

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

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ЛУКАШЕВИЧ РОМАН БОРИСОВИЧ**

**УДК 621.78**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ УДАРОПОГЛИНАЮЧИХ  
РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗМІШУВАЧІВ-ІНКРУСТАТОРІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр  
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Р.Б. Лукашевич

**Керівник роботи**

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2022**

## АНОТАЦІЯ

**Лукашевич Роман Борисович.** Підвищення ресурсу ударопоглинаючих робочих органів змішувачів-інкрустаторів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі показано можливість підвищення ресурсу ударопоглинаючих робочих органів машин для передпосівної обробки насіння заміною штовхачів ковзання механізму приводу роликівими штовхачами.

В результаті проведених досліджень фізико-механічних властивостей матеріалу ударопоглинаючого робочого органу машини для передпосівної обробки насіння встановлено, що модуль пружності високоеластичного поліуретану марки Адіпрен L-167 становить 0,875 МПа при швидкості розтягування  $500\pm 50$  мм/хв і температурі навколишнього середовища  $23\pm 2$  °С.

В результаті виконаних експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність використання циліндричного роликівого штовхача та встановлено, що заміна циліндричного штовхача ковзання роликівим штовхачем сприяє підвищенню витривалості та циклічної довговічності при активному розвитку дефектів у 1,44 рази, за відсутності прогресуючих дефектів – у 1,55 рази; знос високоеластичної робочої поверхні знижується в 17 раз; середнє напрацювання робочого органу на відмову за наявності дефекту матеріалу у вигляді «наскрізної дірки» становить 179275 циклів, що в 1,66 рази триваліше за аналогічний показник при втомі штовхачем ковзання.

*Ключові слова:* поліуретан, ресурс, цикл, штовхач, довговічність, інкрустатор

## ANNOTATION

**Roman Borisovych Lukashevich. Increasing the resource of shock-absorbing working bodies of mixer-incrusters.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

The master's thesis shows the possibility of increasing the resource of shock-absorbing working bodies of machines for pre-sowing seed treatment by replacing the sliding pushers of the drive mechanism with roller pushers.

As a result of research into the physical and mechanical properties of the material of the shock-absorbing working body of the machine for pre-sowing seed treatment, it was established that the modulus of elasticity of the highly elastic polyurethane brand Adipren L-167 is 0.875 MPa at a stretching speed of 500±50mm/min and an ambient temperature of 23±2°C.

As a result of the experimental studies, the feasibility of using a cylindrical roller pusher was substantiated and it was established that the replacement of a sliding cylindrical pusher with a roller pusher increases endurance and cyclic durability by 1.44 times in the case of actively developing defects, by 1.55 times in the absence of progressive defects; the wear of the highly elastic working surface is reduced by 17 times; the average working life of the working body to failure in the presence of a material defect in the form of a "through hole" is 179275 cycles, which is 1.66 times longer than the similar indicator for sliding pusher fatigue.

*Key words: polyurethane, resource, cycle, pusher, durability, inlay*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ З УДАРОПОГЛИНАЮЧИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ.....	9
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРИВАЛОСТІ ТА ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛУ УДАРОПОГЛИНАЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ПРИ КОНТАКТІ З ЦИЛІНДРИЧНИМ ШТОВХАЧЕМ КОВЗАННЯ ТА РОЛИКОВИМ ШТОВХАЧЕМ.....	18
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОРІВНЯЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИТРИВАЛОСТІ ТА ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛУ УДАРОПОГЛИНАЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ПРИ КОНТАКТІ З ЦИЛІНДРИЧНИМ ШТОВХАЧЕМ КОВЗАННЯ ТА РОЛИКОВИМ ШТОВХАЧЕМ.....	24
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** В даний час одним із найважливіших завдань у сільському господарстві є підвищення ефективності посівних робіт. З метою економії сировини та отримання запланованого врожаю високої якості необхідно мінімізувати втрати насіння, в чому значно сприяє підготовка насінневого матеріалу до посіву. Основу технології підготовки насіння до посіву складає процес передпосівної обробки хімічними (протруєння) або біологічними препаратами (біообробка), які використовуються в сучасній технології вирощування сільськогосподарських культур є найважливішими заходами у загальній системі боротьби із хворобами будь-якої сільськогосподарської культури [3].

Для здійснення необхідних процесів з обробки посівного матеріалу потрібне особливе обладнання: протруйники, інкрустатори та інокулятори насіння.

Перспективним напрямом удосконалення технології передпосівної обробки насіння хімічними та біологічними препаратами є застосування змішувачів-інкрустаторів з ударопоглинаючими робочими органами, які не надають руйнівного впливу на насіння [8]. Ударопоглинаючі робочі органи – робочі органи сільськогосподарських машин, що функціонують в умовах поглиненого удару. Поглинений удар – такий динамічний вплив високоеластичної робочої поверхні на сипуче тіло або його частинку, при якому кінетична енергія, накопичена сипучим тілом (часткою) при падінні з деякої висоти переходить у потенційну енергію пружного поздовжнього розтягування робочої поверхні, а після скорочення робочої поверхні перетворюється на кінетичну енергію руху сипучого тіла. Змішування та покриття насіння препаратом здійснюється всередині оболонки за рахунок їх циклічного інтенсивного струшування при повідомленні робочого органу періодичних коливань за допомогою механізму приводу.

Основою функціонування розроблених машин є робочий орган у вигляді циліндричної оболонки з високоеластичного матеріалу, що вимагає частотої заміни та має високу вартість, що становить 20% повну вартість машини. Збільшення ресурсу ударопоглинаючого робочого органу за рахунок підвищення якості виготовлення високоеластичного матеріалу та заміни штовхачів ковзання роликівими штовхачами дозволить використовувати робочий орган без заміни протягом усього терміну служби, а також буде сприяти нарощуванню темпів виробництва нової техніки, що зберігає життєздатність насіння та підвищення ефективності процесу передпосівної обробки насіння. Тому дослідження в галузі підвищення ресурсу ударопоглинаючих робочих органів машин для обробки насіння перед посівом є актуальними та становлять науковий та практичний інтерес.

**Мета дослідження.** Підвищення ресурсу ударопоглинаючих робочих органів машин для передпосівної обробки насіння шляхом раціонального підбору конструкційних матеріалів та заміни штовхачів ковзання роликівими штовхачами кулачкового механізму приводу.

Досягненню поставленої мети сприяє вирішення **наступних завдань:**

Визначити метод підвищення ресурсу ударопоглинаючих робочих органів машин для передпосівної обробки насіння.

Перевірити працездатність запропонованих технічних рішень, виконавши порівняльні експериментальні дослідження ресурсу рробочого органа протруювальної машини при впливі на його робочу поверхню циліндричного штовхача ковзання та роликівого штовхача.

**Об'єкт дослідження.** Процес зношування ударопоглинаючих робочих органів машин для передпосівної обробки насіння, що працюють на поздовжнє розтягування в умовах підвищеного тертя, статичного та динамічного навантаження.

**Предмет дослідження.** Загальні закономірності впливу фізико-механічних властивостей еластомеру та конструктивних параметрів механізму приводу на

ресурс ударопоглинаючого робочого органу машин для передпосівної обробки насіння

**Наукова гіпотеза.** Підвищити ресурс ударопоглинаючих робочих органів при їх циклічній взаємодії з деталями механізму приводу можна шляхом наукового обґрунтування шляхів зниження витрат енергії на тертя ковзання та деформування матеріалу.

**Методи дослідження.** Методика наукового дослідження зумовлює пріоритетне використання теоретико-експериментальних підходів, математичного та фізичного моделювання об'єктів дослідження та процесів, що відбуваються, які відрізняються завідомо нелінійним характером. Для експериментального дослідження зношування зовнішньої поверхні ударопоглинаючого робочого органу протруювальної машини внаслідок тертя при ударній взаємодії з елементами механізму приводу розроблено спеціальні випробувальні стенди, експериментальні вимірювальні пристрої та пристосування.

Під час проведення експериментів використовувався метод оптичної мікроскопії.

#### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. 1. Савченко В.М., Лукашевич Р.Б. Особливості будови та роботи машини для передпосівної обробки насіння з ударопоглинаючим робочим органом. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 36-39.

2. Савченко В.М., Лукашевич Р.Б. перевага використання високоеластичного поліуретану як конструкційний матеріал для виготовлення робочих органів машин передпосівної обробки насіння. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет

біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 329-332.

3. Лукашевич Р.Б. Методика порівняльних випробувань щодо визначення витривалості та циклічної довговічності матеріалу ударопоглинаючого робочого органу при контакті з циліндричним штовхачем ковзання та роликівим штовхачем. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 244-246.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропонована заміна штовхачів ковзання механізму приводу роликівими штовхачами дозволить підвищити ресурс ударопоглинаючих робочих органів машин для передпосівної обробки насіння.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 12 рисунків.



## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ З УДАРОПОГЛИНАЮЧИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

#### **1.1 Перевага використання високоеластичного поліуретану як конструкційний матеріал для виготовлення робочих органів машин передпосівної обробки насіння**

Найбільший інтерес у цьому дослідженні представляють поліуретанові еластомери – монолітні поліуретани, що володіють безліччю цінних властивостей, що істотно відрізняють їх від звичайних гум: високою міцністю, зносостійкістю, стійкістю до ударних навантажень, низькою температурою скасування, здатністю зберігати високоеластичні властивості в широкому діапазоні температур.

Високоеластичні поліуретани випускаються різних марок, що відрізняються між собою твердістю, діапазоном робочих температур, середовищем експлуатації, міцністю та зносостійкістю. На відміну від гум (натуральних і синтетичних каучуків), поліуретанові еластомери мають високу стійкість до старіння. Використання ПУ (поліуретанів) може сприяти збільшенню терміну служби деталей з еластомерів, економії експлуатаційних витрат на ремонт і заміну деталей, а також на ліквідацію економічної шкоди від наслідків їх передчасного виходу з ладу. Перевагами високоеластичних поліуретанів є:

- стійкість до абразивного зношування;
- можливість експлуатації при високих тисках (до 100 МПа);
- широкий температурний діапазон експлуатації (у середньому, від мінус 50 °С до плюс 50 °С);

- безшумність роботи;
- мала вага (щільність);
- висока еластичність у всьому діапазоні твердості;
- висока оборотність деформацій;
- висока стійкість до розриву та розтріскування;
- висока стійкість до динамічних навантажень;
- хороші властивості поглинання ударів, коливань та струсів;
- високі діелектричні властивості;
- висока стійкість до атмосферних впливів;
- стійкість до дії водяного туману та солі;
- хімічна стійкість, у тому числі до насичених та аліфатичних розчинів, десятивідсоткових розчинів кислот і лугів, моторної олії, олій та жирів, окисних речовин;
- стійкість до гідролізу, до морської води.

Еластоміри використовують для виготовлення різних деталей і покриттів практично у всіх галузях промисловості. Наприклад, поліуретанові еластомери застосовують як покриття ведучих і направляючих валів у металургійній і хімічній промисловості, валів і барабанів для рубання скловолокна, склотканини, паперу і картону.

З поліуретанів виготовляють ролики для конвеєрних ліній, масивні шини для внутрішньозаводського транспорту, у тому числі і для робіт на складах – холодильниках, сита в гірничорудній та харчовій промисловості, внутрішні покриття гуркотів, циклонів та сепараторів, у тому числі для сепарації абразивовмісних пульп. Широко використовуються для виготовлення прокладок та ущільнень різного призначення – статичної, зворотно-поступальної дії, обертових, працюють у пневматичних, гідравлічних системах або як прості скреперні ущільнення для плоских поверхонь та валів. Перелічити всі можливі варіанти ефективного застосування поліуретанів складно, тому далі наведені тільки найпопулярніші варіанти: втулки, манжети, пуансони та матриці для

штамбування металів, демпфери, буфери, покриття валів різного призначення, футерування циклонів, гідроциклонів, виготовлення виробів, що працюють в умовах підвищеного зносу, теплостійкі деталі електротехнічного та конструкційного призначення, а також деталі та покриття в хімічній промисловості та печей.

Останніми роками з'явилося багато різних типів ПУ, значно збільшилася кількість фірм, які виробляють поліуретанові еластомери чи вихідні матеріали цих систем. Поліуретани можна розділити на наступні класи: 1) лінійні поліуретани; 2) ливарні поліуретани; 3) вальцовані поліуретани; 4) термопластичні поліуретани; 5) пористі поліуретани; 6) поліуретани, що напильються; 7) поліуретанові поромери; 8) волокна спандекс.

Кількість браку при переробці поліуретанів залежить від виду виробу, типу поліуретану, контролю якості та ходу процесу. Для ливарних поліуретанів при широкому асортименті виробів загальний рівень браку не повинен перевищувати 5%. По окремих групах виробів показники браку приблизно такі: масивні шини – менше 1 % , промисловий листовий матеріал загального призначення – менше 2 %, інші профільовані вироби – 5 – 15 %. Відносно високий відсоток браку в останній групі пояснюється тим, що до деяких виробів цієї групи пред'являються дуже високі вимоги щодо якості обробки поверхні та точності розмірів. До таких виробів належать гідравлічні затвори, рівень браку яких може досягати 25%. Дефекти, які призводять до бракування відливок з поліуретану, зазвичай викликаються поганим перемішуванням преполімера і подовжувача ланцюга, утворенням бульбашок через присутність вологи або повітря, захопленого при перемішуванні, повітряних раковин, викликаних неправильним способом заливання форм або неправильної конструкції і нарешті надлишком мастила у формі.

Один із шляхів зниження браку – підвищення вимог контролю процесу виготовлення та якості сировини. Регулярний аналіз сировини на вміст домішок, реакційну здатність, вміст вологи допомагає подолати деякі труднощі, що є у

процесі синтезу. Періодичний контроль властивостей формованих виробів може забезпечити отримання стійких результатів і накопичити корисну інформацію про якість продукту. Якщо виробництво ливарних поліуретанів ведеться періодичним або напівперіодичним способом, контроль в ході процесу може виявити непередбачені зміни, які завжди можна очікувати в будь-якому процесі, хід якого залежить від кваліфікації виконавця. На великих підприємствах для усунення подібних відхилень можна рекомендувати автоматизацію найбільш трудомістких стадій процесу. Цілком задовільним методом контролю є регулярний статистичний аналіз готового продукту.

Фрикційні властивості поліуретанових еластомерів переважно відповідають стандартним властивостям синтетичного каучуку, тобто коефіцієнт тертя дорівнює приблизно 0,2 для більш жорстких типів матеріалу і до 2 – 3 для м'яких. Високе значення коефіцієнта тертя для м'яких матеріалів пояснюється великою площею контакту. Проте значення коефіцієнта тертя, отримані лабораторним шляхом, не можна приймати за абсолютні величини. Їх слід розглядати лише як приблизну оцінку дійсних величин під час експлуатації. У процесі експлуатації величина, що характеризує тертя, багато в чому залежить від таких факторів, як чистота поверхні, природне мастило частинками пилу, що є в повітрі, частинками абразивів або слідами рідини.

Коефіцієнт тертя можна значно знизити за допомогою мастила, тому при використанні поліуретанів в якості несучих поверхонь (підшипники) застосовують масла або мастила. У випадках, коли зовнішні мастила небажані, поліуретани вводять добавки, що надають матеріалу властивості самозмазування. Зазвичай для цієї мети використовують дисульфід молібдену, графіт та силіконові олії. Однак при використанні цих добавок слід дотримуватися обережності, так як в деяких випадках вони можуть знизити стійкість матеріалу до старіння.

## 1.2 Особливості будови та роботи машини для передпосівної обробки насіння з ударопоглинаючим робочим органом

Для вдосконалення технології передпосівної обробки насіння в Поліському національному університеті м. Житомир розроблено змішувач-інкрустатор безперервної дії з ударопоглинаючим робочим органом для передпосівної обробки насіння [1].

Основними перевагами пропонованого змішувача з робочим органом, виконаним у вигляді циліндричної ємності, виготовленої з ударопоглинаючого високоеластичного матеріалу, є :

- самоочищення робочих поверхонь, що призводить до підвищення ефективності переробки компонентів, схильних до адгезії;
- поєднання основного процесу змішування з транспортуванням;
- забезпечення безперервності технологічного процесу;
- регулювання співвідношень різних механізмів змішування (диффузійного, конвективного, зсувного та з відривом), що підвищує ефективність та універсальність пристрою;
- створення умов формування псевдокиплячого шару у всьому робочому обсязі змішування для виключення сегрегації;
- Забезпечення просторового складного руху компонентів переміщується суміші за рахунок коливального і струшуючого впливу високоеластичного матеріалу робочого органу.

Робочим органом змішувача-інкрустатора є циліндрична ємність, виконана з високоеластичного матеріалу, що здійснює знакозмінні циклічні коливання за рахунок механізмів приводу різних типів. Високоеластичний матеріал, з якого виготовлена робоча ємність, має здатність значно розтягуватися в межах пружних деформацій, аж до п'ятикратного збільшення довжини. Розтягування високоеластичної поверхні циліндричної ємності призводить до накопичення потенційної енергії. При скороченні високоеластичного матеріалу відбувається

звільнення цієї енергії та подальша передача її насінню, що підкидається поверхнею у вигляді кінетичної енергії вільного руху, інтенсифікуючи тим самим процес змішування та покриття насіння препаратом без ризику їх пошкодження.

Для приведення в дію робочої ємності і створення пружнодеформованого стану її поверхні можна використовувати різні способи і механізми приводу. Відомо, що кулачковий механізм є одним із найбільш простих, надійних, компактних та економічних механізмів. Використання кулачкового механізму як приводу забезпечить циклічні коливання високоеластичної робочої ємності та деформацію розтягування її поверхні за рахунок ударного впливу штовхачів на зовнішню поверхню робочої ємності машини.

На рис. 1.1 наведена схема машини для протравлення з ударопоглинаючим робочим органом та кулачковим механізмом приводу.

Пристрій для передпосівної обробки насіння містить раму 1, на якій закріплені робоча камера 3 з приводом, завантажувальний бункер 2 з дозатором подачі насіння, бак 4 для робочої рідини з гідронасосом і електродвигуном. Привід являє собою електродвигун 5, ланцюгову передачу 6 з набором зірочок для можливості зміни частоти обертання кулачкового валу 7 з кулачками 8 і штоками 9 з гвинтами регульовальними 10. Кулачки мають отвір з вирізом для фіксації від прокручування від валу 7. Довжину змішувального відділу можна регулювати переміщенням кулачків по лиску валу. Від мимовільного зміщення кулачка по валу передбачені стопорні гвинти 11. На штоках закріплені штовхачі 12, виконані у вигляді порожнистих циліндрів з затупленими кромками. Відсутність ріжучих кромок та форма штовхачів 12 знижують ймовірність пошкодження зовнішньої поверхні ВО. Діаметр циліндра штовхача 12 не повинен перевищувати 1/4 відстані між сусідніми штоками. Штовхач 12 закріплений на штоку 9 перпендикулярно до поздовжньої осі оболонки насіння. Бак 4 оснащений лопатевими мішалками 13 для робочої рідини (протруйника та/або біопрепарату), а насос 14 призначений для подачі робочої рідини по

гідропроводу 15 і впорскування робочої рідини через форсунку 16 в робочу камеру 3. Лопастні мішалки 3 приводяться в дію від електродвигунів (на рис. 1 не показано). Також на рамі 1 встановлений пульт управління 17, який призначений для включення та вимикання пристрою та регулювання частоти обертання кулачкового валу 7 та тиску робочої рідини в трубопроводі 15. Форсунка 16 призначена для розпилення робочої рідини всередині робочої камери 3. Робоча камера 3 виконана у вигляді двошарової циліндричної оболонки з матеріалу, що поглинає удар насіння об поверхню, завдяки здатності розтягуватися і скорочуватися, а бічні кришки змішувальної камери виконані жорсткими (наприклад, нееластичного недеформованого матеріалу). На одній бічній кришці закріплений бункер 2 з дозуючим пристроєм, а на протилежній – вивантажувальний патрубок 18. Рама оснащена колесами 19 і нерухомими опорами, для закріплення пристрою на підлозі або будь-якої іншої горизонтальної поверхні під час робочого циклу. Штоки 9 та вертикальні опори рами 1 мають елементи регулювання висоти для зміни кута нахилу пристрою до горизонту.

Насіння з бункера 2 через дозатор, за допомогою якого подають заданий об'єм насіннєвого матеріалу, надходять всередину робочої камери 3. У робочій камері 3 здійснюють коливальний струшуючий рух від циліндричних випукло вигнутих поверхонь штовхачів 12, які приводять в рух штоками 9. На кінцях штоків, соприка з кулачками є ролики (не показано), що перекочуються по поверхні кулачків 8.

Для регулювання інтенсивності обробки і продуктивності пристрою довжину змішувального відсіку можна регулювати, змінюючи відстань між штоками 9, переміщенням кулачків 8 по валу 7. Насіння, потрапляючи всередину робочої камери 3 виконаної у вигляді циліндричної високоеластичної оболонки, падають на дно оболонки і відскакують від неї під струшуючою дією стінок робочої камери 3 (вказано стрілками), по яких з зовнішнього боку ударяють циліндричні штовхачі 12. Трубопровід 15, по якому подають робочу рідину,

прикріплений до верхньої стінки робочої камери. Процес струшування неодноразово повторюють, завдяки чому забезпечують підтримку насіння у зваженому стані та його перемішування з робочою рідиною, яка подається насосом 14 з бака 4 по трубопроводу 15 і розпоршується у вигляді дрібнодисперсного розчину форсункою 16, розташованої всередині робочої камери 3. Для забезпечення однорідності робочу рідину примусово перемішують лопатевою мішалкою 13, що приводиться в рух електродвигуном (на рис. 1 не показаний). Завдяки значному розтягуванню еластичних стінок робочої камери 3 (УРО) виключається пошкодження та травмування насіння при зіткненні та падінні на поверхню змішувальної камери. Просування насіннєвого матеріалу у вивантажувальний патрубок 17 забезпечується можливістю регулювання по висоті вертикальних опор рами і штохачів 9. У пристрої передбачена електромеханічне регулювання (шафа 16) подачі рідини насосом 14. Частота обертання кулачкового вала 7 регулюється частотним перетворенням. Штовхачі 12, виконані у вигляді порожнистих циліндрів з затупленими кромками (циліндричні штовхачі ковзання), не пошкоджують зовнішню поверхню оболонки, так як довжина циліндра штовхача 12 мінімум в 1,5 рази більша за діаметр оболонки, а його діаметр не перевищує  $\frac{1}{4}$  відстані між сусідніми шатунами. Зазначений розмір штовхачів було перевірено дослідним шляхом. При завантаженні насіннєвим матеріалом об'єму змішувальної камери з коефіцієнтом заповнення не більше 0,6 спостерігалось розширення поперечного перерізу робочої камери, але не більше 1,5 діаметра. При цьому опускання стінок на поверхню циліндричних штовхачів не супроводжувалося контактом з краями циліндричних штоків 12.



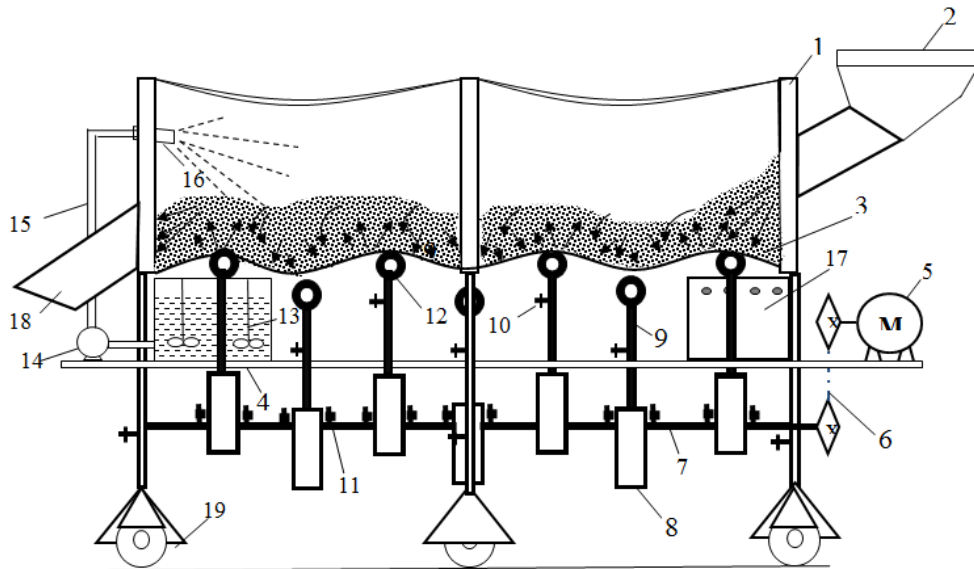


Рис. 1.1. Схема машини для передпосівної обробки насіння з кулачковим механізмом приводу

Регулювання тиску рідини, що подається гідравлічним насосом 14, і частоти обертання кулачкового валу 7 здійснюється за допомогою електромеханічних пристроїв, розташованих у шафі 17.

### Висновки по розділу

Підвищенню ресурсу ударопоглинаючих робочих органів змішувачів-інкрустаторів може сприяти правильний вибір та поєднання конструкційних матеріалів у поєднанні, вибір оптимальної геометрії та кінематики роботи вузла тертя, заміна штовхачів ковзання роликowymi штовхачами.

Як найбажаніші конструкційні матеріали для виготовлення робочих органів протруювальних машин можуть використовуватися ливарні поліуретани. Аналіз матеріалів даного класу виявив, що найбільш підходить поліуретан марки Адіпрен L-16

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРИВАЛОСТІ ТА ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛУ УДАРОПОГЛИНАЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ПРИ КОНТАКТІ З ЦИЛІНДРИЧНИМ ШТОВХАЧЕМ КОВЗАННЯ ТА РОЛИКОВИМ ШТОВХАЧЕМ

Для порівняльної оцінки довговічності ударопоглинаючого робочого органу при його циклічному розтягуванні в умовах тертя ковзання (при впливі на поверхню ударопоглинаючого робочого органу (УРО) циліндричного штовхача ковзання) та тертя кочення з проковзуванням (при впливі на поверхню УРО роликів штовхача) була розроблена методика експериментальних досліджень матеріалу УРО.

Матеріал УРО працює у важких експлуатаційних умовах, зазнає як статичних так і динамічних навантажень. Контакт поверхонь УРО і штовхача супроводжується підвищеним тертям, в результаті якого має місце знос, що сприяє прискореному досягненню УРО граничного стану. Граничним станом УРО прийнято вважати порушення його герметичності, у результаті відбувається витік шкідливих для людського організму хімікатів з робочої камери машини для передпосівної обробки насіння (МПОН). Ще більш шкідливим фактором, що впливає на довговічність УРО МПОН є наявність дефектів у структурі високоеластичного матеріалу, здатних розвиватися і провокувати прискорене руйнування деталей. Наявність перелічених вище факторів сильно ускладнює оцінку довговічності УРО МПОН. Таким чином, довговічність УРО складно оцінити методами стандартних випробувань щодо визначення втомної витривалості та циклічної довговічності.

Щоб максимально точно оцінити ступінь підвищення ресурсу та довговічності УРО шляхом заміни штовхачів ковзання роликів штовхачами,

розроблено методику випробування високоеластичних матеріалів на витривалість, що враховує вплив багатьох факторів.

Методика визначення витривалості матеріалу УРО в умовах наближених до експлуатаційних полягає в циклічному розтягуванні зразків за допомогою впливу на них ковзання циліндричного штовхача або роликового штовхача.

Основною метою дослідження, що проводиться, є визначення ступеня підвищення витривалості матеріалу і відповідно його ресурсу за рахунок застосування роликового штовхача як предмета, що деформує зразок.

При організації випробування відтворюються необхідні для обліку експлуатаційні фактори, такі як шлях тертя при відносному переміщенні контактуючих поверхонь, амплітуда коливань УРО, радіус кривизни деформуючого предмета.

Таким чином, експеримент складається з двох аналогічних випробувань, що чергуються. При першому випробуванні як поверхня циліндричного штовхача ковзання виступає поверхня ролика, який жорстко зафіксований і не має можливості обертатися, внаслідок чого контакт спряжених поверхонь супроводжується тертям ковзання. У другому випадку ролик знімається з фіксації і може обертатися навколо своєї осі на шарикопідшипниках, внаслідок чого картина взаємодії пари змінюється, тепер процес супроводжується тертям кочення з проковзуванням.

Для вирубки зразків у формі двосторонньої лопатки в цьому дослідженні був необхідний нестандартний вирубний ніж із шириною вузької частини не менше 20 мм. Збільшена ширина робочої частини зразка необхідна для моделювання зношування ділянки УРО визначального ресурсу всього робочого органу, а також, щоб мінімізувати спотворення форми зразка при встановленні попередньої статичної деформації розтягування. Зношування поверхні зразка при випробуванні має відбуватися аналогічно зношування поверхні УРО під час експлуатації. Для цього необхідно щоб ширина робочої частини зразка, при встановленій статичній деформації розтягу, щонайменше в 10 разів

перевищувала його товщину. При використанні стандартних зразків у формі двосторонньої лопатки ДСТУ співвідношення ширини зразка до товщини не перевищує 6 (при заданій товщині зразка 2 мм). Таким чином, при використанні зразків, вирубаних стандартними ножами у випробуванні на розтягування за допомогою ролика, що впливає, має місце нерівномірний знос робочої поверхні зразків. Внаслідок скорочення площі поперечного перерізу зразка від попередньо встановленого натягу, при випробуванні зразка спостерігається його знос не тільки на робочій поверхні, а й на бічних гранях, що неприпустимо. Ширина робочої частини зразка, по можливості, повинна приблизно відповідати ширині ділянки УРО, що зазнає максимальних навантажень і схильного до максимального зношування. Враховуючи вищесказане, ширина робочої (вузької) частини зразка прийнята рівною 25,00 мм. Ніж для вирубування зразків у формі двосторонньої лопатки з шириною робочої частини 25,00 мм отримано з вирубного ножа (тип-5) шляхом його розширення (рис. 2.1). Таким чином, отриманий ніж відрізняється від стандартного вирубного ножа (тип-5) шириною вузької та широкої частини, яка збільшена на 19 мм та відсутністю ділянки леза довжиною 19 мм по краю лопатки. Всі інші розміри відповідали ножам тип-5.

Внутрішні поверхні вузької частини ножа повинні бути перпендикулярні до площини, утвореної різальними краями та відполіровані на глибину не менше ніж 5 мм. Ніж повинен бути завжди гострим і не повинен мати зазубрин.

Таким чином, після вирубки зразка, щоб відокремити цю ділянку від лопатки, необхідно було обрізати зайвий матеріал гострими ножицями. Наявність зазначеної ділянки та її відділення за допомогою інших ріжучих інструментів ніяк не впливало на властивості робочої частини зразка та результати випробувань, тому що ця ділянка розташована по центру краю лопаток і знаходилася в глибині захватів при встановленні зразка. Отримані зразки мали форму, представлену на рис. 2.2.

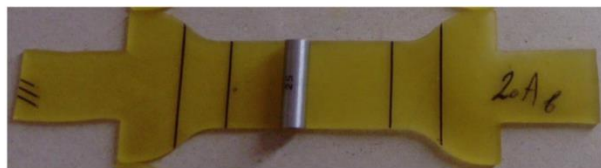


а)



б)

Рис. 2.1. Розширений ніж для вирубубвання зразків у формі двосторонньої лопатки: а – вид збоку; б – вид зверху



а)



б)

Рис. 2.2. Зразки у формі двосторонньої лопатки, отримані за допомогою розширеного ножа: а – зразок із невідділеною зайвою ділянкою; б – зразок з віддаленою формою лопатки зайвою ділянкою

На отримані зразки наносили настановні мітки на відстані 80 мм, а також мітки, що вказують довжину робочої частини зразка.

Експеримент проводився на машині для випробування високоеластичних матеріалів (МВВЕМ). Для кріплення зразків МВВЕМ оснащена тисковими

затискачами, що самопідтягуються, які встановлювали горизонтально на відповідні кронштейни.

В якості предмета, що деформує зразок, використовувався експериментальний роликочий штовхач (рис. 2.3). Експериментальний роликочий штовхач (ЕРШ) складався з корпусу 1 (рис. 2.4), в основу якого вварена різьбова шпилька, за допомогою якої він кріпився на шток МВВЕМ, двох текстолітових опор валу ролика 2, з запресованими шарикопідшипниками валу ролика 3, ролика 4 зі сталеву втулкою, яка встановлювався на вал 3 і кріпився на ньому за допомогою двох штифтів 5, індикаторної стрілки кутоміра 6, що встановлюється на вал 3 і шкали кутоміра 7, яка встановлювалася на корпус 1.



Рис. 2.3. Експериментальний роликочий штовхач

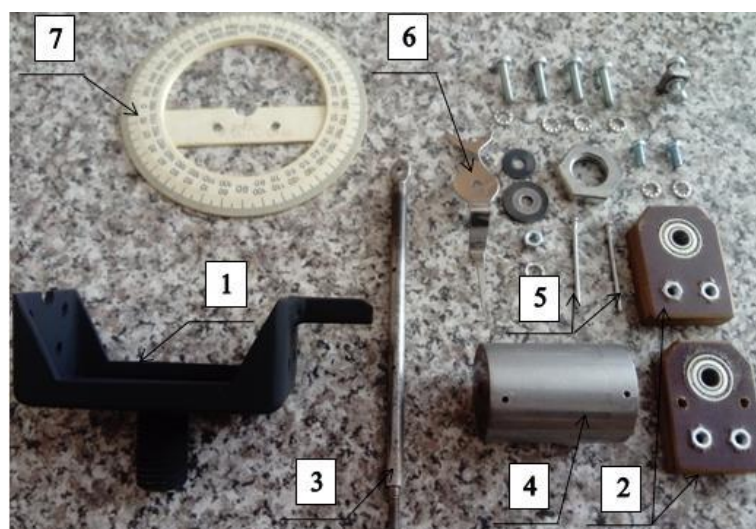


Рис. 2.4. Основні деталі ЕРШ

Одному кінцю валу 3 ЕРШ надано плоску форму. У центрі отриманого майданчика був наскрізний отвір під гвинт. Співвісно з отвором валу в корпусі ЕРШ було свердління. Таким чином, встановивши між корпусом і валом співвісно зазначеним отворам прямокутну шайбу певної товщини можна зафіксувати вал за допомогою різьбового з'єднання. Завдяки цьому ролик, встановлений на валу, також фіксується від прокручування. Для повної фіксації ролика в його втулці є отвір з різьбленням, завдяки якому він надійно скріплюється з корпусом за допомогою відповідного гвинта.

Конструкція ЕРШ передбачає його роботу в двох режимах: при нерухомому ролику, створюючи імітацію роботи циліндричного штовхача ковзання і при ролику, що обертається.

ЕРШ має пристрій вимірювання кута повороту ролика (кутомір), за допомогою якого встановлюється необхідне випробування значення відносного переміщення контактуючих поверхонь.

Втулка ролика є сталевий тонкостінний циліндр з гладкою зовнішньою поверхнею.

### РОЗДІЛ 3

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОРІВНЯЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИТРИВАЛОСТІ ТА ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛУ УДАРОПОГЛИНАЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ПРИ КОНТАКТІ З ЦИЛІНДРИЧНИМ ШТОВХАЧЕМ КОВЗАННЯ ТА РОЛИКОВИМ ШТОВХАЧЕМ

В результаті проведеного експерименту було зібрано безліч важливих даних, що характеризують витривалість та циклічну довговічність високоеластичного листового поліуретану марки Адіпрен L-167 в умовах, близьких до експлуатаційних. Усі отримані результати можна розділити на дві основні групи: результати, отримані при випробуванні з циліндричним штовхачем ковзання та результати отримані при випробуванні з роликовим штовхачем. Проведення експерименту без заміни деталей МВВЕМ досягається за рахунок застосування ЕРШ, який може працювати як у режимі штовхача ковзання (при фіксації ролика), так і в режимі роликового штовхача (при ролику, що обертається). Вищевказані групи результатів також поділяються на: дані для зразків, що зруйнувалися на ділянці контакту УРО з ЕРШ і дані для зразків, що зруйнувалися через розвиток дефектів.

Зазначена класифікація необхідна, тому що руйнація відбувається в основному через дефекти або внаслідок зносу в області контакту з штовхачем. У більшості випадків руйнація через дефект відбувається раніше. Таким чином, останні з вищевказаних груп задають інтервали витривалості та циклічної довговічності матеріалу, що враховують вплив дефектів. Тому, в даному експерименті, зразки руйнування яких відбулося на дефекті за межами ділянки контакту, не виключаються із розрахунку. Ще одним важливим джерелом інформації в цьому експерименті є мікрофотографії зношених поверхонь тертя.

Отримані експериментальні дані занесені в табл. 3.1.



Таблиця 3.1 – Розвиток виробничих дефектів високо еластичного листового поліуретана

Параметр	Номер зразка					
	7	9	11	8	10	12
Довжина дефекту після закріплення зразка, мм	6,5	2,5	5,5	5,0	3,5	4
Довжина дефекту при напрацюванні 1 млн. циклів, мм	6,0	3	5,5	6,5	4	4
Довжина дефекту при напрацюванні 2 млн. циклів, мм	7	4	6,5	6,5	4	4,5
Довжина дефекту при напрацюванні 3 млн. циклів, мм	9	4,5	6,5	6,0	4,5	5
Довжина дефекту при напрацюванні 4 млн. циклів, мм	-	7	-	7	5,5	5,5
Довжина дефекту при напрацюванні 5 млн. циклів, мм	-	-	-	7,5	5,0	7
Напрацювання зразка, при якому дефект розвинувся до наскрізного, цикли.	3810356	3957184	3843214	5125287	5684001	5802647
Витривалість зразка №, цикли.	3839342	4119583	3975869	5454371	5762041	5933657

Зазначимо, що дефекти зразків, підданих зносу роликівим штовхачем, розвиваються менш стрімко. На деяких інтервалах тривалістю 2 млн. циклів зростання дефектів не спостерігалось.

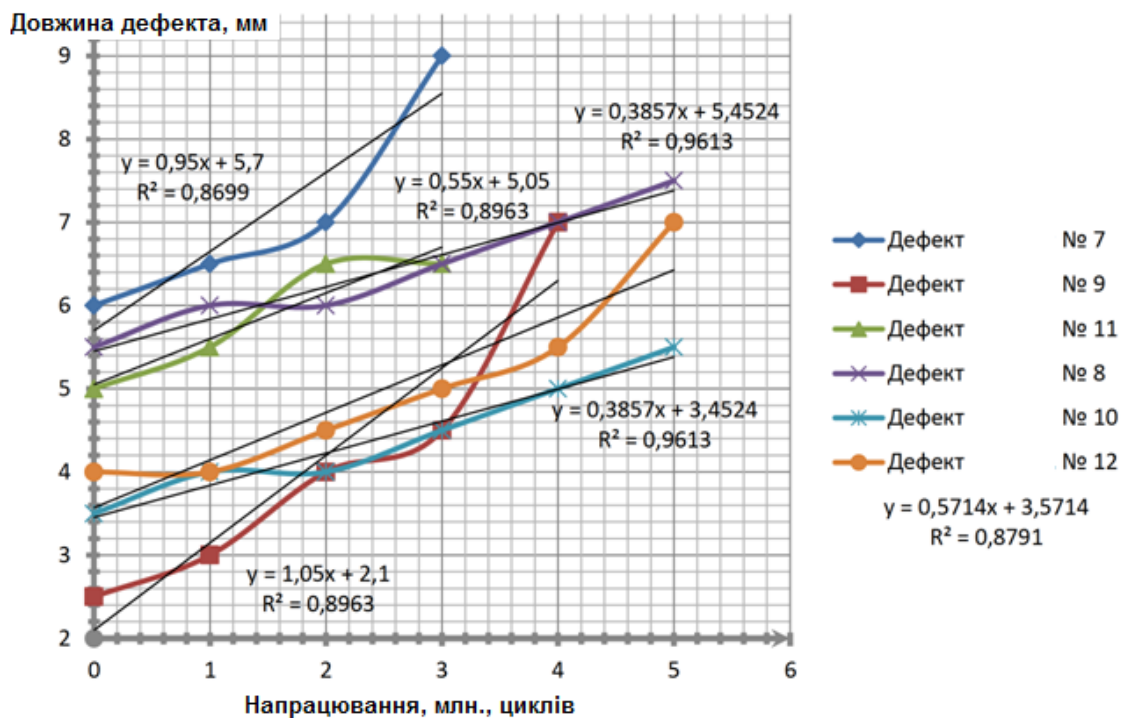


Рис. 3.1. Діаграма розвитку дефектів зразків високоеластичного поліуретану

Велику схильність до розростання мають дефекти, розташовані поблизу захвату, до якого ближче штовхач. Ця ділянка характеризується високою напругою в матеріалі, особливо при роботі штовхача ковзання.

Розвиток дефекту умовно можна поділити на 3 стадії:

- 1) стадія пасивного розвитку;
- 2) стадія активного розвитку;
- 3) стадія трагічного розвитку.

Коли зразок з недеформованого стану переходить у напружений стан під дією попередньо встановленої деформації розтягування, відбувається свого роду «активація» дефектів матеріалу, що зумовлює їх першу стадію пасивного розвитку, яка по суті визначає подальше розростання даного вогнища руйнування. Тобто, на цьому етапі відбувається розширення всіх пір і тріщин дефекту, а також певною мірою перебудова його структури. У міру стомлення матеріалу постійними циклічними деформаціями, дефект може перейти на другу стадію, почавши активно розвиватися. Залежно від напруги в матеріалі та величини його деформації дефект набуває певної швидкості розвитку, яка визначає момент його переходу в останню стадію катастрофічного розвитку, на якій він розростається до наскрізної «дірки» у листовому поліуретані, після чого відбувається моментальне руйнування зразка. За даними випробувань визначено, що середнє напрацювання зразка до руйнування, за наявності дефекту в стадії катастрофічного розвитку (у вигляді наскрізної «дірки») становить: 107907 циклів при втомі циліндричним штовхачем ковзання та 179275 циклів при втомі роликівим штовхачем. Таким чином, при встановленні роликівого штовхача, інтервал напрацювання на якому дефект перебуває в стані наскрізної «дірки» в середньому в 1,66 рази триваліший.

На рис. 3.2 представлений дефект на двох стадіях розвитку при стомленні циліндричним штовхачем ковзання.

Розвиток дефекту при втомі зразка роликівим штовхачем виглядає аналогічно, відмінністю є нижча швидкість цього процесу.

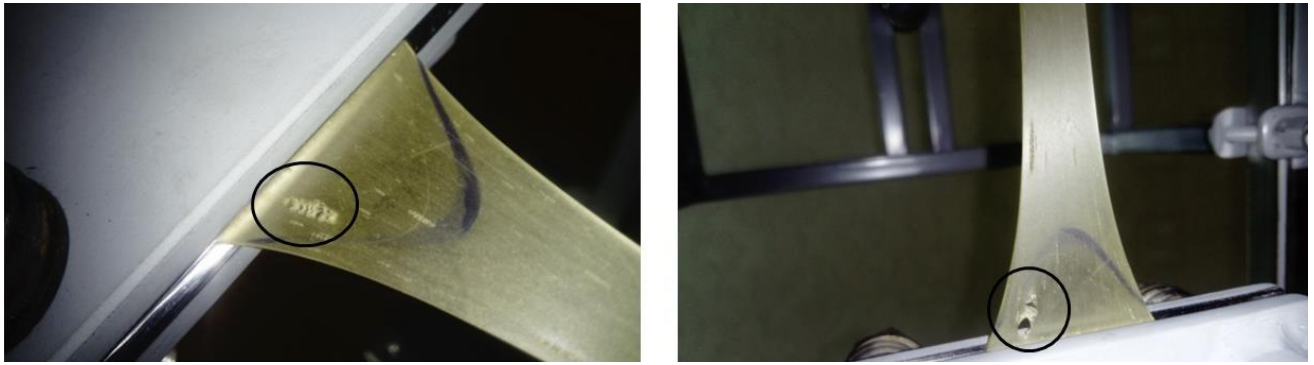


Рис. 3.2. Розвиток дефекту при втомі зразка циліндричним штовхачем ковзання: а – дефект зразка на стадії активного розвитку (вид зверху); б – дефект зразка на стадії «катастрофічного розвитку» (дефект у вигляді «дірки», вид знизу)

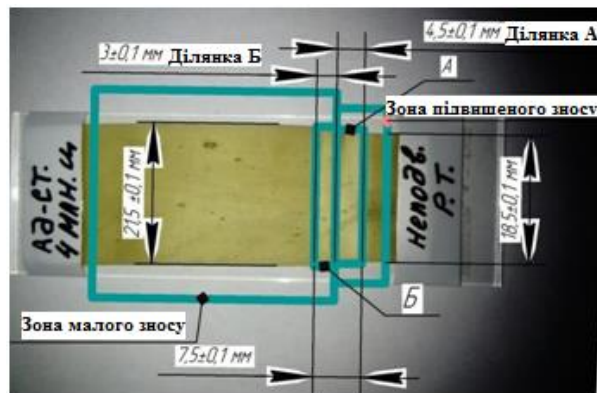
Додатково, для порівняльної оцінки зношування, два зразки зазнали випробувань до напрацювання в 4 млн. циклів, після чого були звільнені із захоплень для дослідження. Відразу було помічено, що зразок зношений циліндричним штовхачем ковзання має звуження на ділянці, в напрямку якого був зміщений штовхач (рис. 3.3а). Ділянка звуження зразка позначена як зона підвищеного зношування (рис. 3.3 а).

Наявність звуження підтверджує теоретичні докази про те, що за рахунок сил тертя між контактуючими поверхнями, штовхач ковзання певною мірою «утримує» поверхню УРО від переміщення, тому ділянка матеріалу між крайнім штовхачем і фіксатором УРО схильний до великих деформацій і напружень, і має велику залишкову деформацію розтягування.

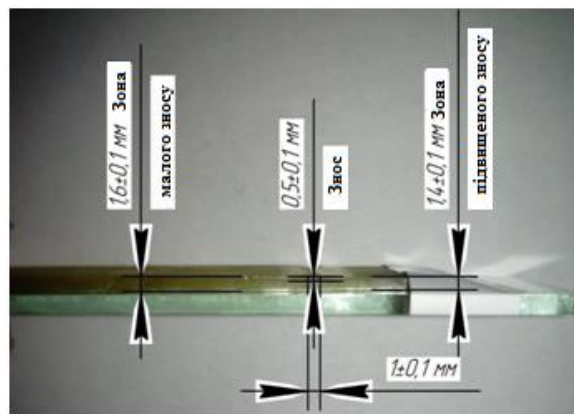
Після зняття розмірів зразка (рис. 3.3) було виявлено, що ділянка, розташована в зоні підвищеного зносу, звузилася щодо протилежної йому ділянки, що знаходиться в зоні малого зносу, на 3 мм, тобто в 1,16 рази.

Далі було розглянуто ділянку фрикційного зносу даного зразка, довжина якого в напрямку відносного переміщення штовхача становить 7,5 мм (рис. 3.3 а). Ближче до середини ділянки є «виробіток» (знос) у вигляді канавки, розташована перпендикулярно напрямку відносного переміщення зразка, утворена внаслідок зношування поверхні матеріалу штовхачем у місці, де тиск

сполучених поверхонь досягає максимального значення. Процес зношування на цій ділянці протікає найбільш інтенсивно при досягненні штовхачем верхнього рівня, коли напруження та відносна деформація зразка мають максимальні



а)



б)

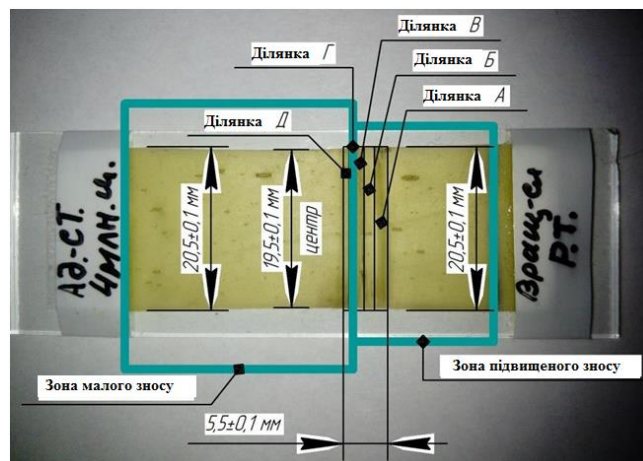
Рис. 3.3. Зношування та залишкова деформація зразка, зношеного циліндричним штовхачем ковзання при напрацюванні 4 млн. циклів: а – знос та залишкова деформація зразка (вид зверху); б – знос та залишкова деформація зразка (вид збоку)

значення. Максимальне зношування становить  $0,5 \pm 0,1$  мм (рис. 3.3 б).

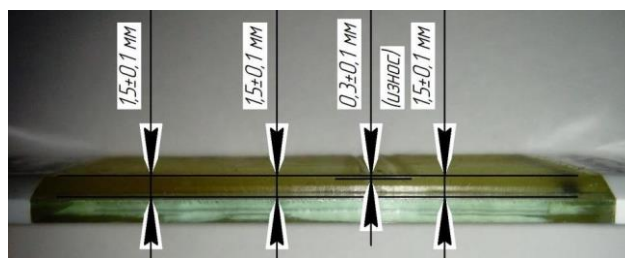
Щодо канавки на зношеній поверхні можна виділити дві ділянки (рис. 3.3 а): ділянку А в зоні підвищеного зносу та ділянку Б у зоні малого зносу. Протяжність ділянок А та Б становить відповідно  $4,5 \pm 0,1$  мм та  $3 \pm 0,1$  мм. Таким чином, ділянка А в 1,5 рази триваліша за ділянку Б. Це пояснюється зміщенням плями контакту в бік, де кут відхилення зразка від горизонтального положення має максимальне значення, тобто до найближчого захоплення.

Проведено також виміри залишкової товщини зразка у двох вищезгаданих зонах. Залишкова товщина зразка у зоні малого зносу становила  $1,6 \pm 0,1$  мм, а зоні підвищеного зносу –  $1,4 \pm 0,1$  мм (рис. 3.3 б). Таким чином, залишкова товщина зразка в зоні підвищеного зносу приблизно в 1,14 рази менше, ніж у протилежній зоні. Залишкова довжина зразка між обмежувальними мітками, нанесеними на відстані 50 мм при недеформованому зразку, становила 82 мм, тобто залишкове подовження при 4 млн. циклів навантаження становить 64%.

Дослідження зразка, зношеного роликівим штовхачем, виявило відсутність подібного до попереднього зразка несиметричного звуження в зоні підвищеного зносу (рис. 3.4).



а)



б)

Рис. 3.4. Зношування та залишкова деформація зразка, зношеного роликівим штовхачем при напрацюванні 4 млн. циклів: а – знос та залишкова деформація зразка (вид зверху); б – знос та залишкова деформація зразка (вид збоку)

Ділянка максимального звуження, залишкова ширина якого склала  $19,5 \pm 0,1$  мм, була виявлена в 10 міліметрах від канавки в зоні малого зносу, що

свідчить про рівномірніший розподіл напруг і деформацій по довжині всього зразка. Залишкова ширина зразка після випробування, виміряна на відстані 15 мм у двох протилежних напрямках щодо ділянки максимального звуження, склала  $20,5 \pm 0,1$  мм. Таким чином, ділянка звуження в 1,05 рази вже середньої ширини робочої частини зразка, що є вигіднішим показником порівняно з раніше розглянутим зразком.

Залишкова довжина зразка становить 87 мм, що відповідає залишковому подовженню 74%. Цей факт є менш сприятливим показником, але це сталося через більш рівномірний розподіл напруг і деформацій за довжиною всього зразка внаслідок зниження сили тертя в парі «роликівий штовхач – робоча поверхня». Перший зразок піддавався надмірно високим навантаженням в зоні підвищеного зносу внаслідок підвищеного тертя при контакті пари «штовхач ковзання – робоча поверхня», через що і зруйнувався раніше, а ділянка малого зносу, будучи набагато довшою, навантажувалася незначно. При зносі другого зразка роликівим штовхачем напруження і деформації розподілялися по всьому зразку більш збалансовано, внаслідок чого була підвищена його витривалість і циклічна довговічність.

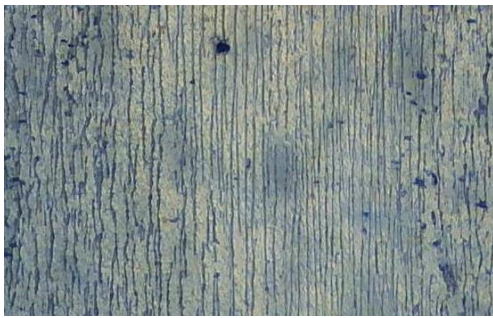
Поверхня фрикційного зношування другого зразка складається з п'яти ділянок (рис. 3.4 а). Загальна довжина стертої поверхні становить  $5,5 \pm 0,1$  мм, тобто в 1,4 рази менше, ніж у першого дослідженого вище зразка.

Далі було проведено мікроскопічне дослідження поверхонь зразків, схильних до зносу.

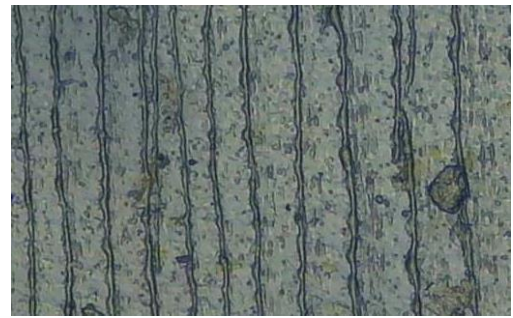
Першим розглядався зразок зношений циліндричним штовхачем ковзання. На рис. 3.5 представлені мікрофотографії стертої поверхні.

При розгляді зношеної поверхні зразка на ділянці А під збільшенням у 100 разів спостерігався рисунок у вигляді паралельних смуг, розташованих перпендикулярно до відносного переміщення поверхні (рис. 3.5 а). Більш чітко розглянути рисунок вдалося лише зі збільшенням 400 раз (рис. 3.5 б). При такому збільшенні можна чітко побачити, що зазначені смуги дуже схожі на

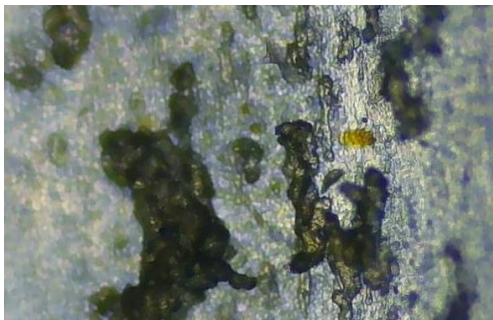
паралельні «скатки», що мають певний діаметр і відстають один від одного на деякій відстані. Утворені на поверхні високоеластичних матеріалів поперечні смуги прийнято називати «рисунком Шалламаха» [5]. Шалламах вперше кількісно описав так званий «характеристичний» вид зношування, яке виникає при терті досить гладких поверхонь гуми по твердому тілу внаслідок перенапруг в ділянках поверхневого шару. Зона найбільших напружень виникає за твердим виступом.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3.5. Стерта поверхня зразка, який зношувався циліндричним штовхачем ковзання: а – ділянка А ( $\times 100$ ), б – ділянка А ( $\times 400$ ), в границя ділянки А та ділянки Б ( $\times 400$ ), г – ділянка Д ( $\times 400$ ).

Залежно від властивостей матеріалу та сил тертя при одному або кількох проходах з'являються надриви поверхневого шару. На поверхні полімеру утворюються поперечні смуги – так званий «рисунок Шалламаха».

Далі була розглянута поверхня тертя зразка, що взаємодіяв з роликковим штовхачем. Аналіз поверхонь тертя виявив специфічний вид зношування на ділянках А, В, Г і Д (рис. 3.6). На ділянці Б знос непомітний.

Структура зношеної поверхні (рис. 3.6) більше нагадує втомний знос в результаті поступового розтріскування зовнішньої поверхні матеріалу. Явні поперечні смуги чи суцільні борозни не виділяються. Рисунок нагадує короткі гребені, розташовані перпендикулярно до напрямку руху (рис. 3.6 в, г), іноді виявляються малопомітні «скатки» на ділянках А, В і Г. Імовірно на ділянках А, В і Г протікає процес втомного руйнування поверхневого шару, що посилюється зносом за допомогою скочування, особливо на ділянці Г, де тиск поверхонь, що труться, досягає максимального значення.

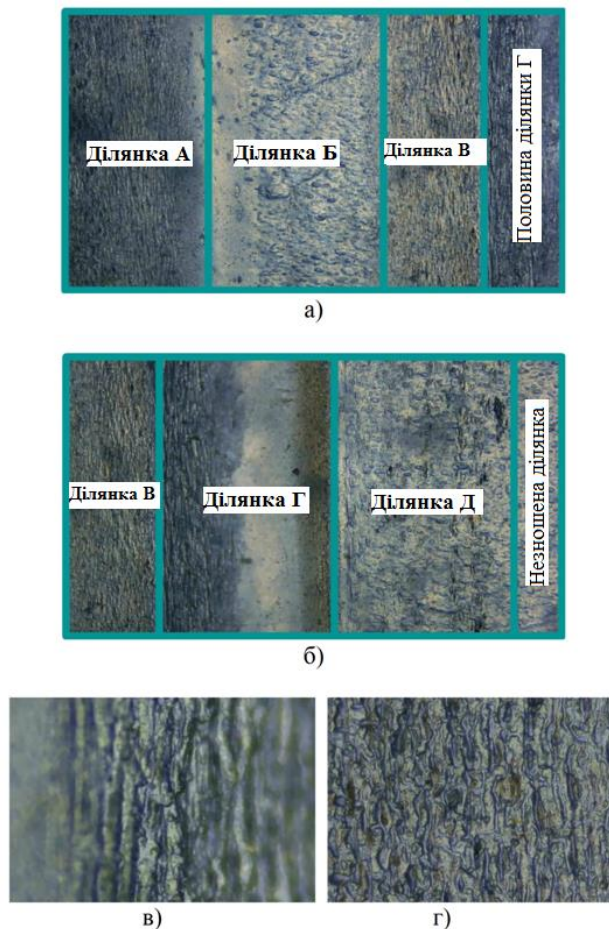


Рис. 3.6. Пошарована поверхня зразка, що зазнала зношування роликівим штовхачем: а та б – ділянки зносу зразка ( $\times 100$ ); б – ділянка зносу Г ( $\times 400$ ); в – знос характерний для ділянок А, В та Г ( $\times 400$ )

Пояснити нерівномірне зношування по всій площі контакту можна наступним чином. На ділянці А поверхня зразка контактуючи з штовхачем починає його провертати в напрямку свого переміщення, сили інерції ролика, що



утримують його в стані відносної рівноваги в цей момент протистоять сили тертя, що намагається повернути ролик, тому ролик прослизає, і на ділянці А з часом проявляється зношування. При досягненні певного значення тиску в плямі контакту і подоланні силою тертя сил інерції ролика (приблизно наприкінці ділянки А) відбувається повертання ролика («качання») на ділянці Б, тому на даній ділянці практично повністю відсутнє зношування.

Якщо порівняти продукти зносу зразка при його стирання циліндричним штовхачем ковзання і роликовим штовхачем, то при дії першого, частинки зносу відокремлюються постійно дрібними «пухкими» порціями, у другому випадку частки зносу «пресуються» і в обох випадках виносяться на межі ділянки фрикційного зносу (рис. 3.7 а, б).



Рис. 3.7. Частинки зносу поліуретанового зразка: а – частинки зносу поліуретанового зразка при стиранні циліндричним штовхачем ковзання; б – частинки зносу поліуретанового зразка при стиранні роликовим штовхачем

### **Висновки по розділу**

Порівняльне експериментальне дослідження витривалості і циклічної довговічності матеріалу УРО виявило, що заміна циліндричного штовхача ковзання роликовим штовхачем підвищує витривалість матеріалу УРО при активному розвитку дефектів в 1,44 рази, при відсутності прогресуючих дефектів в 1,55 рази, при цьому зношування зразка знижується приблизно у 1,7 рази.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результати виконаних досліджень, спрямованих на підвищення ресурсу ударопоглинаючого робочого органу машин для передпосівної обробки насіння дозволяють зробити наступні висновки:

Доведено, що для підвищення ресурсу ударопоглинаючих робочих органів машин для передпосівної обробки насіння необхідно замінити штовхачі ковзання механізму приводу роликівими штовхачами.

В результаті проведених досліджень фізико-механічних властивостей матеріалу ударопоглинаючого робочого органу машини для передпосівної обробки насіння встановлено, що модуль пружності високоеластичного поліуретану марки Адіпрен L-167 становить 0,875 МПа при швидкості розтягування  $500 \pm 50$  мм/хв і температурі навколишнього середовища  $23 \pm 2$  °С.

В результаті виконаних експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність використання циліндричного роликівого штовхача та встановлено, що заміна циліндричного штовхача ковзання роликівим штовхачем сприяє підвищенню витривалості та циклічної довговічності при активному розвитку дефектів у 1,44 рази, за відсутності прогресуючих дефектів – у 1,55 рази; знос високоеластичної робочої поверхні знижується в 17 раз; середнє напрацювання робочого органу на відмову за наявності дефекту матеріалу у вигляді «наскрізної дірки» становить 179275 циклів, що в 1,66 рази триваліше за аналогічний показник при втомі штовхачем ковзання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

2. Савченко В.М., Лукашевич Р.Б. Особливості будови та роботи машини для передпосівної обробки насіння з ударопоглинаючим робочим органом. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 36-39.
3. Савченко В.М., Лукашевич Р.Б. Перевага використання високоеластичного поліуретану як конструкційний матеріал для виготовлення робочих органів машин передпосівної обробки насіння. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 329-332.
4. Лукашевич Р.Б. Методика порівняльних випробувань щодо визначення витривалості та циклічної довговічності матеріалу ударопоглинаючого робочого органу при контакті з циліндричним штовхачем ковзання та роликівим штовхачем. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 244-246.
5. Доповнення до переліку пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Офіц. видання. Київ : Юніверс маркетинг, 2004. 175 с.
6. Монарх В. В. Оцінка екологічних ризиків забруднення пестицидами компонентів агроєкосистеми. Збалансоване природокористування. 2014. № 1. С. 1–2.
7. Кнечунас С. Комплексне застосування протруйників – надійний захист озимих зернових. *Зерно*. 2016. №7 (124). С.166-167.

8. Баскаков И.В. Совершенствование технологии послеуборочной обработки и хранения зернового материала. Автореферат дис. д.с.х.н. Воронеж. 2019. 40с.
9. Берека О.М. Обробка насіння сільськогосподарських культур в сильному електричному полі. Київ : ЦП „КОМПРИНТ”. 2011. 335 с.
10. Ерохин А. И., Цуканова З. Р. Физические методы предпосевной обработки семян и эффективность их. Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. т. 11. № 3. С. 84–88.
11. Кириченко В.В., Діндорого В.Г. Озонова технологія передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур. *Посібник українського хлібороба*. Харків, 2009. С. 128 – 131.
12. Чёрная М.А., Косулина Н. Г., Аврун О. Г. Анализ предпосевной обработки семян на основе ЭМ технологии, ин. Минск: БГАТУ. 2013. №1. С. 47-49.
13. Крамарёв С. М. Перспективы комплексного применения гуминовых препаратов, микроэлементов в хелатной форме и препарата Марс для предпосевной инкрустации. Radostim 2007. Гуминовые кислоты и фитогормоны в растениеводстве (Киев, Украина, 12–16 июня 2007). Сборник материалов Международной конференции, в рамках выставки Агро 2007. К., 2007. – С. 31–32.
14. Lazdina B., Stirna U., Tupureina V. Structure and properties of cross-linked poly (ester) urethanes obtained from poly (lactide) triols // Programme and proceedings of Baltic Polymer Symposium ñ 2005. –Tallinn (Estonia). 2005. P. 43-44.
15. Липатов Ю.С., Керча Ю.Ю., Сергеева Л.М. Структура и свойства полиуретанов. Київ : Наукова думка, 1970. 280 с.
16. Керча Ю.Ю. Физическая химия полиуретанов. Київ : Наукова думка, 1979. 220 с