.1. Організація дослідження та визначення його цілей	30
3.2. Організація процесу підготовки полімерних композицій та їх компонентів.....	31
3.3. Методика одержання полімерно-композитних матеріалів зі змінними частками структурних і функціональних компонентів.....	32
3.4. Технологічне виготовлення та передвипробувальна підготовка зразків, отриманих методом лиття під тиском.....	33
3.5. Дослідницька методологія фізико-механічних властивостей параметрів експериментальних матеріалів	35
3.6. Отримані дані та оцінка фізико-механічних показників досліджуваних матеріалів.....	37
3.7. Експлуатаційні випробування в реальних виробничих умовах.....	42
3.8. Висновки по розділу	44
РОЗДІЛ 4.ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ	45
4.1. Базові положення та принципи.....	45
4.2. Заходи охорони праці під час виконання робіт	46
4.3. Правила охорони праці після закінчення експериментальних та виробничих процедур	48
4.4. Заходи охорони праці у випадку аварійних та критичних ситуацій	48
4.5. Розрахунки освітленості робочої зони лабораторії № 018	50
4.6. Висновки по розділу	53
РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РОБОТИ	54
ВИСНОВКИ	60

ВСТУП

Україна – важлива аграрно-індустріальна держава. Нинішня війна з РФ підкреслила ключову роль сільського господарства не лише в економіці, але й для національної та продовольчої безпеки країни. Зрив ділових зв'язків із зовнішніми та внутрішніми партнерами призвів до значного падіння виробництва сільгосптехніки в Україні. Окрім кількості, погіршується і якість продукції через використання менш якісних компонентів. Часто інженерам доводиться вносити зміни в конструкцію машин, щоб, з одного боку, зменшити їх вартість, а з іншого – зібрати культиватор чи сівалку з наявних або доступних деталей.

Зокрема, перші зразки зернозбиральних комбайнів КЗС-9 «Славутич», випущені у 1996 році, демонстрували показник напрацювання до першого збою на рівні 7...8 годин. Після дворічного періоду вдосконалення техніко-технологічних характеристик, цей показник було збільшено до 59 годин. Проте, навіть цей результат був недостатнім, оскільки аналоги від провідних виробників, таких як CLAAS та JOHN DEERE, досягали показника у 160 годин.

З метою уникнення повторення подібних ситуацій у сучасних надскладних економічних та виробничих реаліях, українським виробникам необхідно забезпечити доступ до передових технологій, матеріалів та конструктивних рішень, що гарантуватимуть підвищення показників надійності техніки.

РОЗДІЛ 1

ДОВГОВІЧНІСТЬ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Розвиток технічного забезпечення аграрного виробництва

Експлуатація сільськогосподарської техніки (СГТ) характеризується нерівномірним завантаженням протягом року, обмеженими агротехнічними строками, а також роботою в умовах значної запиленості та наявності біологічних матеріалів. Для виконання різних технологічних операцій існують різноманітні за конструкцією та призначенням СГТ, такі як дискові, зубові та пружинні борони, культиватори, плуги, обприскувачі (самохідні, навісні та причіпні), розкидачі мінеральних добрив (причіпні, навісні), жатки та комбайни (причіпні та самохідні). Ці умови експлуатації спонукають конструкторів до постійної модернізації різних компонентів техніки. Одним із таких компонентів з підвищеним зносом є трибологічні системи. Професор Буря О.І. посилається на твердження відомого вченого-триболога Б.І. Костецького про те, що "85-90% поломок деталей машин зумовлені зношуванням, і лише 10-15% - недостатньою міцністю" [1, 2]. Підвищення інтенсивності виробництва в рослинництві призводить до прискорення процесів зношування в трибологічних з'єднаннях. Тому конструкторські відділи виробників СГТ займаються розробкою посівних машин, які відповідають сучасним вимогам. Сучасна СГТ повинна мати високу продуктивність, надійність і бути простою в експлуатації. Наукові дослідження та конструкторські розробки ведуться як у напрямку покращення існуючої техніки, так і в пошуку нових технічних рішень [3]. Процес модернізації посівних машин визначається відповідними концепціями або парадигмами розвитку.

Аналіз ранніх етапів розвитку сільськогосподарської техніки (СГТ) дозволяє стверджувати, що їх проєктування ґрунтувалося на принципах класичної механіки [4]. Такий підхід забезпечив досягнення наступних задач:

- Отримання теоретичних висновків щодо дослідження складових елементів конструкцій СГТ, враховуючи їх взаємодію як між собою, так і з навколишнім середовищем.

- Визначення траєкторій переміщення елементів машинно-тракторного агрегату на нерівній поверхні поля.

Водночас, В.В. Альт зауважував про тенденцію до збільшення сили тягового опору СГТ протягом часу [4] (рис. 1.1).

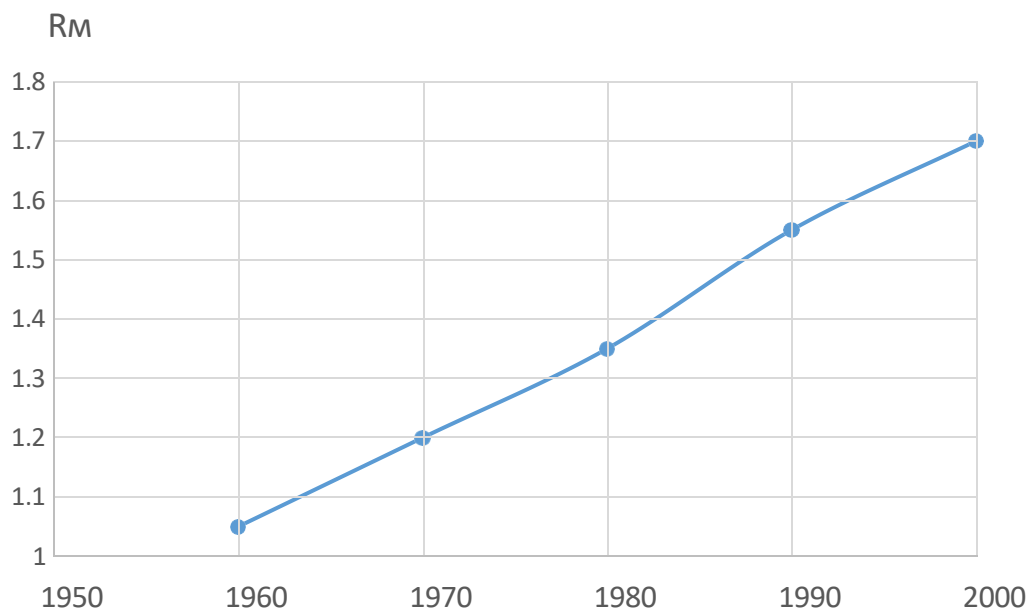


Рис. 1.1. Залежність загального опору переміщенню сільськогосподарської техніки від часу (років)

Безумовно, наявність зазначеної тенденції обумовлена двома основними чинниками. Насамперед, величина сили опору руху зростає пропорційно збільшенню швидкості виконання операцій. Крім того, розширення зони обробки та збільшення маси сільськогосподарської техніки також сприяють зростанню даного показника.

Аналізуючи динаміку залежності, представлені на рис. 1.1, можна припустити, що сила опору руху R_m не може демонструвати перманентне збільшення.

Наразі, актуальним є виокремлення ключових напрямів покращення або модернізації сільськогосподарської техніки, а саме:

- Оптимізація конструктивних елементів;
- Впровадження інноваційних матеріалів;
- Реалізація прогресивних техніко-технологічних рішень (автоматизація, роботизація).

Як правило, перші два з перелічених пунктів можуть бути обмежені у контексті агрегування з тракторами, що використовують традиційну тягово-енергетичну концепцію (ТЕК). Це означає, що трактор (енергетичний засіб) здійснює буксирування сільськогосподарської машини, яка, в свою чергу, виконує певний вид робіт. Навіть сучасні безпілотні трактори, наприклад, розроблені компанією Case IH (CNH) (рис. 1.2), продовжують базуватися на принципі агрегату ТЕК. Отже, основний наголос у підвищенні ефективності використання машинно-тракторного агрегату (МТА) робиться на поліпшенні його кінематичних характеристик, таких як: мінімізація перекриття, підвищення стабільності руху та оптимізація траєкторії руху при розворотах.



Рис. 1.2. Автоматизований трактор типової тягово-енергетичної структури

Корпорація CNH Industrial придбала автономного робота під назвою DOT у компанії Raven Industries. Наразі, зазначений пристрій, відомий як Autonomous Farm Robot (див. рисунок 1.3), є власністю CNH Industrial.



Рис.1.3. Демонстрація автономного сільськогосподарського робота, призначеного для виконання задач у фермерському господарстві.

Тут реалізовано удосконалений метод агрегації, де енергетичний модуль не зумовлює переміщення сільськогосподарської машини. У такому випадку, шасі робота оснащене гідрооб'ємним приводом з повним приводом, що дозволяє безпосередньо розподіляти корисну енергію на робочі елементи машин. Особливо продуктивним є поєднання автономного сільськогосподарського робота з посівним комплексом.

Водночас, розгляд конструкції сівалки, призначеної для агрегації з цим роботом, виявляє її відповідність традиційним інженерним рішенням для сівалок (рис. 1.4): наявна рама, до якої приєднані копіювальні механізми, сошники, прикочуюче колесо на хитному важелі та інше.



Рис. 1.4. Посівні секції, призначені для агрегатування з Autonomous Farm Robot, сконструйовані із застосуванням загальноприйнятих інженерних рішень

Аналіз конструкції паралелограмних механізмів виявив використання трибологічних систем, зокрема рухомих з'єднань, що ґрунтуються на традиційній схемі "металевий вал – металева втулка". Дана інженерна реалізація потенційно обмежує тривалість автономної роботи обладнання та здатна провокувати виникнення вимушених зупинок внаслідок несправностей або регламентних технічних заходів.

1.2. Тривалість експлуатації, як важлива характеристика надійності інженерних комплексів

Надійність машин являє собою багатогранну характеристику, яка відображає здатність технічного засобу якісно виконувати покладені на нього завдання у визначених умовах функціонування та протягом встановленого періоду часу [5]. Цей інтегральний показник охоплює такі ключові аспекти, як безвідмовна робота, тривалий термін служби, збереження працездатності та можливість відновлення у разі виходу з ладу.

Зазвичай, базові принципи надійності, а відповідно і перелічених її компонентів, інтегруються на етапах проектування та виробництва машин, а також підтримуються шляхом реалізації комплексу профілактичних заходів, наприклад, через систему технічного обслуговування. Згідно з твердженням професора Рибка Т.І., «наукові основи надійності машин базуються насамперед на глибоких теоретичних дослідженнях, розрахунках міцності елементів та деталей, математичній статистиці, теорії ймовірностей та інших дисциплінах» [5, с. 7]. Разом з тим, слід враховувати важливість розрахунків параметрів тертя та зношування, а також проведення трибологічних експериментів. Підвищення терміну експлуатації, як складової надійності, може бути досягнуте шляхом оптимізації процесів тертя у трибологічних системах сільськогосподарської техніки (СГТ). Зважаючи на роботу в складних умовах, компоненти СГТ піддаються різним формам зношування, таким як механічне, абразивне, хімічне, окислювальне та інші. Детальний аналіз цих видів тертя, представлений у

фундаментальних працях [6], надає важливе розуміння необхідних властивостей нових деталей СГТ.

Дисертаційне дослідження зосереджено на підвищенні довговічності, як ключового компонента надійності технічних систем. У контексті дослідження, довговічність визначається як здатність обладнання зберігати працездатність протягом заданого періоду часу або до досягнення певного обсягу виконаних робіт, за умови належного технічного обслуговування та ремонтів [5]. Іншими словами, довговічність можна розглядати як кінцевий термін служби обладнання, протягом якого забезпечуються гарантовані експлуатаційні характеристики. Варто зазначити поділ довговічності на два аспекти: моральну та фізичну. Моральна довговічність визначається моментом, коли обладнання стає неконкурентоспроможним у відповідності до сучасних виробничих вимог, тоді як фізична довговічність обумовлюється безпосередньо тривалістю його функціонування.

1.3. Проблематика збільшення терміну служби аграрної техніки

У процесі функціонування сільськогосподарської техніки (СГТ) на її компоненти систематично впливає комплекс несприятливих факторів, зокрема вологість, температурні коливання, абразивні частинки та динамічні навантаження. Ці чинники зумовлюють виникнення різноманітних типів зношування, як було зазначено у розділі 1.2, а саме:

Механічне зношування – процес, обумовлений контактною взаємодією двох поверхонь, що труться. Може відбуватися в умовах наявності мастила, за його відсутності або в режимі граничного змащування.

Абразивне зношування – тип зношування, який виникає при потраплянні твердих частинок, що перевищують твердість матеріалу поверхонь тертя, між цими поверхнями, спричиняючи інтенсивне руйнування робочих поверхонь.

Хімічне зношування – руйнування матеріалу під впливом агресивних хімічних сполук, наприклад, пестицидів.

Окиснювальне зношування – явище, що спостерігається, коли вузол тертя піддається впливу кисню з повітря або окиснювачів, що містяться у мастильних матеріалах. В результаті хімічної реакції утворюється оксидна плівка з низькими механічними та незадовільними трибологічними характеристиками, що призводить до її прискореного руйнування.

Корозійне зношування – тип зношування, який найчастіше викликаний комбінованою дією вологи та повітря. Особливо помітно проявляється при порушенні правил консервації техніки на період зберігання.

Існують інші форми зношування, однак їхній вплив на термін служби техніки є відносно меншим. Підвищення довговічності сільськогосподарської техніки (СГТ) ускладнюється неможливістю модифікації умов її функціонування. Обладнання змушене працювати в умовах відкритого простору, зазнаючи впливу погодних факторів, абразивних частинок і органічних залишків рослин. Разом із тим, від техніки вимагається підтримання та збільшення ефективності роботи, оперативності виконання завдань, що, в свою чергу, призводить до збільшення швидкостей та навантажень у вузлах тертя. Така взаємозалежність обумовлює необхідність розробки модернізованих конструкцій або впровадження прогресивних матеріалів з розширеним спектром характеристик, що відрізняються від традиційних матеріалів, таких як сталі та сплави. Важливо підкреслити, що сучасна СГТ має відповідати актуальним екологічним стандартам, забезпечуючи мінімальний вплив на ґрунт і навколишнє середовище.

1.4. Методології збільшення терміну служби агротехніки

Традиційні підходи до збільшення терміну служби передбачають оптимізацію конструкторських, технологічних та експлуатаційних стратегій модернізації [7]. Розглянемо ці підходи більш детально.

Конструкторський підхід до підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки (СГТ) полягає у розробці нових конструкцій

вузлів, які містять елементи, виготовлені з матеріалів підвищеної зносостійкості, та їх оптимальне поєднання у вузлах тертя. Конструкторський підхід застосовується на етапі проектування або покращення конструкцій, враховуючи сучасні науково-технічні досягнення.

Подальше збільшення терміну служби після застосування конструкторського підходу (або за умови вичерпання його потенціалу) можливе за допомогою технологічного підходу. Він передбачає виготовлення деталей з високою прецизійністю та застосування технологій, що дозволяють регулювати фізико-механічні властивості, контролювати процеси зміцнення поверхневих шарів за допомогою термічної та механічної обробки, а також нанесення зносостійких покриттів, включаючи композиційні матеріали. Головною перевагою цього підходу є можливість збільшення терміну служби вузлів без внесення змін у їх конструкцію. Наприклад, підвищення довговічності трибологічного з'єднання може бути досягнуто шляхом використання більш зносостійкого матеріалу, який є менш чутливим до зовнішніх факторів.

З точки зору користувача, найбільш доступним є експлуатаційний підхід до підвищення довговічності СГТ, який полягає у забезпеченні дотримання вимог планового технічного обслуговування (ТО), підтримці оптимальних параметрів технічного стану відповідно до технологічного регламенту та умов експлуатації.

Довговічність систем, що генерують тертя (СГТ), визначається сукупністю конструктивних особливостей, обраних матеріалів та застосованих технологій обробки поверхонь. Важливим фактором, що впливає на надійність трибологічних систем, є також врахування зовнішніх чинників та специфічних умов їх функціонування на етапі проектування.

У сучасних конструкціях СГТ ключовими завданнями, які вирішують розробники, є мінімізація фрикційних втрат та забезпечення належної міцності елементів, що піддаються динамічним навантаженням. Для забезпечення надійної роботи конструкцій в умовах динамічних збурень необхідно враховувати явища тертя та несучої здатності. Розглянемо ці поняття детальніше.

Тертя – це складний фізико-механічний процес, інтенсивність та характер якого визначаються величиною тиску на поверхнях контакту, трибологічними характеристиками матеріалів, з яких виготовлені елементи тертя, а також умовами їх взаємодії. До останніх відносяться наявність мастильних матеріалів (рідинних або твердих), забезпечення стабільного надходження технологічних рідин у зону контакту та видалення продуктів зношування.

Розрізняють наступні режими тертя:

- сухе тертя – безпосередній контакт поверхонь тертя за відсутності мастильного шару.
- межеве тертя – розділення поверхонь тонкою плівкою мастила (товщиною менше 0,1 мкм), яка не проявляє властивостей рідини.
- рідинне тертя – повне розділення поверхонь шаром мастила або іншої технологічної рідини.

Сухе тертя сприяє найбільш інтенсивному зношуванню через підвищення температури в зоні контакту та концентрацію тиску на окремих ділянках, що прискорює процеси руйнування поверхонь.

Несуча здатність – це здатність конструкції або машини виконувати задані функції в конкретних умовах експлуатації, не перевищуючи допустимі відхилення від нормативних параметрів [5]. Інакше кажучи, це характеристика, що описує спроможність елементів машини витримувати навантаження, які виникають під час експлуатації, без втрати працездатності та порушення функціонального призначення.

Несуча здатність стала особливо важливою з поширенням нових матеріалів, особливо неметалевих – полімерів та композитів на їх основі.

Полімерні композиційні матеріали, призначені для використання в конструкціях механізмів і машин, називаються конструкційними пластиками (КП).

Вивченням і розробкою КП в механізмах і машинах, зокрема в сільськогосподарському машинобудуванні, займалися такі науковці: 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 інші. Результатом їхньої значної роботи стали розроблені нові сполуки і матеріали, нові конструкції машин з властивостями, яких неможливо досягти при використанні металів. Це зумовлено тим, що трибологічні системи, укомплектовані ПК, мають високу зносостійкість і стійкість до корозії; меншу масу, екологічний вплив тощо.

Використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) у трибологічних системах машин та механізмів сприяло збільшенню терміну служби та зниженню витрат на обслуговування [8, 9].

Застосування ПКМ в трибоспряженнях можна розглядати як спосіб покращення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки. Однак, виникла нова проблема, пов'язана з різноманітністю динамічних навантажень у з'єднаннях сільгосптехніки – це відповідність характеристик ПКМ умовам експлуатації.

Наприклад, у праці [10] обґрунтовано використання вуглепластику УПА-6-30 для виробництва втулок шнека зернозбиральних комбайнів. При цьому, максимальний тиск у з'єднанні "палець – втулка" становить лише 0,45 МПа, а межа міцності матеріалу при стисненні – 128 МПа. Отже, невідповідність властивостей матеріалу умовам роботи механізму є очевидною.

Аналогічна ситуація спостерігається у дослідженні [11], де аналітичні розрахунки показали, що навантаження в з'єднанні паралелограмного механізму сівалок Turbosem II 19-60 становить 2377 Н. При цьому, несуча здатність полімерно-композитної деталі вдесятеро перевищує заявлені навантаження.

Огляд використання різних марок полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) у виробництві деталей для рухомих з'єднань (як це показано в таблиці 1.1) чітко демонструє, що існує потреба у більш виваженому та обґрунтованому методі вибору матеріалів. Іншими словами, аналіз наявних підходів до підбору ПКМ для таких важливих компонентів вказує на необхідність розробки більш комплексного і ретельного процесу обґрунтування цього вибору.

Таблиця 1.1

**Використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) у вузлах
тертя сільськогосподарської техніки**

№	Тип сільськогосподарської техніки	Основні вузли або механізми тертя	Застосовані марки полімерних композиційних матеріалів
1	Зернозбиральні комбайни	Пальцевий механізм жатки	УПА-6-30, УПА-6-40
		Підшипниковий вузол променя мотовила	ПА-6, ПА-66, УПА-6-30
2	Сівалки	Паралелограмна система приводу сошників	УПА-6-30, УПА-6-40
		Шарнірна група важеля прикотного колеса	УПА-6-30
3	Спеціальна техніка	Поворотний механізм башти або обертової платформи	УПА-6-40
4	Культиватори	Шарнір кріплення стійки робочого органу	УПА-6-40
5	Вантажні автомобілі	Розтискний кулак гальмівного механізму, шворінь поворотного кулака	ПА-66, УПА-6-30

Згідно з проведенням аналізом, у різних механізмах спостерігається тенденція до застосування однотипних матеріалів. Це, безумовно, спрощує питання уніфікації, проте може призводити до неоптимального використання ресурсів. Зокрема, вважаємо недоцільним застосування композиційного полімерного матеріалу марки УПА-6-40 для виготовлення елементів шнека жатки, що зазнають максимального тиску лише до 0,45 МПа. УПА-6-30 є відносно коштовним матеріалом з підвищеними фізико-механічними та трибологічними властивостями (див. таблицю 1.2), потенціал яких не реалізується повною мірою в зазначеному та подібних механізмах. Окрім того, науковцями нашого університету було здійснено ряд досліджень щодо використання полімерних композиційних матеріалів, модифікованих додаванням перероблених полімерів, таких як поліетилен і поліамід [12, 13].

Таблиця 1.2

Основні фізико-механічні характеристики полімерного композиційного матеріалу УПА-6-30

№	Показник	Одиниця виміру	Значення
1	Коефіцієнт тертя при мастилі оливою И-40	—	0,03–0,05
2	Густина матеріалу	г/см ³	1,2
3	Границя міцності під час стискання	МПа	128–132
4	Коефіцієнт тертя без мастила	—	0,26–0,32
5	Ударна в'язкість	кДж/м ²	35–41

Отже, для забезпечення оптимальної реалізації характеристик окремих деталей механізмів, необхідно впроваджувати науково-обґрунтований підбір марок КПМ.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ РУХОМИХ ВУЗЛІВ СГТ

2.1. Вплив динаміки робочих навантажень на рухомі вузли СГТ

Умови функціонування сільськогосподарської техніки (СГТ) характеризуються значною мірою стохастичністю [14]. Дана обставина обумовлена як гетерогенністю структури ґрунтового покриву, так і особливостями рельєфу місцевості. Під час реалізації технологічних операцій, мобільні агрегати здійснюють пересування по нерівномірній поверхні (рис. 2.1). Вертикальні коливання в межах одного агрономічного поля можуть досягати значень 2...3 метрів, а на ділянці, що відповідає ширині захвату агрегату – 0,3 ... 0,5 м. Вказане явище зумовлює генерацію значних напружень у кінематичних парах СГТ. Важливо відзначити, що зазначені напруження не повинні мати негативного впливу на показники якості та продуктивності агрегатів, тобто технологічні процеси повинні бути реалізовані відповідно до встановлених агротехнічних вимог.

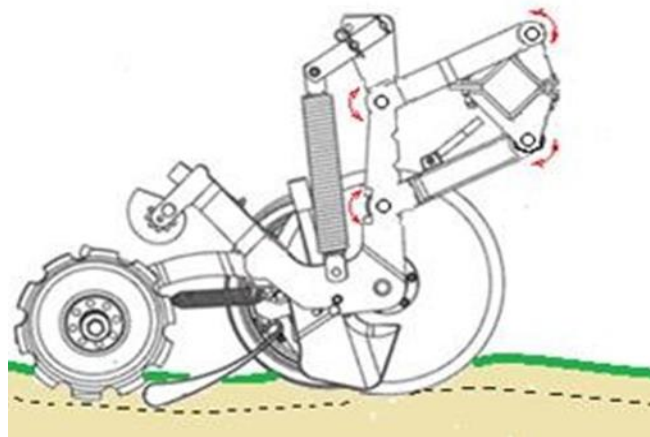


Рис. 2.1 Траєкторія руху сільськогосподарської техніки (зокрема, посівного агрегату) по нерівній поверхні з непостійною кривизною

Впровадження новаторських конструктивно-технологічних рішень з обґрунтуванням застосування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) в рухомих з'єднаннях вимагає забезпечення міцності деталей для надійної роботи

трибоспряжень у зазначених умовах експлуатації. Оскільки головним завданням досліджень є пристосування властивостей ПКМ до мінливих умов роботи, потрібно здійснити аналітичне встановлення областей (зон або полів) напружень і деформацій, що здатні виникати під дією динамічних знакозмінних навантажень.

2.2. Оцінка зон концентрації напружень у трибоз'єднаннях із композитними елементами

У досліджуваних конструкціях, представлених у таблиці 1.1, виникають навантаження та тиски різної інтенсивності. Розроблена математична модель має потенціал для моделювання станів підшипникових вузлів за різноманітних умов експлуатації. Зокрема, полімерні композиційні матеріали, характеризуючись підвищеними демпфувальними властивостями, під впливом значних навантажень демонструватимуть більш виражені деформації у порівнянні зі сталевими корпусами. Саме кількісну оцінку цих деформацій і мають забезпечувати математичні моделі.

Для створення математичної моделі необхідно сформулювати первинні дані. З цією метою розробимо схему прикладання навантажень на основі підшипникового вузла ковзання, в конструкції якого використовуються полімерно-композитні вкладиші (рис. 2.2). Типовий підшипниковий вузол має нероз'ємний вкладиш (рис. 2.2, б), де кут α_1 збігається з кутом α на рис. 2.2, а.

В умовах прикладання зовнішнього силового впливу, висувається гіпотеза про те, що за межами області контакту спостерігається однорідна радіальна деформація матеріалу в напрямку до центру (рис. 2.2, б.). Даний феномен може бути представлений за допомогою наступного рівняння:

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

де C_1 - зміна величини, що являє собою миттєву зміну положення або стрибок, обчислюється виходячи з умови збереження сумарного об'єму підшипника.

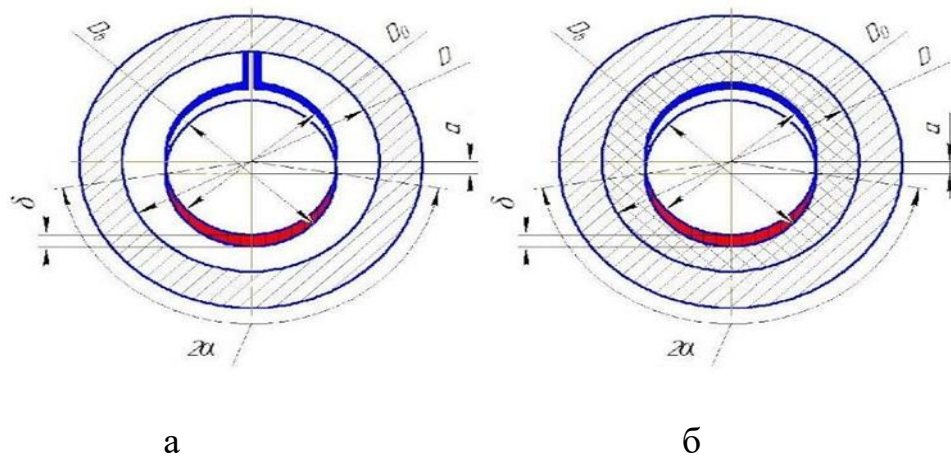


Рис. 2.2. Порівняльні конфігурації напружень у підшипниках ковзання в зоні підтримки:

I та II – ділянки розтягу та стиску; 2α – кут внутрішнього простору

Виходячи з умови рівності площ, $S_1 = 2(\alpha \sin \alpha - \Delta_R \alpha)$; $S_2 = 2 \cdot C_1 \cdot (\pi - \alpha)$,

можливо встановити значення константи C_1 враховуючи $S_1 = S_2$.

Підстановка цього положення у вираз (2.1) призведе до наступного:

$$U(\varphi) = \frac{-\Delta R (\tan \alpha - \alpha)}{(\pi - \alpha)}, \quad (2.2)$$

при $\varphi \geq \alpha$ і $\varphi \leq \pi - \alpha$,

Під час визначення функції $\sigma_{\varphi\varphi}(\varphi)$ виходять з передумови, що виникнення ненульового напруження $\sigma_{\varphi\varphi}$ умовлено виключно "витісненням" речовини за межі ділянки контакту. У разі застосування аналогічного допущення, як у виразі (2.1), матимемо:

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

Значення константи C_2 може бути встановлено за допомогою крайової умови, при $\varphi = \pm \alpha$:

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

У ситуації, коли $C_2 = 0$, набуває нульового значення, застосовуючи математичні принципи, робимо висновок, що:

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

Підставляючи $\nu=0,5$ отримаємо:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\pm\alpha) = \frac{E^* U_r(\pm\alpha)}{(1+0,5) \cdot 0,5 \cdot S}$$

Формула (2.6):

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\varphi) = -\frac{4 E \Delta}{3 S R} (\tan\alpha - \alpha)(\pi - \alpha)$$

Для представленої схеми навантаження (рис. 2.2, б), яка розглядається, характерна епюра радіальних деформацій, що відображена на рис. 2.3. З огляду на наявність зміщення осі валу, позначеного як α , її визначення виключно на основі геометричних співвідношень є неможливим. Отже, рівняння для обчислення зазначеного зміщення α має наступний вигляд:

$$\int U_{\varphi\varphi} dV = 0, \quad (2.7)$$

V - Об'ємна міра полімерно-композитного підшипника ковзання.

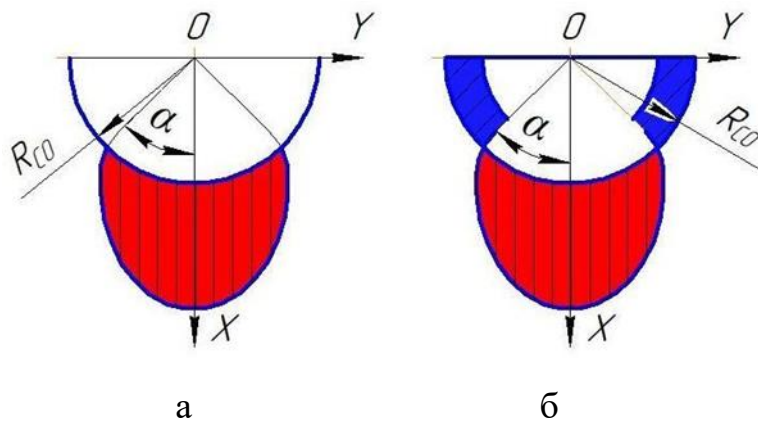


Рис. 2.3. Розподіл радіальних деформацій, що виникають у вкладиші за умов статичного навантаження:

(а) – вкладиш з осьовим розрізом; (б) – вкладиш без осьового розрізу.

Враховуючи фактичну зміну геометричних параметрів деталі, варіація об'єму підшипника визначається як:

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

де V та V' – об'єми полімерно-композитного підшипника у початковому стані та після деформування відповідно; l – поздовжній розмір втулки.

Виходячи з фізичної інтерпретації діагональних елементів тензора деформації, отримаємо:

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

В циліндричній системі координат, перший член у правій частині набуває наступного вигляду:

$$-\int_V U_{rr} dV = -\int_0^l dz \int_0^{2\pi} \int_{R_1}^{R_1+S} U_{rr}(r, \varphi) r dr d\varphi \quad (2.10)$$

Виконавши інтегрування за змінною r припускаючи, що в нульовому наближенні за малим параметром S/R_1 , деформація $U_{rr}(r, \varphi) = U_{rr}(\varphi)$, можна продемонструвати, що вираз у правій частині рівняння (2.12), а саме перший член правої частини рівняння (2.11), є аналогічним до правої частини рівняння (2.10). Це підтверджує обґрунтованість виразу (2.8) за умови (2.1). Від інтегрального співвідношення (2.8) можливо перейти шляхом безпосереднього інтегрування $U_{\varphi\varphi}$ по об'єму від r та z , враховуючи симетрію задачі. Після інтегрування отриманого виразу за φ в межах від 0 до π , розділимо обидві частини отриманого співвідношення на $(1-\nu)^2$ і визначимо відповідне зміщення a [15].

У процесі розв'язання рівнянь необхідно врахувати граничні умови, а також умови спряження на внутрішній поверхні вкладиша при $r = R_1$. Розглядаючи зону I, визначаємо, що область контакту описується кутами $0 \leq \varphi \leq \alpha$. Відповідно, у зоні II, кути змінюються в межах $\alpha \leq \varphi \leq \pi$.

У ділянці взаємодії припускається незмінність форми валу, радіальні переміщення визначаються:

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

Радіальні напруження за межами контактної області:

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

У випадку прийняття гіпотези про абсолютну твердість поверхні оболонки, крайові умови на зовнішній межі при $r = R_2$ зводяться до:

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

Умова відсутності дотичних напружень на зовнішній поверхні гарантуватиметься вимогою:

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

Варто додати умови симетрії до заключної вимоги: перефразуючи у більш формальному стилі, використовуючи загальноприйняті синоніми.

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

Так як: $S \ll R_1$, 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

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

Під час обчислення деформацій, $\frac{\partial U_r}{\partial r}$, необхідно враховувати наступне:

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

Щодо радіальних переміщень U_r і деформацій U_{rr} у межах контактної зони, встановлюється наступне:

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

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

Умова відсутності радіального напруження в точці з кутовою координатою $\varphi = \alpha$, на поверхні циліндра радіуса R_1 , що математично виражається як $\sigma_{rr}(R_1, \alpha) = 0$ передбачає наступне:

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

Додатково, щодо радіального напруження $\sigma_{rr}(R_1, \varphi)$ отримаємо наступне:

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

У результаті, після досягнення $\varphi = \alpha$, остаточно отримуємо:

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

Радіальне зміщення може бути виражене за допомогою наступного загального рівняння:

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

В області, де $S \leq R_1$ має місце співвідношення $\sigma_{r\varphi}(r, \varphi) = 0$. З огляду на зазначене, ця умова є універсальною для обох розгляданих зон і визначає характер розподілу напружень:

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

Враховуючи співвідношення (2.44), (2.46) та вираз для обчислення σ_{zz} , отримаємо:

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

У наведених виразах (2.49) і (2.50) слід врахувати обмеження плоскої деформації, що виражається умовою,

$U_{zz}^{(I)}(r,\varphi) = U_{zz}^{(II)}(r,\varphi) = 0$, а також доповнити їх сукупністю тотожностей:

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

де L_{IV} - це статична кутова функція, яка встановлює взаємозв'язок між навантаженням P та кутом півохоплення α . Субіндекс IV вказує на те, що дане рівняння було виведено для матеріалів із будь-якими значеннями коефіцієнта Пуассона. Числові значення L_{IV} можуть бути знайдені у посиланні [15]. Отримана система рівнянь була розв'язана із застосуванням програмного забезпечення MathCad 14.0 (пробна версія).

З метою остаточного встановлення опорних реакцій у вузлах рухомого з'єднання посівної секції комплексу «Агро-Союз Turbosem II 19-60», представлено кінцеві, фактичні значення вихідних ланок, котрі характеризують відтворення паралелограмного механізму у спрощеній схемі: $AB_1 = CD = 600$ 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 диска 400 мм, опорного колеса 400 мм; прикочувального колеса 305 мм; $\angle\varphi_{\max} = 65^\circ$. Задані наступні кутові значення: кут $\angle\alpha = 45^\circ$; $\angle\beta = 72^\circ$; $\angle\gamma = 80^\circ$, Лінійний розмір $l_1 = 100$ мм. Масові характеристики окремих елементів конструкції мають такі значення: $m_1 = 15$ 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. Коефіцієнти пружності пружин представлені наступними величинами: жорсткість пружини P_1P_2 дорівнює 162 Н/см, а жорсткість U_1U_2 пружини = 95 Н/см.

В процесі функціонування посівної секції, для розрахунку з'єднань рухомих елементів, необхідно встановити зовнішні навантаження, що впливають на неї. Ці навантаження слід визначити з огляду на їхній найбільший динамічний ефект. Розглянемо посівний комплекс Turbosem II 19-60, що працює з тракторами потужністю 310 к.с. Згідно з умовами використання, ці транспортні засоби повинні мати 25% резерву потужності під час виконання операцій.

Враховуючи цю умову, максимальна потужність трактора, передана на агрегат, становитиме 233 к.с. Ця потужність рівномірно розподіляється між 60 посівними секціями. Таким чином, на кожну секцію припадає приблизно 3,9 к.с. Згідно з технічними специфікаціями, ця потужність реалізується при швидкості руху посівного комплексу в діапазоні 8...9 км/год. Для визначення сили тяги, що впливає на окрему посівну секцію, застосовується класична формула Д. Уатт:

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

Враховуючи зазначені обставини, величина сили тяги, прикладеної до кожної посівної секції, становить 1150 Н. З метою всебічного аналізу силового навантаження, що впливає на посівні секції, також береться до уваги гравітаційна сила, зумовлена вагою рамної конструкції посівного комплексу. Відповідно, маса посівного комплексу (без урахування бункера) рівномірно розподіляється між 60 посівними секціями. Загальна маса посівного комплексу становить 11900 кг, що призводить до навантаження у 199 кг на кожну секцію, еквівалентному силі у 1952 Н. Сили тяги та ваги рамної конструкції розподіляються з однаковою інтенсивністю між двома точками кріплення кожної посівної секції до рами посівного комплексу.

Після введення наведених числових параметрів у систему рівнянь, представлену в даному розділі, та застосування програмного забезпечення MathCad 14.0 (ознайомлювальна версія), були отримані наступні результати, що відображають силову картину посівної секції комплексу Turbosem II 19-60.

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

$$R_A = 1663 \text{ Н}; R_{B1} = 2377,3 \text{ Н}; R_C = 1285,9 \text{ Н}; R_D = 1674,5 \text{ Н}; R_E = 2876 \text{ Н};$$

$$R_S = 2677,3 \text{ Н}; R_J = 921,1 \text{ Н}; R_D = 893,7 \text{ Н}.$$

2.3. Висновки за розділом

Проведено дослідження специфіки застосування підшипникових з'єднань у агротехнічному обладнанні та визначено ключові параметри, що впливають на вибір оптимального типу підшипника.

Представлено аналітичне обґрунтування доцільності впровадження полімерно-композитного підшипника ковзання в динамічних елементах посівного комплексу сільськогосподарської техніки.

Здійснено аналіз характеру навантаження, що діє на підшипник ковзання, на основі якого обрано математичну модель, базовану на положеннях теорії пружності, для обчислення величин зміщень (радіальних, кутових), деформацій (радіальних, осьових), а також нормальних і дотичних напружень, що виникають у полімерному підшипнику в зонах розтягу та стиску. Розроблено відповідні моделі для їхньої реалізації у програмному комплексі MathCad 14.0 (trial version).

Отримані значення прикладених сил, що варіюються в діапазоні 941,2...3022,5 Н, та реакцій в шарнірних з'єднаннях, що досягають 2677,3 Н, слугують підставою для вибору та обґрунтування застосування полімерно-композитних матеріалів із заданим комплексом експлуатаційних характеристик.

РОЗДІЛ 3

ПЛАН, ЦІЛІ ТА ПІДСУМКИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Організація дослідження та визначення його цілей

Аналіз полів напружень та встановлення силової картини в рухомих з'єднаннях, що містять трибологічну пару "полімерний композиційний матеріал (ПКМ) – сталь", дає змогу обґрунтувати необхідні показники та властивості ПКМ. Подальшим етапом є створення або вибір відповідних композиційних матеріалів для гарантування заданої ("запрограмованої") експлуатаційної довговічності трибологічного з'єднання. Одним з визначальних факторів, що впливає на функціональність ПКМ, є їхні фізико-механічні параметри та характеристики, а саме границя плинності та ударна міцність. Перший параметр визначає величину навантаження, при якому матеріал починає зазнавати пластичної деформації. У реальних трибологічних системах деталь деформується та втрачає працездатність, або її термін служби суттєво скорочується. Композиційні матеріали з високою ударною міцністю забезпечують надійну роботу в умовах циклічних ударних навантажень. Отже, забезпечення необхідних показників та властивостей ПКМ, з урахуванням робочих режимів трибологічних з'єднань, є нагальною проблемою машинобудування.

Програма досліджень була структурована за наступними етапами:

- первинна обробка полімерних композиційних матеріалів та дисперсних наповнювачів.
- синтез полімерних композитів з варіативним вмістом компонентів (поліамідної матриці, вуглецевих волокон, графітових частинок та мастильних добавок).
- формування дослідних зразків за допомогою технології лиття під тиском з подальшою підготовкою до проведення випробувань.
- вивчення фізико-механічних властивостей отриманих матеріалів.

- аналіз результатів експериментів та формулювання узагальнюючих висновків.

Ключовою метою досліджень є наукове обґрунтування оптимальних складів полімерних композиційних матеріалів, що дозволять реалізувати адаптивну систему регулювання терміну експлуатації трибологічних вузлів сільськогосподарської техніки.

3.2. Організація процесу підготовки полімерних композицій та їх компонентів

У даній роботі як матричний полімер для розробки перспективних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) було обрано поліамід 6. В якості дисперсної фази використано вуглецеве волокно (довжина 3 мм), порошкоподібний графіт та поліметилсилоксанова рідина ПМС-400. Зважаючи на гігроскопічні властивості поліаміду 6 та графіту, для мінімізації вмісту води, попередньо проводили їх дегідратацію шляхом термічної обробки в сушильний шафі СНОЛ 67/350 (рис. 3.1) протягом 2 годин при температурі 80 °С.



Рисунок 3.2. Конструкція та компоненти термостата СНОЛ 67/350, який являє собою шафу для термообробки

Введення полідиметилсилоксанової рідини марки ПМС-400 здійснювалося за допомогою диспергування в матриці з використанням ротаційного електромагнітного поля на апараті АВС-100. Параметри змішування були наступні: тривалість одного циклу – 15 секунд, кратність повторення – 5 разів.

У таблиці 3.1 представлено композиційні склади полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) та їхні відповідні умовні позначення, отриманих методом екструзії.

Таблиця 3.1

Формуляції полімерно-композитних матеріалів (ПКМ) та їх маркування

№ з/п	Позначення композиції	Складові компоненти (масова частка, %)
		Поліамід-6
1	ПКМ-1 (УПА-6-10)	90
2	ПКМ-2 (УПА-6-15)	85
3	ПКМ-3 (УПА-6-20)	80
4	ПКМ-4 (УПА-6-20+1,5ПМС)	78,5
5	ПКМ-5 (УПА-6-20+5ГР)	75

Обрання концентрацій складових обумовлено тим, що максимальні значення ударної в'язкості композиційного матеріалу на полімерній основі, зокрема, поліаміду 6, як правило, досягаються при введенні вуглецевого волокна в кількості 17% за масою [1, 2]. При цьому, слід враховувати певний інтервал концентрацій навколо зазначеного оптимального значення.

3.3. Методика одержання полімерно-композитних матеріалів зі змінними частками структурних і функціональних компонентів

Процес компаундування складових частин і їх подальша трансформація в полімерний композиційний матеріал (ПКМ) здійснювалися за допомогою

експериментального екструдера ЕКГ-45 (див. рис. 3.2). Екструдер оснащено двома пристроями дозування: для основного інгредієнту – матриці, та окремо для наповнювача. Композиція компонентів, що пройшла попереднє перемішування, переміщується до чотирьох температурних зон, що характеризуються відмінними температурними режимами. У цих зонах відбувається поступовий нагрів композиції до температури плавлення. Отриманий розплав, через систему фільтр, надходить під тиском у формі безперервних пасом (стренгів) та направляється у ванну з водою для охолодження. Охолоджені стренги згодом піддаються подрібненню на грануляторі.



Рис. 3.2. Дослідний екструдер ЕКГ-45, що використовувався в експерименті

З метою елімінації залишкової вологи, отримані гранульовані композиційні матеріали на основі полімерів (ПКМ) піддавалися сушінню в термостаті SNOI 67/350 за температури 80 °C впродовж 3-4 годин.

3.4. Технологічне виготовлення та передвипробувальна підготовка зразків, отриманих методом лиття під тиском

Основним складовим елементом усіх розроблених полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) є поліамід 6, що характеризується гігроскопічністю. З огляду на це, попередньо до формування дослідних зразків здійснювали дегідратацію ПКМ за температури 90 °С протягом щонайменше 4 годин у термостаті з конвекційним нагріванням – СНОЛ 67/350.

Формування дослідних зразків для подальшого вивчення характеристик отриманих матеріалів проводилося методом лиття під тиском з використанням машини ПЛ-32 (див. рис. 3.3).

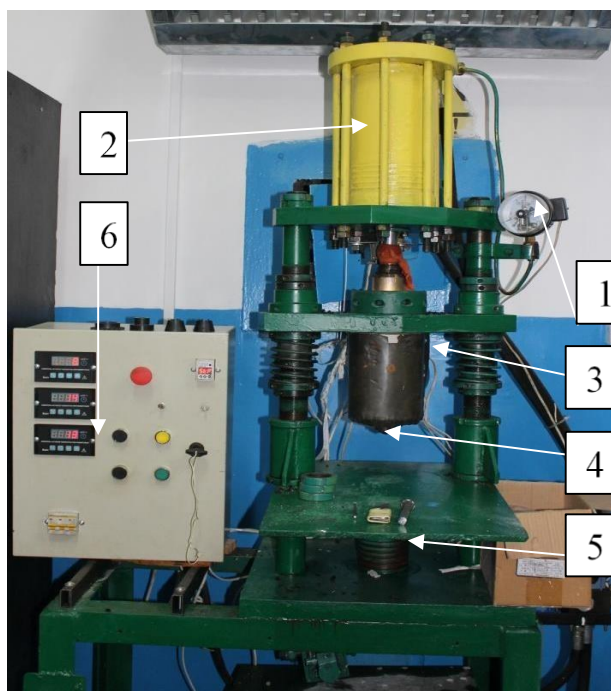


Рис. 3.3. Апарат ПЛ-32:

(1) вимірювач тиску, (2) виконавчий гідравлічний циліндр, (3) секція термічного оброблення, (4) формувальний елемент (часто званий "яблуком"), (5) опорна поверхня для прес-форм, і (6) панель керування параметрами функціонування

Дослідні зразки виготовляли згідно з усталеною методикою, описаною в [10]. Полімерний композиційний матеріал (ПКМ) надходив у нагрівальну камеру 4. В камері нагріву підтримувалася задана температура плавлення за допомогою термопари та системи регулювання з незначним відхиленням, що не

перевищувало $\pm 5^{\circ} \text{C}$. Найбільший тиск регулювався та контролювався за допомогою манометра 1, оснащеного системою кінцевих вимикачів. Пульти керування 6 забезпечували можливість виготовлення зразків як у напівавтоматичному, так і в ручному режимах. Розплавлений ПКМ з робочого циліндра під тиском надходив до прес-форм, попередньо нагрітих до температури 80°C . Виготовлені зразки відрізнялися рівномірною структурою, видимих дефектів не виявлено.

Зразки, призначені для вивчення фізико-механічних параметрів і властивостей, показані на рисунку 3.4.

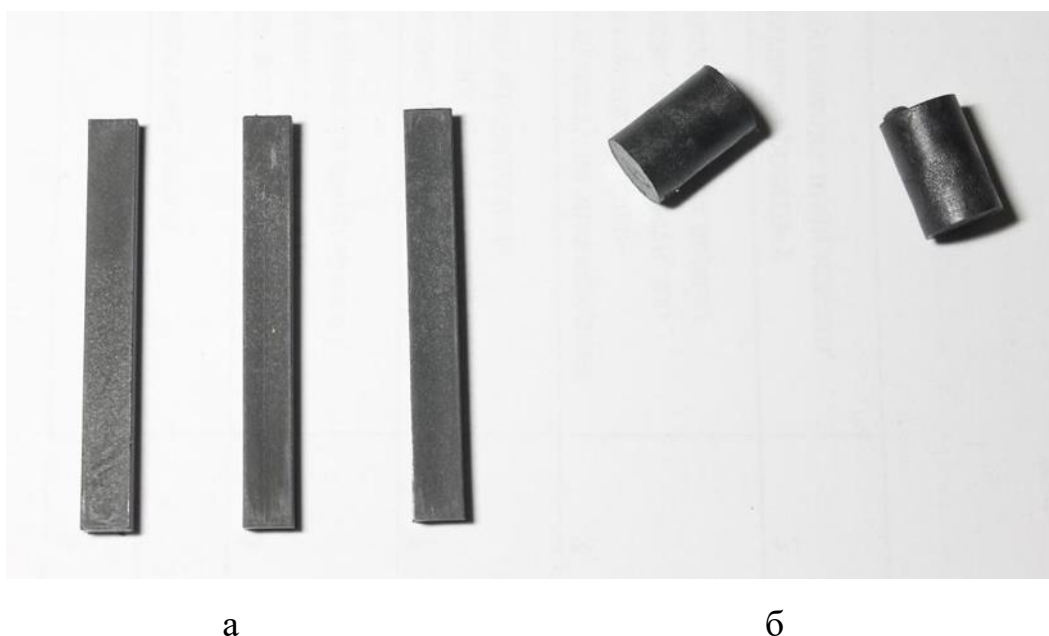


Рис. 3.4. Зразки, що використовуються в експериментальних дослідженнях:

а) для визначення міцності при ударі; б) для встановлення фізико-механічних характеристик та властивостей.

Для вивчення особливостей та властивостей матеріалів використовували непарну кількість екземплярів, кожен з яких було отримано з індивідуальної заливки у формувальну прес-форму.

3.5. Дослідницька методологія фізико-механічних властивостей параметрів експериментальних матеріалів

Фізико-механічні параметри та характеристики визначалися за допомогою випробувальної системи FP-100 (див. рис. 3.5) відповідно до вимог державного стандарту ГОСТ 4651-82.

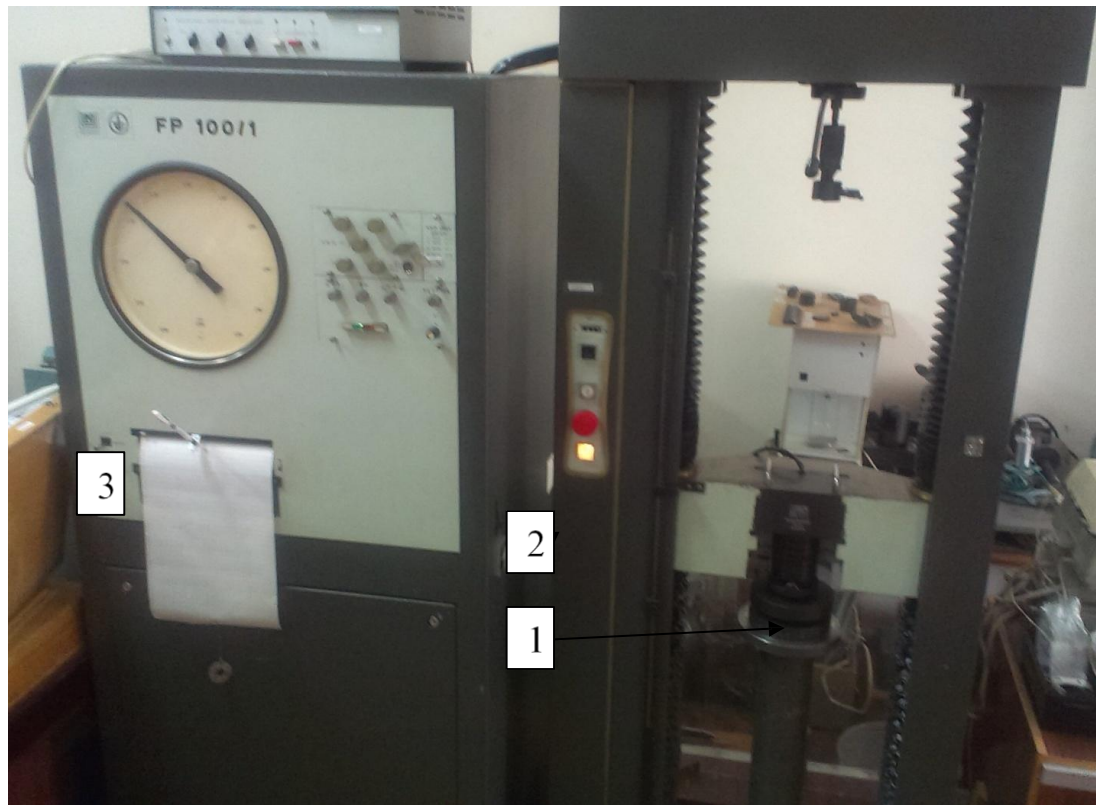


Рис. 3.5. Випробувальна машина моделі FP-100:

1 – опорна платформа, 2 – спеціалізоване обладнання для проведення тесту на компресію, 3 – документ для протоколювання результатів експерименту

Визначення межі міцності на стиск розроблених полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) проводилося на зразках циліндричної форми з наступними геометричними параметрами: діаметр 10 мм, висота 15 мм. На етапі попередньої підготовки зразків забезпечувалася паралельність опорних поверхонь, відхилення від якої не перевищувало 0,1%. Фіксація процесу випробування здійснювалася за допомогою самописного пристрою з використанням спеціалізованого бланку форми 3. Подальша обробка

експериментальних даних проводилася з використанням математичних виразів, представлених нижче.

У дослідженнях межа міцності на стиск (σ_p) визначалася з використанням наступної формули [10]:

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

де P – прикладене навантаження, виражене в (МПа);

F – мінімальна площа поперечного перерізу досліджуваного зразка, виміряна в (мм²);

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

де d – діаметр зразку, мм.

Відносна деформація при стиску (ε) була визначена шляхом застосування наступного виразу:

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

де $\Delta h_{p.c.}$ – абсолютна величина укорочення зразка при руйнуванні, виміряна в мм;

h_0 – початкова висота зразка до деформування, виміряна в мм.

Межу плинності композиційного матеріалу (ПКМ) визначали, використовуючи метод дотичних ліній на діаграмі деформування, зафіксованій самописним приладом. Після проведення дотичних до ділянок пружної та пластичної деформації, визначали точку їх перетину. З цієї точки опускали перпендикуляр на вісь деформацій діаграми. Абсциса точки перетину перпендикуляра з кривою деформування відповідала значенню навантаження, що відповідає межі плинності. Враховуючи масштаб по осі навантаження, обчислювали значення межі плинності ПКМ у мегапаскалях (МПа). Більш розгорнутий опис із візуалізацією отриманих даних буде представлено в розділі результатів досліджень.

Ударна міцність була встановлена на маятниковому копрі КМ-0,4 за методом Шарпі у відповідності до ГОСТ 4647-80 при температурному режимі $23 \pm 2^\circ \text{C}$ та відносній вологості повітря $50 \pm 5 \%$ [10]. Попередньо, перед проведенням випробування, здійснювалися вимірювання геометричних

параметрів зразків з граничною похибкою $\pm 0,02$ мм.

Ударна міцність зразків розраховувалася за наступною формулою, виражена в кДж:

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

де A_n – енергія поглинена зразком при руйнуванні, вимірюється в кДж/(кг·см²) та відображається на цифровому дисплеї випробувального обладнання;

b – ширина зразка, виміряна в його центральній частині, мм;

s – товщина зразка, виміряна в його центральній частині, мм.

3.6. Отримані дані та оцінка фізико-механічних показників досліджуваних матеріалів

Дослідження межі плинності полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) проводилося на основі п'яти зразків. З метою підвищення точності, екстремальні значення (максимальне та мінімальне) були еліміновані з отриманого набору даних. Остаточне значення межі плинності визначалося як середнє арифметичне трьох результуючих вимірювань.

Для ілюстрації методології визначення межі плинності матеріалу, одна з діаграм, зафіксованих самописним приладом під час тестування зразка ПКМ марки УПА-6-15 (рис. 3.6), була конвертована у цифровий формат.

Межу плинності композиційного матеріалу (КМ) визначали, спираючись на графік залежності між напруженням і відносною деформацією (рис. 3.6), використовуючи наступну процедуру. До початкової лінійної та нелінійної ділянок кривої проводили дотичні лінії. З точки їхнього перетину опускали перпендикуляр до лінії графіка, що відображає взаємозв'язок між напруженням і відносною деформацією. Значення напруження у точці перетину перпендикуляра з кривою приймали як визначення межі плинності КМ. Для

решти досліджуваних зразків визначення межі плинності здійснювали за аналогічною методологією.

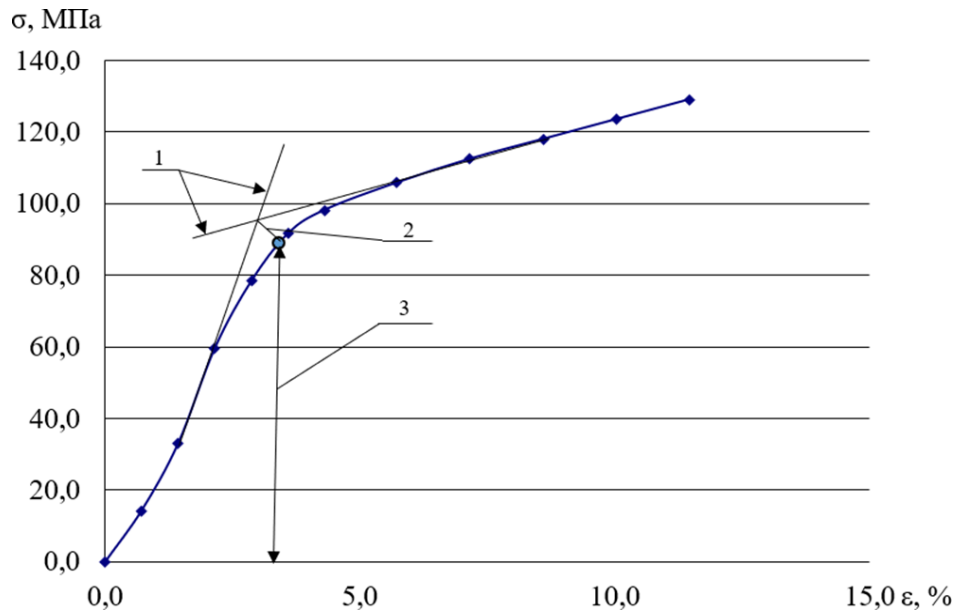


Рис. 3.6. Графічна залежність між напруженням та відносною деформацією для досліджуваного матеріалу

Результати обчислення середніх значень межі плинності розроблених композиційних матеріалів, отримані в ході дослідження, представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Показники границі текучості розроблених полімерно-композитних матеріалів

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

Розглядаючи дані, представлені в таблиці 3.2, можна стверджувати про відносно рівномірний розподіл наповнювачів у полімерній матриці. Відсутність суттєвих варіацій результатів відносно середніх значень для кожного з досліджених полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) підтверджує це.

Отримані експериментальні дані, візуалізовані на рисунку 3.7, дають можливість зробити аргументовані висновки стосовно впливу наповнювачів на межу текучості розроблених ПКМ. Зростання концентрації вуглецевого волокна в складі ПКМ корелює зі збільшенням показника межі текучості. Дана тенденція пояснюється армуючою функцією ВВ в структурі матеріалу-матриці, а саме поліаміду.

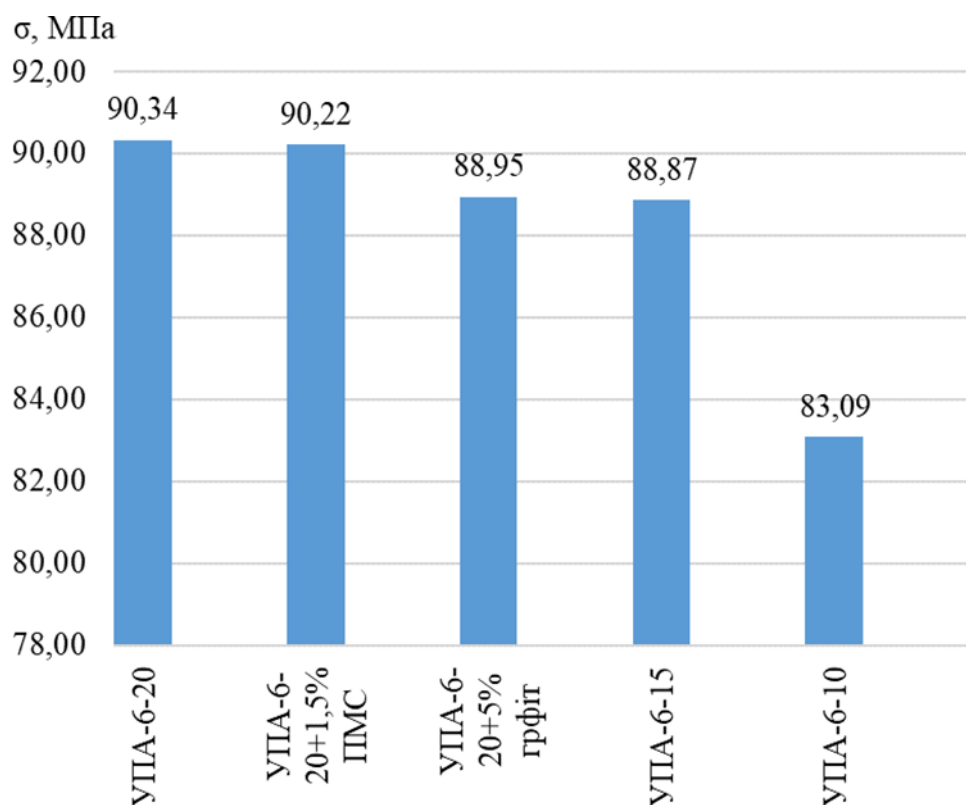


Рис. 3.7. Залежність межі текучості композиційного матеріалу (ПКМ) від його компонентного складу

Згідно з результатами, представленими на рисунку 3.7, модифікація структури полімерного композиційного матеріалу (ПКМ) УПА-6-20 шляхом введення 1,5 мас. % силіконового мастила ПМС-400 спричиняє незначне зниження межі текучості ПКМ, яке становить лише 0,13 %. Аналогічно, додавання 5 мас. % графіту до ПКМ УПА-6-20 призводить до помірного

зменшення межі текучості на 1,53 %. Більш відчутне зниження межі текучості, що спостерігається для ПКМ УПА-6-10 порівняно з УПА-6-20, пояснюється дворазовим зменшенням концентрації високомолекулярної речовини, що виступає в ролі армуючого компонента матриці.

Визначення ударної в'язкості отриманих ПКМ здійснювалося на основі аналізу п'яти зразків. При обчисленні середнього значення ударної в'язкості, яке було прийнято за остаточний результат, з розгляду виключалися два екстремальні значення, отримані для кожного матеріалу. Підсумкові дані випробувань представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Показники ударної в'язкості розроблених полімерно-композитних матеріалів

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

Проведений аналіз даних, представлених у таблиці 3.3, демонструє значний вплив вмісту волокон на ударну в'язкість композиційного матеріалу. Це узгоджується з теоретичними положеннями, оскільки волокна виконують функцію інтегрального компонента, що забезпечує когезію складових полімерного композиційного матеріалу.

Згідно з результатами дослідження межі текучості полімерних композиційних матеріалів, за референтний матеріал обрано УПА-6-20 для забезпечення можливості порівняльної оцінки. Аналіз отриманих даних (рис. 3.8) дозволяє сформулювати наступні висновки: Модифікація структури полімерного композиційного матеріалу на основі поліаміду 6 та волокон шляхом введення силіконового мастила марки ПМС-400 у концентрації 1,5 масових відсотка призводить до статистично значущого збільшення показника ударної в'язкості, а саме на 25%, відносно еталонного зразка УПА-6-20. Варто відзначити, що введення графіту в концентрації 5 масових відсотків не виявляє помітного впливу на величину ударної в'язкості.

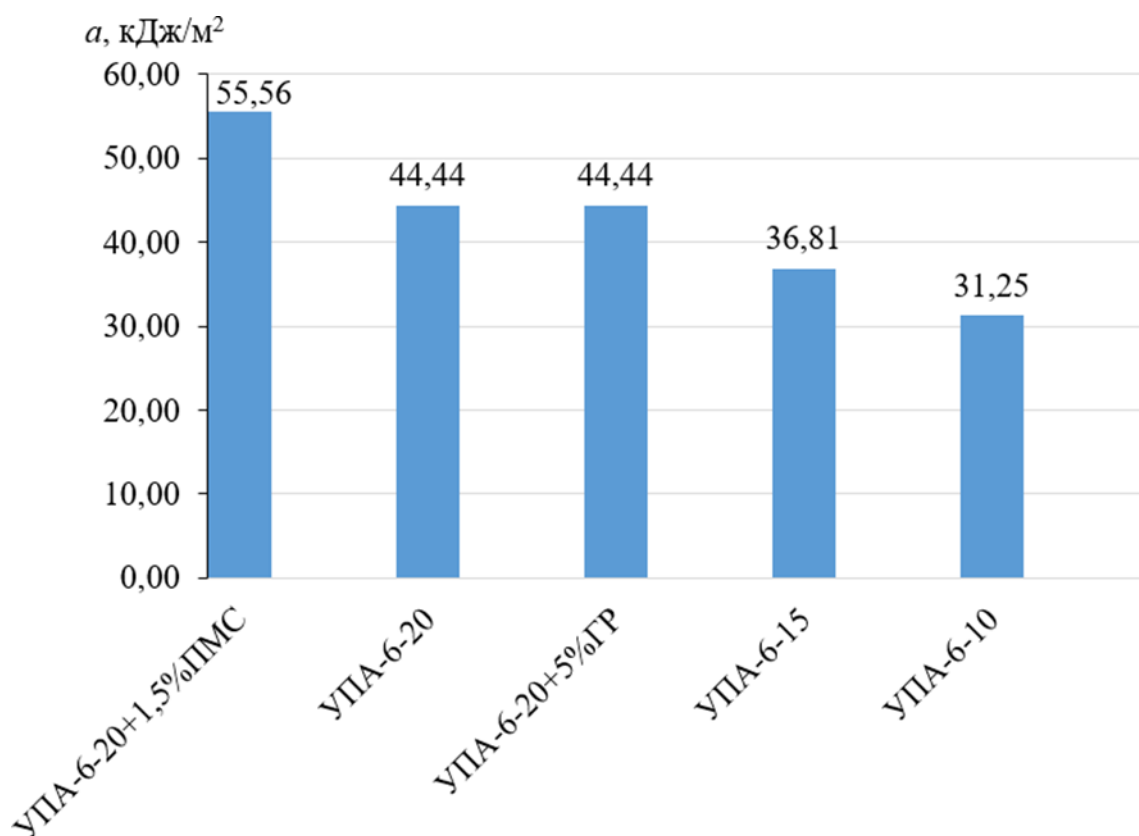


Рис. 3.8. Взаємозв'язок між ударною міцністю отриманих полімерних композиційних матеріалів та концентрацією їхніх складових

Зниження масової частки волокна у волокнистому композиційному матеріалі до значень 15% та 10% спричиняє помітне зменшення ударної міцності матеріалів типу УПА-6-15 та УПА-6-10, що становить 17,1% та 29,6% відповідно. Очевидно, що введення в структуру композиту кремнійорганічного мастила типу ПМС сприяє підвищенню його деформаційної здатності, про що

свідчить збільшення енергії, необхідної для руйнування зразків (ударна міцність). Крім того, при охолодженні зразків після формування, наявність силікону нівелює частину внутрішніх напружень та осередків їх концентрації. Зменшення кількості концентраторів напружень забезпечує сталість межі плинності.

Підтримання високих механічних характеристик розроблених волокнистих композиційних матеріалів уможливило перехід до створення дослідних компонентів систем газотурбінних установок.

3.7. Експлуатаційні випробування в реальних виробничих умовах

Для виробничої апробації деталей, адаптованих до реальних умов функціонування, були виготовлені втулки трибологічних з'єднань відкритої конструкції (без герметизації) для посівного агрегату John Deere 1895. Об'єктом дослідження обрано вузол важеля прикочувального колеса (рис.3.9).



Рис. 3.9. Структура трибологічного з'єднання кінематичної пари - важеля прикотного колеса, що є частиною посівного комплексу John Deere 1895

Для досягнення оптимальних умов роботи пари тертя "полімерний композиційний матеріал - сталь", згідно з рекомендаціями в [10], металева поверхня була оброблена до рівня шорсткості, що не перевищує $Ra \leq 0,63$.

Використано перехідну посадку. У прагненні створити вузол, який не потребує обслуговування, конструкція сполучення була модифікована (див. рис. 3.10). Зокрема, експериментальні втулки 1 сполучення виготовлені з фіксуючим обмежувачем (у формі "грибка"). Серійні втулки мали циліндричну форму. Крім того, для збільшення терміну служби вузла, встановлені регулювальні прокладки 2. Закріплення вузла та запобігання обертанню забезпечується гвинтовим з'єднанням 3.

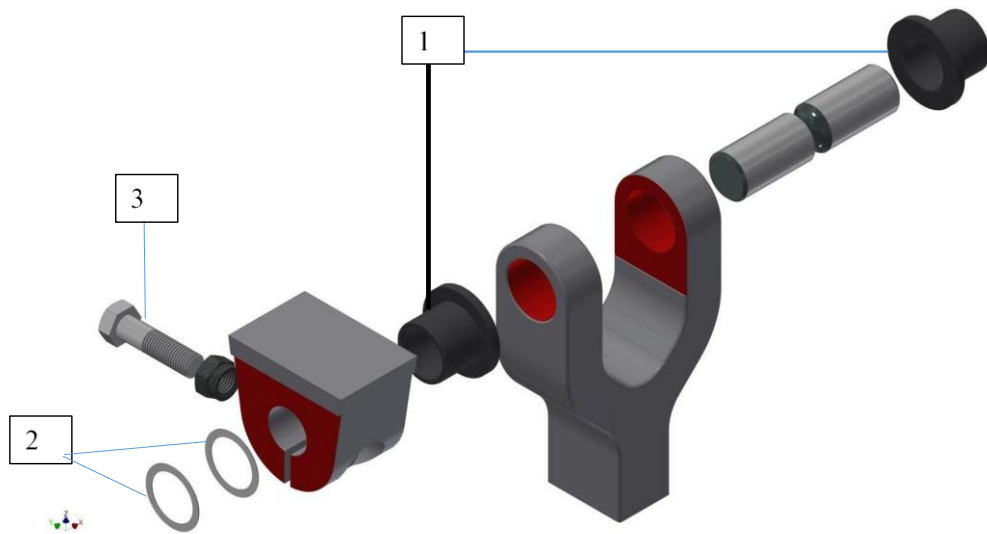


Рис. 3.10. Схема збирання трибосполучення важеля прикочувального колеса:

*1 – полімерно-композитна втулка (що досліджується); 2 – установочні шайби;
3 – гвинт.*



Рис.3.11. Трибологічна пара в оновленому важелі опорного колеса посівного комплексу John Deere 1895

Посівний комплекс, який зазнав модернізації, успішно пройшов осінню посівну кампанію. Проблем під час роботи не виявлено. На основі проведених випробувань було визначено наступні переваги вдосконаленого посівного комплексу:

- повністю відсутня потреба у змащувальних матеріалах для обслуговування модернізованих компонентів;
- вирішено проблему заклинювання важелів, яка спостерігалася у стандартній комплектації та при модернізації з використанням деталей з вуглепластику УПА-6-30/40;
- агрономічна служба підприємства зафіксувала покращену однорідність сходів озимої пшениці у порівнянні зі стандартними агрегатами.

3.8. Висновки по розділу

Поліамідні композити мають схильність до поглинання вологи (гігроскопічності), проте цей недолік можна зменшити шляхом додавання до їх складу силіконових олив, зокрема, олив марки ПМС.

Для трибологічних систем, що експлуатуються в умовах циклічних навантажень, доцільно використовувати композити з вмістом вуглецевого волокна не менше 20% за масою. Це забезпечить необхідну міцність конструкції трибологічного з'єднання при навантаженнях до 2600 Н.

Посівний комплекс John Deere 1895, оснащений удосконаленими полімерно-композитними деталями, успішно пройшов осінню посівну кампанію, не викликавши нарікань з боку інженерного та агрономічного персоналу. Рекомендовано продовжити випробування в польових умовах.

РОЗДІЛ 4

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ

4.1. Базові положення та принципи

Для гарантування безпечних умов праці в лабораторії № 018, де знаходиться екструдер, необхідно забезпечити належне освітлення, вентиляцію та заземлення екструдера. Відповідно до завдання керівника дипломної роботи, потрібно розрахувати освітлення, а організацію вентиляції та електропостачання лабораторії забезпечили сертифіковані організації. Проєктування освітлення було надано для самостійного розв'язання. Перш за все, необхідно визначити основні правила та обов'язки працівників під час проведення наукових досліджень та експериментів у лабораторії.

Відповідальність за охорону праці в лабораторії покладається на завідувача лабораторії, призначеного відповідним розпорядженням університету.

До виконання робіт у лабораторії допускаються особи з науковим ступенем або без нього (у цьому випадку тільки під наглядом керівника) після проведення вступного інструктажу, первинного інструктажу на робочому місці, стажування на робочому місці з відповідним записом у журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці. Особи, які не ознайомлені з правилами використання лабораторного обладнання, до роботи не допускаються.

У лабораторії, де проводиться переробка полімерних матеріалів, категорично забороняється виконувати будь-які роботи за недостатнього освітлення, при вимкненій або несправній вентиляції, залишати без нагляду нагрівальне нестационарне обладнання та установки з відкритим вогнем, користуватися несправним устаткуванням, працювати без спеціального захисного одягу та взуття, а також виконувати роботи самостійно. Особливо

забороняється працювати без засобів індивідуального захисту, таких як рукавички та маска, під час роботи з графітовим порошком.

Працівник лабораторії повинен мати повний комплект засобів індивідуального захисту, який включає окуляри, захисну маску, гумові рукавички та спецодяг (халат). При підготовці графіту до дозування необхідно додатково використовувати прогумований фартух та рукавички. Після завершення роботи спецодяг слід ретельно промити водою з лужним розчином.

Наприкінці роботи необхідно відключити подачу електроенергії до обладнання та устаткування, прибрати робочу зону, вимити та упорядкувати лабораторний посуд, очистити обладнання від залишків робочих матеріалів, таких як гранули полімерно-композитних матеріалів, їх компоненти та пил, а також закрити водяні крани.

Для забезпечення безпеки в лабораторії обов'язково повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння, включаючи вуглекислотні вогнегасники та кошму для гасіння одягу у разі потреби. Крім того, у лабораторії має бути аптечка з повним набором медикаментів та засобів для надання першої допомоги у разі надзвичайної ситуації.

4.2. Заходи охорони праці під час виконання робіт

Лабораторії, де готують суміші полімерів, здійснюють їх екструзію та переробляють різними способами (зокрема, литтям під тиском, прямим гарячим пресуванням, екструзією та пултрузією), класифікуються як об'єкти з підвищеним рівнем ризику.

За рівнем небезпеки ураження електричним струмом виробничі приміщення поділяються на три категорії: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні. Основними інженерними рішеннями для захисту від ураження електричним струмом у лабораторії є захисне заземлення та занулення.

Персонал лабораторій обов'язково забезпечується засобами індивідуального захисту, такими як ізолюючі підставки, діелектричні рукавиці, боти та інше. Кожен засіб повинен відповідати номінальній напрузі, мати позначку про дату останньої перевірки та бути без дефектів. Для певних видів засобів індивідуального захисту передбачена періодична перевірка їх ізоляційних властивостей. Наприклад, ізолюючі килимки перевіряються щорічно, а рукавички – не рідше ніж кожні пів року.

Не дозволяється протирати вологою тканиною обладнання під напругою, розміщувати легкозаймисті речовини (наприклад, бензин, спирт, ефір) у сушильних шафах, а також працювати з приладами без заземлення.

Екструдер (див. малюнок 4.1) має заземлення та розміщений на ізоляційній основі.



Рис. 4.1. Типовий вигляд екструдера ЕКГ-45, розміщеного в лабораторії № 018 на ізолюючій основі з виконаним належним заземленням

4.3. Правила охорони праці після закінчення експериментальних та виробничих процедур

Після завершення лабораторних процедур необхідно навести порядок на робочій поверхні. Вентиляційна система повинна продовжувати функціонувати протягом 5-10 хвилин.

Контейнери та обладнання, що використовувалися для приготування компонентів композиційних матеріалів (таких як графіт або подрібнені вуглецеві волокна), слід ретельно очистити та вимити.

Ємності та посуд, в яких проводились операції з легкозаймистими рідинами, після завершення робіт потребують очищення та промивання спеціальними розчинами на основі лугу.

Після закінчення робочого процесу співробітники повинні вимити руки з використанням мила або інших дозволених миючих засобів.

4.4. Заходи охорони праці у випадку аварійних та критичних ситуацій

У лабораторії полімерних композитів існує потенціал виникнення різноманітних загрозливих ситуацій, здатних призвести до травмувань та уражень персоналу. Слід враховувати, що у випадку інциденту, після надання первинної медичної допомоги потерпілому, необхідний терміновий виклик медичного працівника або служби екстреної медичної допомоги.

Зважаючи на наявність екструдера в лабораторії № 018, максимальна температура нагріву якого сягає 300 градусів Цельсія, ризик отримання термічних уражень є суттєвим. У випадку отримання опіку, першочергово слід усунути джерело високої температури та звільнити уражену ділянку від одягу. При опіках першого ступеня рекомендовано обробити уражену поверхню 96% етиловим спиртом та 3% розчином перманганату натрію, після чого накласти стерильну пов'язку. При опіках другого ступеня необхідна обробка 70% етиловим спиртом з подальшим накладанням легкої стерильної пов'язки. У

випадках опіків третього або четвертого ступенів слід закрити уражену ділянку стерильною пов'язкою, а при значній площі ураження – стерильним полотном або чистим текстильним матеріалом. Після здійснення заходів первинної медичної допомоги, необхідно викликати службу екстреної медичної допомоги. За наявності осіб, не залучених до надання допомоги, їм слід негайно викликати екстрену медичну допомогу одразу після настання інциденту.

У випадку хімічних ушкоджень шкіри першочерговим заходом є інтенсивне промивання ураженої ділянки значним об'ємом води з метою видалення залишків хімічної речовини. Подальша тактика передбачає накладання відповідної пов'язки, що визначається типом агента, який спричинив ушкодження. Так, при опіках, викликаних впливом кислот, рекомендовано накладати стерильну пов'язку, попередньо змочену у двохвідсотковому розчині гідрокарбонату натрію. При опіках, зумовлених дією лугів, слід використовувати серветку, просочену двохвідсотковим розчином оцтової кислоти. При хімічному ураженні органів зору спочатку здійснюють обмивання обличчя з заплющеними очима. Наступним етапом є промивання очей водою протягом 5-10 хвилин. У випадку опіків, спричинених кислотами, до води рекомендовано додавати двохвідсотковий розчин гідрокарбонату натрію. При опіках, зумовлених лугами, первинно здійснюють промивання очей двохвідсотковим розчином борної кислоти. У разі ураження очей аніліновими барвниками, доцільно використовувати для промивання п'ятивідсотковий розчин таніну або концентрований настій чаю. На ушкоджені очі пов'язки не накладаються. При будь-яких опіках органів зору необхідно негайно викликати службу екстреної медичної допомоги.

При електротравмі першочерговим завданням є припинення впливу електричного струму, що досягається використанням ізоляційних предметів та матеріалів. Обов'язковим є знеструмлення відповідних приладів та обладнання. У ситуації, коли відключення джерела струму неможливе, необхідно перемістити потерпілого у безпечне місце, дотримуючись наступних запобіжних заходів: використовувати діелектричні рукавички або обгорнути руки сухим

одягом у кілька шарів; використовувати діелектричне взуття чи килимок, або суху дерев'яну дошку; відтягувати потерпілого за одяг, уникаючи контакту з відкритими ділянками тіла. Після цього потерпілого слід розмістити на рівній та сухій поверхні.

У випадках серйозного ушкодження, що спричинило відсутність дихання та серцевої діяльності, слід проводити штучну вентиляцію легень і непрямий масаж серця до приїзду бригади швидкої допомоги або констатації ознак незворотної смерті.

При отруєнні кислотами слід промити шлунок 2-3 літрами води з додаванням магnezії (одна чайна ложка на склянку води), викликаючи блювоту. Ротову порожнину слід прополоскати 5% розчином харчової соди. Після цього можна випити трохи молока.

При отруєнні лугами шлунок промивають підкисленою водою (одна столова ложка 2% розчину оцтової або лимонної кислоти на склянку води), викликаючи блювоту. Рекомендується ковтати сирі яйця, пити холодне молоко малими порціями, ковтати шматочки вершкового масла. Також на груди прикладають холодні компреси, а до рук і ніг – грілки.

При отруєнні чадним газом необхідно забезпечити приплив свіжого повітря. У разі втрати свідомості використовують нашатирний спирт. При зупинці дихання проводять штучне дихання.

В усіх випадках отруєнь необхідно терміново викликати медичного працівника.

4.5. Розрахунки освітленості робочої зони лабораторії № 018

Сучасна наука про охорону праці розрізняє три основні типи освітлення: природне, штучне та комбіноване. Кожен з цих видів має чітке визначення.

Природне освітлення – це освітлення внутрішніх просторів, що забезпечується світлом, яке надходить від небесного склепіння (як прямим, так і відбитим) та проникає крізь світлопрозорі конструкції у зовнішніх

огорожувальних елементах будівель [17]. Воно може бути реалізоване у вигляді бокового, верхнього або комбінованого освітлення.

Штучне освітлення – це освітлення внутрішніх приміщень та інших зон, де природного освітлення є недостатньо [17]. Воно класифікується на робоче, аварійне, охоронне, чергове, загальне, місцеве та комбіноване. Робоче освітлення забезпечується в усіх приміщеннях, а також на ділянках відкритих територій, призначених для виконання робіт, пересування людей та транспортних засобів. У приміщеннях з різними умовами природного освітлення та різними режимами роботи передбачається незалежне управління робочим освітленням. Зважаючи на значний вплив робочого освітлення на регламент технологічних процесів, важливим є його ретельний контроль. В умовах поточної нестабільної ситуації з електропостачанням в країні, що безпосередньо впливає на технологічні процеси виробництва ПКМ, у випадку перебоїв з електропостачанням, необхідно забезпечити можливість раціонального завершення виробничого процесу, що вимагає наявності надійного аварійного освітлення. Аварійне освітлення – це освітлення, яке підтримується або автоматично вмикається у випадку раптового відключення основного (робочого) освітлення. Його метою є забезпечення безпеки людей під час евакуації або тимчасового продовження робіт на об'єктах, де раптове вимкнення освітлення може спричинити травмування або неприпустиме порушення технологічного процесу [17].

Необхідно виконати обчислення рівня освітленості в лабораторному приміщенні № 018, що має габарити $6 \times 4 \times 3,5$ м. В якості джерела штучного освітлення обрано енергоефективні люмінесцентні лампи типу ЛД 30-4, у кількості 4 одиниць. Природне освітлення забезпечується двостороннім боковим світлом від двох вікон, коефіцієнт природної освітленості становить 13,5 %. Кожне вікно має розміри $1,4 \text{ м} \times 1,5 \text{ м}$.

Вид виконуваних робіт у лабораторії відноситься до III розряду – роботи, що вимагають високої точності при розмірах об'єкта розрізнення $0,3 \dots 0,5$ мм; характеризуються високим контрастом та світлим фоном; підрозряд – в.

Відповідно до нормативних документів [8], регламентований рівень освітленості складає 200 лк.

У лабораторних умовах необхідно забезпечити штучне освітлення, яке б створювало безпечні умови праці, спрямовані на мінімізацію ризику виникнення травматизму.

Розрахунок індексу приміщення:

$$i = a \times b / h \times (a+b),$$

де a – габаритна ширина приміщення (м),

b – габаритна довжина приміщення (м),

h – висота підвісу освітлювальних приладів (м).

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

Очікується, що коефіцієнт використання світла складе 0,40, а коефіцієнт запасу дорівнюватиме 1,5 [17]. Коефіцієнт нерівномірності освітленості становить 1,1 (для добре розробленого приміщення цей коефіцієнт, як правило, становить: 1,15 – для ламп розжарювання; 1,1 – для люмінесцентних ламп). Відбивна здатність стелі – 50%, стін – 30%, підлоги – 10% (оскільки використовується полімерна плитка темного відтінку). Коефіцієнт запасу враховує зменшення рівня освітлення, викликане можливим забрудненням джерел світла або освітлювальних приладів під час їх використання.

Оцінюємо сумарний світловий потік, що випромінюється світильником:

$$\Phi = (E_n \cdot K_z \cdot S \cdot Z) / (n \cdot K_v)$$

де Φ – світловий потік (лм);

E_n – нормативна освітленість (лк);

S – площа робочої поверхні приміщення (м²);

K_z – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

K_v – коефіцієнт використання світлового потоку;

n – число встановлених джерел світла (ламп).

Визначаємо фактичну освітленість:

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

Освітлювальний прилад містить дві лампи ЛД 30-2, кожна потужністю 30 Вт та світловим потоком 1645 Лм.

Фактична освітленість, створена чотирма такими приладами, становитиме:

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

Враховуючи, що зафіксована освітленість у 132 Лк є нижчою за нормативне значення у 200 Лк, можна зробити висновок про невідповідність штучного освітлення в досліджуваному приміщенні встановленим вимогам. Необхідно визначити потрібну кількість освітлювальних приладів для забезпечення належного рівня освітлення:

$$n = (E * K_3 * S) / (K_e * K_l * \Phi_l),$$

де K_l – кількість ламп у світильнику;

Φ_l – світловий потік лампи.

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

Для освітлення приміщення площею 24 м² пропонується встановити 6 світильників, кожен з яких містить 2 люмінесцентні лампи типу ЛД 30-2. Потужність кожної лампи становить 30 Вт, а світловий потік – 1645 Лм.

4.6. Висновки по розділу

Описано основні ризики, пов'язані з можливістю появи небезпечних випадків під час виконання робіт у лабораторії полімерних композиційних матеріалів № 018, що є частиною міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії технічного обслуговування машин.

Встановлено, що для належного освітлення, відповідного до вимог для робіт третього розряду, потрібно 6 освітлювальних приладів, кожен з яких містить дві лампи типу ЛД 30-2, потужністю 30 Вт. Зазначено, що вони створюватимуть світловий потік у 1645 Лм для освітлення даного приміщення площею 24 м²

Отже, дотримано умови безпечної праці за показником освітленості.

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РОБОТИ

Одним із завдань дослідження є збільшення терміну служби вузлів тертя сільськогосподарської техніки шляхом пристосування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) до робочих умов. Після аналізу характеристик розроблених ПКМ, було обрано матеріал УПА-6-20+1,5% ПМС, міцність якого найбільш відповідає умовам експлуатації. Для польових випробувань використано підшипники ковзання на паралелограм посівної машини, яка була обрана як об'єкт дослідження.

Розроблені деталі мають забезпечити ряд технологічних та економічних переваг: збільшення інтервалів між технічним обслуговуванням; зниження витрат на ТО; покращення швидкості та агротехнічних вимог до посіву.

Технічна експлуатація машинно-тракторного парку передбачає розрахунок основних показників посівних агрегатів, таких як: продуктивність (годинна та змінна), витрати часу, паливно-мастильних матеріалів, питомі експлуатаційні та зведені витрати.

Удосконалення рухомих з'єднань сівалки за допомогою ПКМ дозволяє проводити посів якісно, незалежно від стану ґрунту, за умови оптимального складу машинно-тракторного агрегату. Крім того, головною перевагою модернізованих посівних машин є відсутність необхідності технічного обслуговування рухомих з'єднань під час роботи, що зменшує простої техніки та підвищує швидкість виконання робіт.

Проведемо аналіз економічної вигоди від використання вдосконаленого комплексу John Deere 8335R + John Deere 1895M у зіставленні зі звичайним, немодернізованим комплексом John Deere 8335R + John Deere 1895.

Визначення показників питомих виробничих витрат комплексу базується на основі розрахунків згідно з [16]:

$$C_{\text{vum}} = C_t + C_m + C_{\text{пмм}} + C_{\text{зн}} \quad (5.1)$$

де Ст, См - витрати на технічне обслуговування одиниці площі, сукупність витрат, пов'язаних з реновацією, капітальним і поточним ремонтом, технічним обслуговуванням, зберіганням, заміною шин трактора, що визначаються на основі даних таблиці 7.1 [16], грн./га. У разі відсутності довідкових даних для конкретного агрегату, їх встановлюють на основі фактичних витрат, зафіксованих у діючому господарстві.

Спмм - вартість паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

Сзп - витрати на оплату праці персоналу, залученого до обслуговування агрегату, грн./га.

$$C_m = [(B_t * \alpha_{pm} * g_{га} + \Sigma C_n * g_{га}) / (100 * G_{рік} * 1000)] * K_i$$

Де, $B_t \cdot \alpha_{pm}$ - залишкова вартість трактора (у гривнях) та загальноприйнятий відсоток амортизаційних відрахувань. Залишкова вартість трактора визначається на основі актуальної ринкової ціни, яка становить 2 510 000 грн. Відсоток амортизаційних відрахувань встановлюється на рівні 10%.

ΣC_n - сумарні питомі витрати на технічне обслуговування, ремонт та зберігання трактора, з урахуванням комплексу факторів, становлять 1849 грн. Даний показник, за попередньою оцінкою та без корекції на інфляційні процеси, може бути визначений на основі даних, представлених у таблиці 7.1 [16].

$G_{рік}$ - у разі сезонного режиму роботи з 60 нормативними змінами, продуктивністю 140 гектарів на зміну та питомою витратою палива 5,6 кг на гектар, загальний річний обсяг споживання палива становитиме 47 040 кг.

K_i - коефіцієнт індексації цін представляє собою показник, що враховує вплив інфляційних процесів. У контексті даного аналізу, оскільки цінові показники представлені в реальному вираженні, коефіцієнт K_i приймається рівним одиниці. У випадку з трактором John Deere 8335R, сукупні витрати на відновлення, ремонтні роботи та технічне обслуговування, необхідні для виконання зазначеного виду робіт, складатимуть:

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

Визначення сукупної вартості паливно-мастильних матеріалів, необхідних для функціонування машинно-тракторного агрегату (МТА), здійснюється за допомогою наступної формули:

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

де $C_{\text{к}}$ - узагальнена вартість дизельного пального, виражена у гривнях. Значення включає сукупні витрати на паливо-мастильні матеріали, необхідні для функціонування енергетичного засобу. Для об'єктивності порівняння агрегатів, передбачається ідентичність даного показника для обох досліджуваних варіантів.

Визначення заробітної плати обслуговуючого персоналу здійснюється на основі наступної формули:

$$C_{\text{зп}} = \frac{1,49(K_{\text{нк}} \cdot m_{\text{мех}} \cdot f_{\text{мех}} + m_{\text{доп}} \cdot f_{\text{доп}}) \cdot 1,02 \cdot K_3}{W_{\text{зм}}} \quad (5.4)$$

де 2,49 і 1,02 - коефіцієнти, на основі яких здійснюється обчислення оплати праці;

$K_{\text{нк}}$ - загальний коефіцієнт класності механізаторів є показником, що відображає рівень кваліфікації операторів механізованої техніки. Величина коефіцієнта визначається складністю технологічних операцій, що виконуються. Зокрема, для трактористів-машиністів першого класу встановлено загальний коефіцієнт 1,2;

$m_{\text{мех}}$ і $m_{\text{доп}}$ - загальну кількість трактористів-машиністів та загальну кількість допоміжних працівників, залучених до обслуговування агрегату протягом однієї зміни;

$f_{\text{мех}}$ і $f_{\text{доп}}$ - це тарифні ставки за зміну (оплата праці за зміну) для механізаторів (трактористів-машиністів) та допоміжних робітників, відповідно, виражені у гривнях за зміну. Значення цих ставок орієнтовно визначаються на основі даних таблиці 7.2 [17] або згідно з чинними тарифами, встановленими у відповідному господарстві;

K_3 - Загальний коефіцієнт збільшення оплати праці, який урахує

рівень інфляції, приймається рівним 10.

Загальна оплата праці працівників механізації сільського господарства:

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

Підставляючи наявні значення у вираз (5.5), отримаємо кількісну оцінку операційних витрат.

$$ССГМ = [(1255000 \times 12,5) / (100 \times 60 \times 140) + (27,4 + 4,3 + 21) / 140] \times 1 = 19,05 \text{ грн/га}$$

Визначення сукупних експлуатаційних витрат.:

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

У процесі експлуатації серійного агрегату, сукупні витрати становитимуть:

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

де $E = 0,15$ – нормативну величину економічної ефективності інвестицій у основний капітал.

Аналогічно, виконаємо обчислення для комплексу, представленого трактором John Deere 8335R та модернізованою сівалкою John Deere 1895M. Виробничі затрати для трактора у процесі виконання зазначених операцій становитимуть:

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

$\sum C^{\text{н}}$ - узагальнені питомі нормативні витрати, грн./т палива, без

урахування витрат на технічне обслуговування сівалки, попередньо оцінюються як 1849 грн.

Вартість паливно-мастильних матеріалів визначається за наступною формулою:

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

Економічне стимулювання праці операторів сільськогосподарської техніки:

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

Сукупні операційні видатки модернізованої сівалки John Deere 1985M визначаються за наступною формулою:

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

Для розрахунку сукупних операційних витрат:

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

Загальний обсяг капітальних інвестицій, необхідних для підтримки функціонування модернізованого агрегату, визначається згідно з формулою (5.6):

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

Встановлені зведені витрати на гектар при роботі модернізованого МТА:

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

Отримані дані систематизовано та представлено у табличній формі (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Економічне порівняння базового та проектного варіантів агрегату

Показник	Од.виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
Тип агрегату	–	John Deere 8335R + John Deere 1895	John Deere 8335R + John Deere 1895M
1. Техніко-експлуатаційні параметри			
Балансова вартість агрегату	грн	3 765 000	3 815 000
Нормативне навантаження	нормо-змін	60	60
Змінна продуктивність	га	140	154
2. Витрати на експлуатацію			
Витрати пального	кг/га	5,6	5,4
Вартість ПММ	грн/га	308,00	297,00
Витрати на реновацію, ремонт і ТО	грн/га	40,79	38,70

Продовж табл. 5.1

Оплата праці	грн/га	6,30	5,72
Експлуатаційні витрати	грн/га	19,05	17,93
3. Економічні показники			
Величина капітальних вкладень	грн/га	179,28	169,94
Приведені витрати	грн/га	401,00	384,84
Річний економічний ефект (при навантаженні 5000 га)	грн	—	80 800

Таким чином, на основі проведеної модернізації посівного комплексу John Deere 1895M продемонстровано господарську доцільність використання полімерно-композитних матеріалів з модифікованими характеристиками в конструкціях аграрної техніки. Обчислений економічний ефект склав 80800 грн на одиницю посівного комплексу John Deere 1895M.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз поточного стану аastosування полімерних матеріалів конструкційного призначення в машинобудуванні, зокрема, у рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки, свідчить про те, що виробники, як правило, дотримуються консервативних підходів до проектування трибологічних систем або використовують конструкційні пластики без належного наукового обґрунтування. Актуальність проблеми адаптації характеристик полімерних матеріалів конструкційного призначення до специфічних умов експлуатації не викликає сумнівів.

2. Представлено аналітичне обґрунтування можливості застосування полімерно-композиційного підшипника ковзання у рухомих компонентах посівної секції сільськогосподарської техніки.

Проведено аналіз схеми навантаження підшипника ковзання, на основі якого було обрано математичну модель, що базується на теорії пружності, для розрахунку переміщень (радіальних, кутових), деформацій (радіальних, осьових), а також нормальних і дотичних напружень у полімерному підшипнику в зонах розтягування та стиснення. Реалізацію моделі здійснено в програмному середовищі MathCad 14.0 (trial version).

Отримані значення силових зусиль, що знаходяться в діапазоні 941,2...3022,5 Н, і реакцій у шарнірах – до 2677,3 Н, слугують основою для вибору та обґрунтування застосування полімерно-композиційних матеріалів із заданим комплексом експлуатаційних властивостей.

3. Гігроскопічність полімерних композитів на основі поліаміду 6 може бути знижена шляхом введення в його структуру силіконових олив, наприклад, марки ПМС. Для трибологічних з'єднань, що функціонують в умовах знакозмінних навантажень, доцільно застосовувати композити, що містять вуглецеве волокно в концентрації не менше 20 мас. %. Це сприятиме забезпеченню стійкості конструкції трибологічного з'єднання до навантажень, що досягають 2600 Н.

Оснащений модернізованими полімерно-композитними компонентами посівний комплекс John Deere 1895 успішно завершив осінню посівну кампанію, не викликавши жодних нарікань з боку інженерного та агрономічного персоналу.

4. Представлено перелік основних потенційних ризиків виникнення небезпечних інцидентів під час роботи в лабораторії полімерних композитів № 018, що є частиною міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії технічного обслуговування машин.

Проведено розрахунки, згідно з якими для забезпечення належного рівня освітлення при виконанні робіт третього розряду необхідне використання 6 світильників, у кожному з яких встановлено дві лампи типу ЛД 30-2 потужністю 30 Вт. Зазначена конфігурація забезпечить світловий потік у 1645 Лм для освітлення приміщення площею 24 м².

Отже, умови праці, з точки зору відповідності критеріям освітленості, відповідають вимогам безпеки.

5. На прикладі модернізації посівного комплексу John Deere 1895М продемонстровано економічну доцільність використання полімерно-композитних матеріалів з оптимізованими властивостями в конструкціях сільськогосподарської техніки. Здійснено розрахунок економічного ефекту, який становить 80800 грн на один посівний комплекс John Deere 1895М.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Обсяг виробництва, урожайність та зібрана площа сільськогосподарських культур за їх видами по регіонах.
<https://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ. — 2013. — №108. — С. 133-142.
3. Інформація про реформу розвитку підприємництва.
<https://me.gov.ua/?lang=uk-UA>.
4. Калганков, Є.В. Технічне діагностування об'ємних гідроприводів трансмісії як об'єктивна необхідність / Є.В. Калганков // Сучасна наука: теорія і практика. — Запоріжжя, 2012. — Т. 2. — С. 88-90.
5. Мельянцов П. Т. Організація використання техніки за умов дефіциту матеріально - технічних ресурсів / П. Т. Мельянцов, Є. В. Калганков. // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Teoria. Praktyk Sp. z o.o. «Diamond trading tou. — 2010. — С. 84–87.
6. Гапанчук А.М. Технологія зберігання сільськогосподарських машин та шляхи її покращення / А.М. Гапанчук, Є. В. Калганков. // Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo- Praktycznej. Sp. z o.o. «Diamond trading tour», Warszawa. — 2017. — С. 50–55.- Режим доступу:
<http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/1078>.
7. Черній О. Дослідження безвідказності тракторів John Deere серії 8R в експлуатаційних умовах України. Теоретичні та практичні питання аграрної науки : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. 2022. С. 117–120.

8. Гречкосій В. Д. Довідник сільського інженера / Гречкосій В. Д. – К.: Урожай, 1998. – 236 с.
9. Деталі машин / [Дирда В.І., Овчаренко Ю.М., Рижков Є.І. та ін.]. – Луганськ: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2010. – 308 с.
10. Проектування сервісних підприємств ремонту та агрегатів АПК: [навчальний посібник] / [Дирда В.І., Калганков, Є.В., Мельянцов П.Т. та ін.]. – Дніпропетровськ: «Герда», 2014. – 100 с.
11. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів / [Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
12. Бондарєв В.С. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних і транспортувальних машин [Підручник для ВУЗів] / Бондарєв В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П. та інші.. Київ. Вища школа 2009р. – 305 с.
13. Григоров О.В. Вантажопідйомні машини [Навчальний посібник] / О.В. Григоров, Н.О. Петренко - Харків: НТУ "ХПІ", 2005. - 304 с.
14. Лехман С. Д. Довідник з охорони праці в сільському господарстві [/ Лехман С. Д. – К.: Урожай, 1990. - 286 с.
15. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання