

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

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра процеси, машини і обладнання**

**Кваліфікаційна робота**

**на правах рукопису**

**Сичевський Валерій Миколайович**

**УДК 621.791.9**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Оптимізація режимів нанесення зносостійких покриттів  
індукційним наплавленням на деталі сільськогосподарських  
машин**

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 \_\_\_\_\_ В.М. Сичевський

**Керівник роботи**

**Грабар І.Г.**

**доктор технічних наук, професор**

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Сичевський Валерій Миколайович. Оптимізація режимів нанесення зносостійких покриттів індукційним наплавленням на деталі сільськогосподарських машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В результаті проведених досліджень (стрілчастих лап СЗС-2.1) отримані дані, які виявили можливість підвищити зносостійкість робочих органів в 1,5-2,0 рази на різних ґрунтах, шляхом коригування технологічного процесу індукційного наплавлення.

Дослідження, проведені в 2019-2020 рр., показали, що характер зношування робочих органів сівалок СЗС-2.1 залежить від щільності оброблюваного ґрунту, вихідних геометричних параметрів, а також від характеру зміцнення носка і крила лапи. Результати показують відмінність в лінійному зносі і загостренні лез лап йдуть по сліду рушіїв трактора і поза цим слідом. Велика нерівномірність зношування також залежить від наявності на полях зі стерньових фоном ущільнених слідів від проходу восени комбайнів.

Відзначено також, що при роботі наплавлених індукційним наплавленням лап радіус кромки леза практично не залежить від щільності ґрунту і напрацювання.

Результатами досліджень виявлено існування резерву підвищення зносостійкості робочих органів і можливості збільшення ресурсу до 50...60 га на одну лапу шляхом збільшення твердості основного металу.

*Ключові слова: знос, індукційне наплавлення, твердість, робочий орган, покриття оптимізація*

## ANNOTATION

**Sychevsky Valery Nikolaevich. Optimization of modes of application of wear-resistant coatings by induction surfacing on parts of agricultural machines.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in specialty 208 - Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

As a result of research (arrow paws SZS-2.1) obtained data that revealed the possibility of increasing the wear resistance of the working bodies by 1.5-2.0 times on different soils by adjusting the technological process of induction surfacing.

Studies conducted in 2019-2020 showed that the nature of wear of the working bodies of SZS-2.1 drills depends on the density of the cultivated soil, the initial geometric parameters, as well as the nature of the strengthening of the toe and paw wing. The results show a difference in linear wear and sharpening of the blades of the paws follow in the footsteps of the tractor propulsion and beyond. The large unevenness of wear also depends on the presence in the fields with stubble background compacted traces of the passage of autumn harvesters.

It is also noted that the radius of the blade edge practically does not depend on the soil density and operating time during the operation of the paws welded by induction surfacing.

The research results revealed the existence of a reserve for increasing the wear resistance of working bodies and the possibility of increasing the resource to 50... 60 ha per paw by increasing the hardness of the base metal.

*Keywords: wear, induction surfacing, hardness, working body, coating optimization*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТВЕРДІ СПЛАВИ ДЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІВУ ЧАСТИНОК ТВЕРДОГО СПЛАВУ ТА МЕТАЛОПРОКАТ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ, ЯКІ ЗМІЦНЮЮТЬСЯ ІНДУКЦІЙНИМ НАПЛАВЛЕННЯМ.....	12
РОЗДІЛ 3. ЛАБОРАТОРНІ І ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ.....	20
ВИСНОВКИ.....	23
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	24

## ВСТУП

Індукційна наплавка знайшла широке застосування в області зміцнення ґрунтообробних та кормопереробних робочих органів сільськогосподарських машин, що працюють в умовах абразивного і ударно-абразивного зношування.

Рішення проблем по підвищенню зносостійкості наплавленого шару проводилися шляхом поверхневого легування зміцнюючих поверхонь перед наплавленням, додавання в наплавочну шихту компонентів, що містять бор, пошуку і розробки нових сталей для індукційного наплавлення, впливу на наплавлений шар електричною дугою вольфрамового і вугільного електродів, визначення оптимального співвідношення між зв'язкою і частинками ферохрому для пригнічення росту доевтектичної зони.

На підставі проведених лабораторних, польових і виробничих випробувань розроблені нові робочі органи для обробки ґрунту, переробки кормів і способи зміцнення.

Проведений комплекс досліджень встановив можливість отримання однорідної структури в наплавленому шарі, одержуваного індукційним наплавленням, декількома шляхами:

- підвищення частоти високоякісного генератора до рівня і плавлення гранул твердого сплаву;
- поверхневе легування зміцнюючих поверхні карбідоутворюючими металами;
- борування твердого сплаву і зміцнюючих поверхонь в процесі наплавлення;
- розробка нових спеціальних сталей для індукційного наплавлення, що знижують можливість утворення доевтектичної структури в зоні сплаву;
- вплив дугою вугільного електрода на наплавлений шар;
- оптимальне співвідношення металу-зв'язки і частинки ферохрома дозволяє отримати наплавлену структуру без доевтектичної зони.

Перераховані методи фізико-хімічного впливу при формуванні зносостійкого покриття в процесі індукційної наплавлення збільшує зносостійкість наплавленого шару в 1,2-2,3 рази.

**Мета і задачі дослідження.** Мета дослідження підвищити надійність робочих органів сільськогосподарських машин за рахунок нанесення зносостійких покриттів індукційним наплавленням.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- Проаналізувати матеріали і обладнання для індукційного наплавлення.
- Дослідити тверді сплави для індукційного наплавлення
- Розробити методику досліджень;
- Провести експлуатаційні випробовування.

**Об'єкт дослідження:** процес зношування робочих поверхонь деталей сільськогосподарських машин.

**Предмет дослідження:** закономірності зміни трибо технічних властивостей поверхонь робочих органів сільськогосподарських машин в залежності від матеріалів, умові та режимів індукційного наплавлення.

**Методи дослідження.** Досліджено виконано з використанням методів механіки, електронної мікроскопії та прикладної фізики. Обробку експериментальних методів виконували із застосуванням математичної статистики, методики планування та обробки експерименту за допомогою прикладних програм на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Сичевський В. М.** Тверді сплави для індукційного наплавлення. Результати лабораторно-польових досліджень гравітаційного способу посадки розсади. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 287.

2. **Сичевський В. М.** Методика визначення температури нагріву частинок твердого сплаву. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 203-204.

3. Грабар І. Г., Зембицький В. В., **Сичевський В. М.**, Швагро М. В., Курис І. М., Шиханцов М. В. Рідинно-абразивне зношування деталей сільськогосподарських машин. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 122-124.

4. Грабар І. Г., Зембицький В. В., **Сичевський В. М.**, Швагро М. В., Курис І. М. Зношувальна здатність мінеральних добрив. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 49-50.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи можуть бути впроваджені в ремонтних майстернях аграрних підприємств при ремонті, виготовленні і зміцненні робочих органів ґрунтообробних машин.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменування. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту містить 11 таблиць і 13 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### ТВЕРДІ СПЛАВИ ДЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Твердий сплав входить до складу наплавлюючої шихти для індукційного наплавлення.

Для індукційного наплавлення робочих органів сільгоспмашин найбільшого поширення набули високохромисті білі чавуни (табл. 1.1) і псевдосплави (табл. 1.2). Застосування цих матеріалів при напавленні деталей робочих органів ведеться виходячи з технічних умов наплавляемого виробу [1-10].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад високолегованих чавунів

Марка сплава	Вміст елементів, %					Температура плавлення, °С
	Si	C	Cr	Ni	Mn	
Сормайт	2,8-4,2	2,5-3,5	25-31	3,0-5,0	0,5-1,5	1275
ПГ-УС25	1,6-2,6	4,4-5,4	35-41	1,0-1,8	не більше 2,5	1275
ПГ-С27*	1-2	3,3-4,5	25-38	1,0-2,0	0,8-1,5	1275

Таблиця 1.2 – Хімічний сплав псевдосплавів

Марка сплава	Вміст елементів, %							Температура плавлення, °С
	C	Si	Mn, не менше	Cr, не менше	Ni	Cu	B	
ПС-14-80	5,2-7,4	до 2,0	0,3	49,0	0,3-1,0	0,52-1,13	0,04-0,18	1100-1150
ПС-14-60	4,0-5,7	2,0-0,3	0,7	35,7	0,7-1,8	0,22-0,63	0,10-0,32	1100-1150

До твердих сплавів пред'являються особливі вимоги:

- повинні мати значно більшу твердість і зносостійкість в порівнянні з металом зміцнюємої деталі, а також утворювати з ним міцне біметалічне з'єднання і мати невелику магнітну проникність;
- температура плавлення сплаву повинна бути на 100-150 °С нижче температури плавлення металу зміцнюючих деталі;



- регулювання фізико-механічних властивостей твердого сплаву здійснюється введенням до складу хімічних елементів так само як і при створенні зносостійких високолегованих білих чавунів.

Для зменшення крихкості наплавленого шару і більш високої його корозійної стійкості при роботі в умовах інтенсивного корозійно-механічного зносу до складу шихти додатково вводять добавки молібдену, силико-кальція. Стійкість до ударних навантажень можуть забезпечити добавки феррованадія, феромарганцю, вуглекислого літію [4-8].

Численними дослідженнями встановлено, що при абразивному зношуванні хімічний склад, структура і фазовий склад наплавочного металу підвищують його зносостійкість .

Титан надає сплавам комплекс позитивних властивостей: зменшення розміру зерна основи і карбідних включень, що сприяє збільшенню міцності сплавів, підвищенню твердості карбідної фази і появи в структурі карбідних частинок. При введенні бору в хромисті чавуни в межах 0,15-0,2% подрібнюється структура і утворюються високотверді і зносостійкі карбобориди. Пропонується комплексне легування хромом і ванадієм для впливу на склад, тип, морфологію карбідної фази і мікротвердість. Зміною хімічного складу і швидкістю охолодження можна регулювати процеси затвердіння, отримувати структури від ферритної до перлітної-мартенситної.

Вуглець впливає на зносостійкість високолегованих хромистих чавунів, тому зносостійкість заевтектичних чавунів вище евтектичних і доевтектичних на 32-44%. D.I.Kotecki і I.S.Ogborn провели експериментальні дослідження впливу мікроструктури і твердості на опір абразивному зношуванню наплавлювальних сплавів на основі заліза при вмісті вуглецю ( $C > 4,0\%$ ) і хрому ( $Cr > 16,0\%$ ). Встановили, що вуглець - найбільш важливий елемент, який визначає мікроструктуру, і, отже, надає опір абразивному зношуванню в наплавлювальних сплавах. Грунтуючись на емпіричну теорію твердого тіла, діаграму фазового рівноваги Fe - Cr - C і аналітичні результати, було

встановлено, що мінімальний знос покриття виконується при співвідношенні масових часток хрому і вуглецю  $W_{Cr} / W_c = 5,5-6,5$ .

При роботі деталей в умовах ударно-абразивного зношування рекомендується вміст вуглецю в деталях від 4,0 до 5,2% і при легуванні хромом - в межах від 4 до 20%.

Псевдосплави відрізняються від високолегованих чавунів тим, що складаються з порошків висовуглеродного ферохрому, литого сплав-зв'язки, яка має знижену температуру плавлення (1070-1120 °C).

Опірність стирання наплавленого металу забезпечує вуглецевий ферохром, який по фазовим складом в основному складається з тригональних карбідів хрому [2].

При наплавленні шихти псевдосплавів після флюсів плавляться сплав-зв'язка на основі заліза, що містить 0,9-1,5% вуглецю, кремній, марганець, нікель, мідь і бор. А тугоплавкі частинки ферохрому, розплавляючись останніми, роблять розплав менш рідкотекучим, що забезпечує більшу рівномірність товщини наплавленого шару. Це особливо важливо при наплавленні деталей великих розмірів, підданих значним термічним деформаціям.

Ці сплави при однакових з іншими литими матеріалами (наприклад, ПГ-УС25) ступенях перегріву викликають менший перехід основного металу в наплавочну композицію і зберігають велику величину заевтектичних зон, тобто вони менш чутливі до перегріву. Навіть при 30%-му перегріві в розплаві псевдосплавів є неросплавні частки ферохрому, мікротвердість яких дорівнює 16900-20210 Н / мм<sup>2</sup>. Це значно перевищує твердість абразивних частинок, що входять до складу ґрунтів (11000 Н/мм<sup>2</sup>).

Частинки ферохрому в процесі плавлення твердого сплаву знімають частково перегрів рідкого металу за рахунок внутрішніх теплових потоків. У розплаві утворюються додаткові активні центри кристалізації, вплив яких

проявляється в збільшенні швидкості розвитку об'ємного затвердіння і диспергування литого металу.

Частинки ферохрому виконують роль інокуляторів в рідкому розплаві, що забезпечує можливість управління затвердіння і кристалізацією структури наплавляемого сплаву.

Таким чином, ферохром в цих сплавах, з одного боку, утворює в наплавленому шарі тверді зносостійкі включення, характерні для псевдосплавів, а з іншого - додатково легують зв'язку хромом і вуглецем і знижує схильність біметалічного з'єднання до перегріву.

### **Висновки по розділу 1**

Зміною співвідношення ферохрому і зв'язки в шихті можна отримувати властивості наплавленого шару, найбільш відповідають умовам роботи деталі. У міру збільшення кількості ферохрому в шихті зносостійкість наплавленого шару зростає, і при 20% вона відповідає зносостійкості сплаву сормайт, а при 40% - сплаву ПГ-УС25. Тривалість наплавлення сплаву ПС-14-80 на 5% менше, ніж сплаву ПГ-УС25. Порівняльні польові випробування показали, що деталі, наплавлені сплавом ПС-14-80, мають довговічність на 10-14% більше довговічності наплавлених ПГ-УС25.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІВУ ЧАСТИНОК ТВЕРДОГО СПЛАВУ ТА МЕТАЛОПРОКАТ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ, ЯКІ ЗМІЦНЮЮТЬСЯ ІНДУКЦІЙНИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

Оптимізація нагріву наплавлюючої шихти на зміцнюючих деталях неможлива без реєстрації з достатнім ступенем точності температурних режимів наплавлення. Питанню вимірювання температури нагріву порошкових матеріалів присвячено незначну кількість робіт.

В деяких роботах пропонувалося вимірювати температуру в порошкових матеріалах термопарою, причому робочому спаю надавалася форма об'єкта, температура якого вимірюється [12]. Однак через різницю фізико-хімічних властивостей вимірюваного матеріалу і робочого спаю температура значно відрізнялася від дійсних значень.

Для вимірювання температури порошкових матеріалів, в тому числі і твердого сплаву для індукційного наплавлення, робочий спай термопари приварювали до окремої частинки порошку, в якій вимірювали температуру, яка має характеристику для даної фракції шихти. Послідовність операцій при виготовленні цього пристрою складається з декількох етапів, для цього вибирається частка розміром не менше трьох діаметрів електрода 1 термопари (рис. 1.1).

На рисунку 2.1 показана схема кріплення термоелектродів на одній грані (рис. 1.1 а) і на двох (рис. 2.1 б).

Пропонований спосіб забезпечив вимір температури нагріву твердого сплаву з урахуванням вимог, що пред'являються контактним датчиком температури.

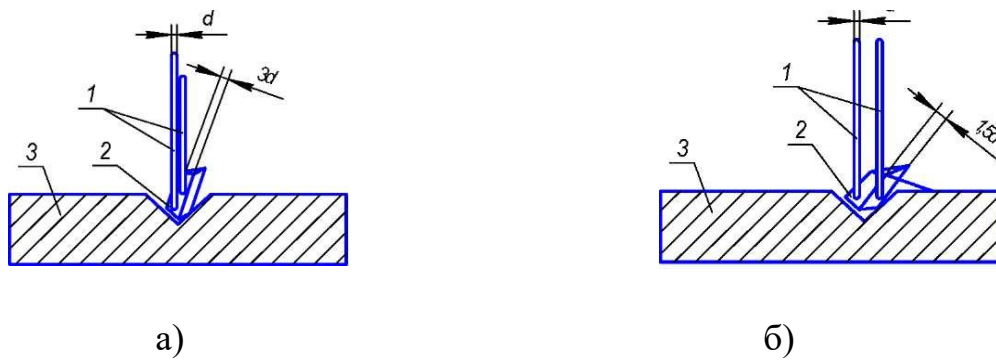


Рис. 2.1. Схема приварювання двох електродів до однієї (а) і двом (б) площинах: 1 – термоелектроди; 2 – частка твердого сплаву; 3 – пристосування для приварки частинок

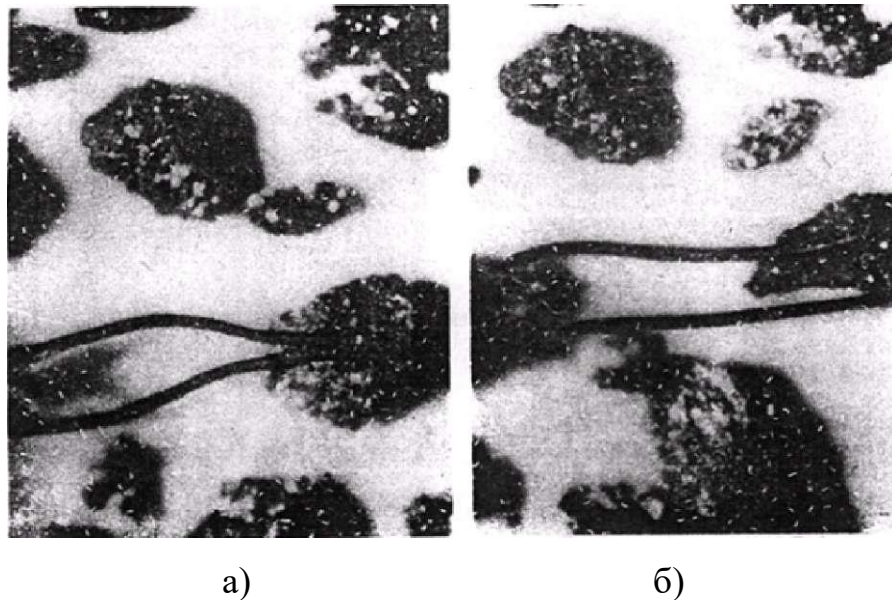


Рис. 2.2. Схема кріплення термоелектродів до однієї (а) і двом (б) площинах

Цим методом вимірювали температуру нагрівання твердого сплаву на кордонах шихта - основний метал і шихта - повітря. Отримані результати досить достовірні, так як форма і хімічний склад приварюємої і термоелектродної частки не відрізняються від форми і хімічного складу окремих частинок нагрівається порошкового твердого сплаву.

Значний вплив на процес нагріву надає гранулометричний склад твердого сплаву, від якого залежить і товщина шару насипання, а це, в свою чергу, в значній мірі визначає інтенсивність нагріву і плавлення наплавленої шихти.

За погодженням із споживачами тверді сплави типу легованих чавунів і псевдосплави випускаються різного гранулометричного складу, в основному двох типів, великий розмір часток не повинен перевищувати 1,25 мм, а місцями - 0,5 мм.

За ДСТУ у обох типів порошків через сито з осередками № 005 не повинно проходити більше 15% суміші. Залишок на ситі з сіткою № 1,25 у великої та дрібної не повинен перевищувати 5%.

Значна кількість металопрокату на заводи сільськогосподарського машинобудування надходить у вигляді смуги товщиною 4-10 мм, а по ширині, близькою до максимальної величини габаритного розміру деталі, що виготовляється.

Прокат за хімічним складом відповідає сталям 40Х, 65Г, 50ХГА, ст3. Хімічний склад перерахованих сталей наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталей для робочих органів

Марка сталі	Хімічний елемент, %				
	С	Mn	Si	Cr	інші
40Х	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,80-1,10	
65Г	0,62-0,70	0,90-1,20	0,17-0,37	< 0,30	< 0,4
50ХГА	0,46-0,54	0,80-1,0	0,17-0,37	0,95-1,20	< 0,04
ст3	0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30	-	-

Як правило, на заводах ЗОР, АСМ, ЦСМ перед наплавленням зменшення товщини лезової частини робочих органів проводиться фрезеруванням для забезпечення якості з'єднання основного металу з наплавляються твердим сплавом. Є також номенклатура деталей, що не піддається механічній обробці, очищення її поверхні від іржі і окалини забезпечують флюси.

За погодженням з металургійними комбінатами профіль смуги формують під процес індукційного наплавлення.

Наприклад, у висувного долота потрібно товщина наплавочного шару 3 мм. Тому у заготівлі цих деталей передбачені бурти, що оберігають від стикання розплаву, а паз здійснюється фрезеруванням (рис. 2.3).

Безпосередньо на металургійному заводі розроблений спеціальний прокат, в якому передбачалася лише поверхня, обмежена буртами під наплавлення розплавленого шару, а потім був змінений і весь профіль прокату, після цього значно зменшився час на процес фрезерування (рис. 2.3б) і знизилася вага деталі .

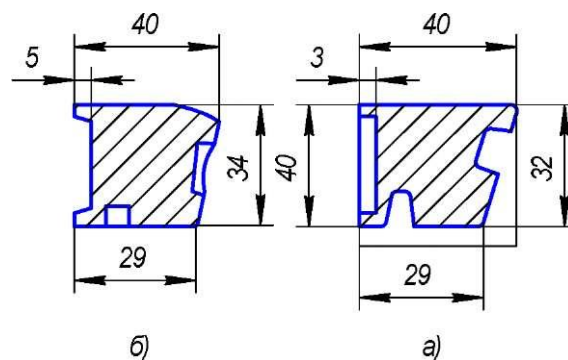


Рис. 2.3. Заготовки висувного долота: а - з фрезерованим пазом під наплавлення; б - з прокатним пазом

Таким чином, розроблений спеціальний профіль прокату для лемешів до корпусів з висувним долотом, у якого майданчик під наплавлення (33 мм) і глибиною 3 мм фрезерувати, а потім створювалася в процесі в прокатці.

За аналогією з цим лемешем був розроблений і впроваджений спеціальний профіль прокату і для лемешів плоскоріза.

Необхідно відзначити, що прокат, з якого виготовляють робочі органи сільськогосподарських машин, виконуються зі сталі 65Г, ст33, 40Х, які в подальшому зміцнюються індукційним наплавленням.

У своїй більшості для індукційного наплавлення застосовуються лампові і інвекторні генератори, призначені для нагріву деталей під термообробку і штампування, незважаючи на те, що процес індукційного наплавлення за деякими параметрами відрізняється від зазначених вище перелічених операцій.

При індукційній наплавленні твердих сплавів немає необхідності прогрівати деталі на всю товщину, бажано мати меншу глибину нагріву, що можливо забезпечити меншою величиною проникнення струму в метал.

Для визначення приблизного значення глибини проникнення струму користуються емпіричним виразом, мм:

$$\delta_m = \frac{K}{\sqrt{\phi}}, \quad (2.1.)$$

де  $\phi$  - частота генератора, Гц.

Коефіцієнт  $K$  приведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Глибина проникнення струму в метали

Матеріал	Температура, °С	Коефіцієнт
Сталь	20	20
	300	550
	1300	575
Сплав	20	50
Сормайт	1300	540

Найбільш точно глибина проникнення струму в метал визначається формулою:

$$\delta_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{\mu\phi}}, \quad (2.2)$$

де  $\rho$  - питомий електричний опір середовища, Ом м;

$\mu$  - відносна магнітна проникність;

$\phi$  - частота струму, Гц;

В процесі нагрівання феромагнітних матеріалів змінюються їх питомий електричний опір і магнітна проникність. Нагрівання відбувається від шару до шару і переміщається від поверхні вглиб, і коли температура досягає точки Кюрі нагрівається матеріалу, магнітні властивості пропадають. Внаслідок релаксації магнітної проникності і зростання електричного опору при



нагріванні глибина проникнення струму зростає в 8-10 разів, тому режими роботи високочастотних генераторів умовно поділяють на «холодний» і «гарячий»: до температури магнітних перетворень (точка Кюрі) - «холодної» глибиною проникнення струму, а при більш високих температурах - «гарячої».

Високочастотні генератори для індукційного наплавлення, на відміну від інших, мають пилезахист із замкнутою системою вентиляції. Генератори виконані у вигляді двох окремих блоків: генераторного і контурного. Блоки між собою з'єднані радіочастотним кабелем, що дає можливість видаляти їх один від одного до 15 м, крім того, розширено можливості управління генератором.

Схема управління генератором передбачає роботу в декількох режимах.

1. Режим настройки. Передбачає ручне управління генератором.

2. Режим стабілізації анодної напруги. На цьому режимі анодна напруга в діапазоні 3,5-10,6 кВ при коливаннях в мережі в межах  $\pm 5\%$  від номінального значення не вже  $\pm 0,5\%$ .

3. Режим стабілізації температури. В цьому випадку для контролю за температурою деталі в якості датчика зворотного зв'язку може бути використаний фотопірометр зі стандартним вихідним сигналом.

4. Режим регулювання за допомогою вбудованого чотириступінчастого програматора. Крім того, в даному режимі в якості зовнішнього програматора може бути використана мікро- або міні ЕОМ з аналоговим виходом, забезпечуючи заздалегідь визначений і відпрацьований закон регулювання.

Запрограмований пристрій виконаний на базі реле часу ВЛ-474К і дозволяє регулювати автоматично чотири рівні вихідної потужності в інтервалі часу від 1 до 400 с. Регулювання проводиться за рахунок зміни анодної напруги на генераторної лампі.

Генератор має більш широку можливість узгодження з навантаженням. Крім традиційного узгодження за рахунок регулятора зворотного зв'язку в генераторах реалізовано ступеневе узгодження в високочастотній установці з

навантаженням за рахунок зміни автотрансформації на первинній стороні високочастотного трансформатора.

Спеціалізовані генератори оснащені датчиками основних параметрів генератора, таких як змінна складова анодного напруги; змінна складова сіткового струму; напруга випрямляюча; частота, що дозволяє повністю контролювати режим роботи генератора і в кінцевому рахунку оптимізувати весь процес наплавлення.

З формул (2.1), (2.2) випливає, що зі збільшенням частоти струму зменшується товщина нагрівається шару і дозволяє при незмінній потужності генератора збільшувати швидкість нагріву зміцнюючих поверхонь, знижувати енергоємність процесу і тривалість наплавлення.

Необхідно відзначити, що більшість застосовуваних високочастотних генераторів і інверторів не відповідають технологічним особливостям наплавлення.

Для здійснення процесу індукційного наплавлення розроблені спеціалізовані генератори (табл. 2.3) і інвертори (табл. 2.4).

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика генераторів, застосовуваних для індукційного наплавлення

Тип генератора	Потужність, кВт	Потужність, отримана від мережі, кВт	Робоча частота, Гц	Анодна напруга, кВ	Витрата охолоджуючої води, м <sup>3</sup> /год
ВЧИ-63/0,44	63	105	0,44	10,5	2,1
ВЧИ2-100/0,066	100	165	0,066	11	6,1
ВЧИЗ-160/0,066	160	280	0,066	11	7,3
ВЧГ2-100/0,066	100	141	0,066	11	3,5
ВЧГ6-60/0,44	60	87	0,44	10,5	2,2
ВЧГ3-160/0,066	160	235	0,066	11	6,0
ВЧГ3-100/0,44	100	141	0,44	10,5-11,5	3,4
ВЧГ6-160/0,066	160	235	0,066	10,5-11,5	6,2
ВЧГ7-160/0,44	160	235	0,44	10,5-11,5	5,4

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика інвекторів, що застосовуються для індукційного наплавлення

Марка	Потужність, отримана від мережі, кВт	Частота кГц
УИН-0,07-100	100	8,0-16,0
УОИН-0,07-140	140	8,0-12,0
УИМ25/10-70	25	8,0-24,0

Інвектори відносяться до пристроїв, що перетворюють постійну напругу в високочастотну змінне.

В даний час вони по потужності відповідають ламповим генераторам, однак через елементну базу з більш високими частотами, ніж 50 кГц, інвектори промисловість не випускає.

## **Висновки по розділу 2**

В другому розділі магістерської роботи представлено методику визначення температури нагріву частинок твердого сплаву та металопрокат для робочих органів, які зміцнюються індукційним наплавленням.

### РОЗДІЛ 3

## ЛАБОРАТОРНІ І ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Обробка ґрунту проводиться різного роду ґрунтообробними знаряддями, переробка фуражу - спеціальними робочими органами: в першому випадку з метою створення сприятливих умов для вирощування сільськогосподарських культур, а в другому - їх переробки.

Для ґрунту основною умовою є надання їй необхідної грудкуватої структури при якій найкращим чином забезпечується доступ повітря, води і створення родючості. Процеси, що здійснюються при обробці ґрунту, зводяться в основному до підрізання і обертання поверхневого шару, подрібненню і розпушенню.

Робочі органи призначені для переробки продуктів рослинництва працюють в умовах інтенсивного ударного і абразивного зношування. Реєстрація та визначення основних характеристик, що впливають на якість обробки ґрунтів і кормів для тваринництва і птахівництва є актуальним фактором. Тому виникає необхідність дослідити процеси і характеристики пов'язані з обробкою ґрунтів і переробкою кормів.

Для вирішення цього завдання нами розроблена машина для дослідження на абразивне зношування, абразивно імітаційну масу і спосіб її отримання. Ці технічні рішення дозволяють в лабораторних умовах оцінювати зносостійкість матеріалів нанесених будь-яким методом на зношувану поверхню деталі. Крім того, розроблена система реєстрації параметрів режиму і параметрів процесу обробки ґрунту проводиться в умовах близьких до реальних. При випробуванні виробів в штучному ґрунті можна створити основні фізико-механічні властивості: твердість, щільність, вологість, абразивність, зміна гранулометричного складу. Необхідно реєструвати, як ці фактори впливають на тягове зусилля і зносостійкість покриттів і в цілому на властивості робочого органу.

Система реєстрації вимірювань параметрів і характеристик обробки ґрунту наведена на рисунку 3.1.

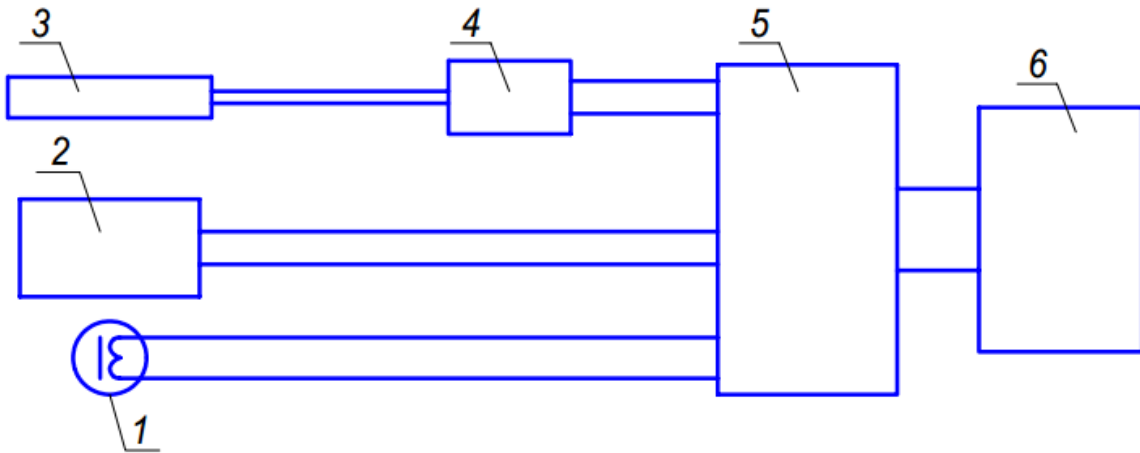


Рис. 3.1. Схема системи реєстрації вимірювань параметрів і характеристик процесу обробки ґрунту: 1 – датчик реєстрації вимірювань твердості ґрунту; 2 – лічильник, який визначає довжину шляху при переміщенні зразка робочого органу в абразивному середовищі; 3 – тензорезистор для вимірювання тягового зусилля створюваного зразком при переміщенні в ґрунті; 4 – операційний підсилювач; 5 – блок живлення; 6 – компютер.

Подібна система розроблена автором в співавторстві і дозволяє синхронно реєструвати і вимірювати тягове зусилля в залежності від гранулометричного складу ґрунту, її твердості і вологості. Для посилення сигналу, що надходить з тензорезистора розроблена і зібрана спеціальна схема на базі операційного підсилювача (рис. 3.2).

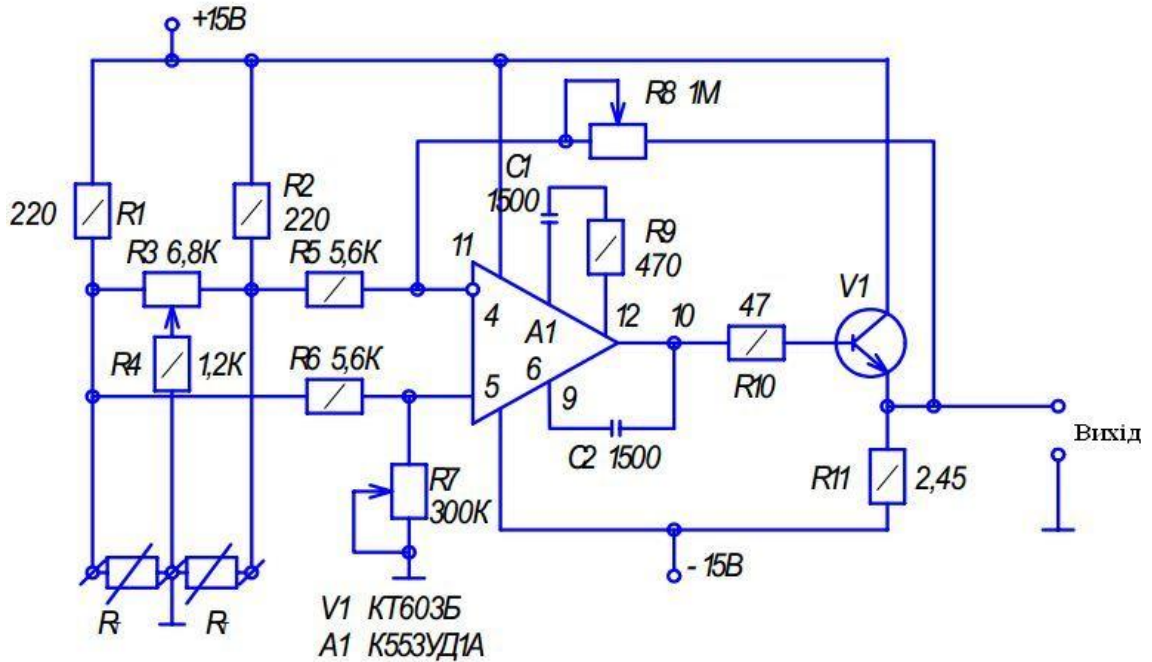


Рис. 3.2. Підсилювач сигналів тензодатчиків

Реєстрація сигналів, що надходять з тензорезисторів, датчиків, здійснювалася через системний блок комп'ютера і виводилася на монітор.

Перевага розробленої системи в порівнянні з іншими в тому, що вона дозволяє реєструвати і вимірювати основну характеристику робочого органу, тягове зусилля, яке переміщується в абразивному середовищі.

Тарування всіх пристроїв вироблялося на кафедрі технології конструкційних матеріалів і ремонту машин університету.

Вузол реєстрації тягового зусилля тарованого шляхом кріплення балки і розміщували горизонтально, потім навантажували змінними вантажами від 4,9 до 117,6 Н з кроком 4,9 Н. Одночасно проводили запис сигналів, що надходять з балок і на монітор комп'ютера. Побудований тарувальний графік мав похибку не більше  $\pm 5\%$ .

Датчик зміни твердості штучного ґрунту тарованого з використанням пенетрометра при рівномірному збільшенні електромагнітного поля, що впливає на абразивну масу. Тарований графік мав похибку 4,2%.

Датчик по переміщенню довжини шляху реєстрував кількість оборотів експериментального зразка в абразивній масі, де заводська його похибка не перевищувала  $\pm 0,1\%$ .

Схема розташування датчиків і пристрої машини для випробування на абразивне зношування зображена на малюнку 3.3 а, б.

Машина складається з столу 1, в нижній частині якого розташований електродвигун 2, з'єднаний з редуктором 3 за допомогою муфти 4. Редуктор 3 через муфту 5 з'єднаний з приводним валом 6, які проходять через центр барабана 7 і мають на своєму верхньому кінці траверсу 8 з кронштейнами 9 з кріпленнями 10 для зразків. До столу 1 одним кінцем жорстко закріплена штанга 11 з тензометричним датчиком 12, а інший кінець штанги 11 виконаний з можливістю взаємодії з барабаном 7, під днищем барабана 7 встановлені електромагніти 13, а в якості абразивного матеріалу в барабан 7 засипають феромагнітний матеріал 14. У кріпленнях 10 встановлені випробовуваний зразок 15 і еталонний 16, до робочого столу 1 кріпиться фотодіод 17.

Машина працює наступним чином. На валу 6, приводить в обертання електродвигуном 2 через редуктор 3, встановлюється барабан 7, вільно обертається на підшипниках (на рис. 3.3 не показано). Від обертання його утримує штанга 11 з наклеєним на ній тензометричним датчиком 12. У барабан 7 насипають імітатор ґрунту, в нашому випадку феромагнітний матеріал 14, в ньому на кронштейнах 9 за допомогою кріплення 10, на певній глибині встановлюють випробовуваний 15 і еталонний 16 зразки (рис . 3.3б).

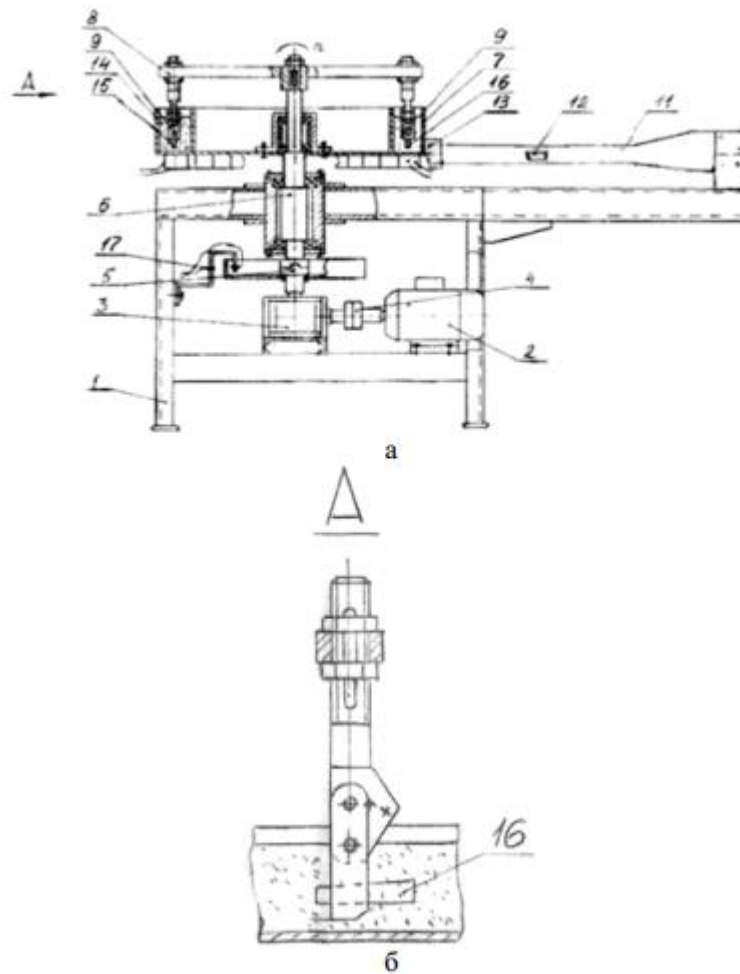


Рис. 3.3. Машина для випробування на абразивне зношування (а) і розташування зразка в імітаційному абразивному ґрунті (б)

Феромагнітний матеріал 14 по твердості вибирають рівним або більше ніж твердість наплавленого зразка.

Після виключення електродвигуна 2 приводиться в обертання траверса 8 з кронштейнами 9 із закріпленими зразками 15 та 16, які переміщуються в феромагнітному матеріалі 14.

Від обертання барабана 7, викликаного тертям зразків об абразивний матеріал, утримує штанга 11 з наклеєним на неї тензOMETричним датчиком 12, фіксує зусилля, яке відчувається зразками в залежності від стану абразивної маси. Питомий тиск регулюється електромагнітами 13, встановленими під барабаном. Фотодіод 17 реєструє кількість оборотів, що здійснюються зразками в барабані 7.



Пропонована машина для випробування на абразивне зношування гранично проста в конструктивному виконанні, а феромагнітний абразивний матеріал дозволяє максимально наблизити процес випробування зразків до умов їх роботи.

Відмінною особливістю даної машини є те, що для неї можна створити будь-який ґрунт за своїми фізико-механічними властивостями і по гранулометричному складу, яка максимально наблизатиметься до польових випробувань робочих органів, вивчати функціональні якості робочих органів, оптимізувати конструктивні параметри, оцінювати енергетичні показники.

Пропонована абразивний імітаційна маса для випробування робочих органів відрізняється від відомих тим, що з феромагнітними частинками в якості наповнювача містить сплав феромагнітного матеріалу з неферомагнітними твердосплавними металами або їх карбідами або боридами, а в якості феромагнітних частинок - залізний порошок (15-25%) і абразивний наповнювач (75-85%).

В якості наповнювача використовували подрібнений сплав залізного порошку 50-55% з боридами хрому 45-50%.

Для отримання абразивної імітаційної маси залізний порошок сплавляли з боридами хрому в графітовому тиглі (15 кг). Внаслідок взаємодії з тиглем сплав додатково насичується вуглецем. Для цього використовували високоякісний генератор ВЧГЗ- 160 / 0,066 як індукційну плавильну піч. Після кожної плавки відбирали проби для визначення твердості отриманого сплаву, вибрали той, який відповідав твердості кварцового піску (1050–1150 кг / мм<sup>2</sup>), при цьому хімічний склад сплаву наступний: 45% борид хром, 55% залізний порошок, їх твердість відповідала 1100- 1200 кг / мм<sup>2</sup>.

Для додання складу наповнювача магнітних властивостей розплав рідкого сплаву виливали в підігріті виливниці до 500-600°C тонким шаром 1,5 мм і повільно охолоджували так, щоб утворилася  $\alpha$ - фаза. Потім пластини твердого сплаву дробили і просівали на ситах 0,2; 0,315.

Порошок сплаву наповнювача змішували з залізним порошком в співвідношенні: наповнювач - 75-85%, залізний порошок - 15-25%. Зменшення наповнювача менше 75% призводило до зменшення зношується здатності імітатора ґрунту, а збільшення - підвищувало, що в сукупності відповідало типу ґрунту, що містить в своєму складі 75-78% зношуючих складових (кварцовий пісок, глина).

Для визначення зношується здатності отриманого складу його висипали в чашу, в якій були встановлені зразки (50×80×8), один - з обпаленої сталі 65 кг (180-200 кг / мм<sup>2</sup>), а другий - наплавленим індукційним наплавленим сплавом ПС-14-80 (700-780 кг / мм<sup>2</sup>). Потім протягом 4 год зразки переміщали в абразивну масу (імітаторі ґрунту), змінюючи її щільність за допомогою електромагнітів.

Відносна зносостійкість по втраті ваги випробовуваного наплавленого зразка складала  $\varepsilon = 2,15$ .

Другий склад, що містить 85% кварцового піску (1150 кг / мм<sup>2</sup>) і 15% вапняку (180 кг / мм<sup>2</sup>), вводили в чашу зі зразками і протягом цього ж часу піддавали зношування, що відповідає типу ґрунту з вказаною кількістю зношеного компонента.

Відносна зносостійкість по втраті ваги в кварцовому піску 2,52 + вапняк складала  $\varepsilon = 2,30$ .

Отримані результати знаходяться в межах похибки випробувань, імітатор ґрунту містить в своєму складі більшу кількість зерен з гострими гранями, цим можна пояснити велику його зношувальну здатність.

Абразивний знос робочих органів призводить до зміни їх геометричних розмірів, відповідно, до збільшення тягового опору і погіршення агротехнічних показників. Основними критеріями зносостійкості робочих органів є утворення зворотної фаски (рис. 3.4), яка утворюється при затупленні кромки леза. Величина затуплення характеризується шириною фаски отворюючи негативний кут -  $\varepsilon (A_{\max})$ .

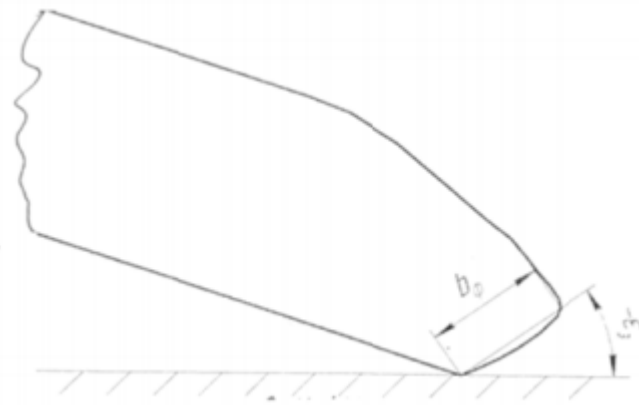


Рис. 3.4. Схема затуплення леза робочого органу

При експлуатації робочого органу його технологічні параметри повинні забезпечувати процес самозагострювання для забезпечення виконання агротехнічних вимог. Процес зношування самозагострювання робочого органу схематично показаний на рисунку 3.5.

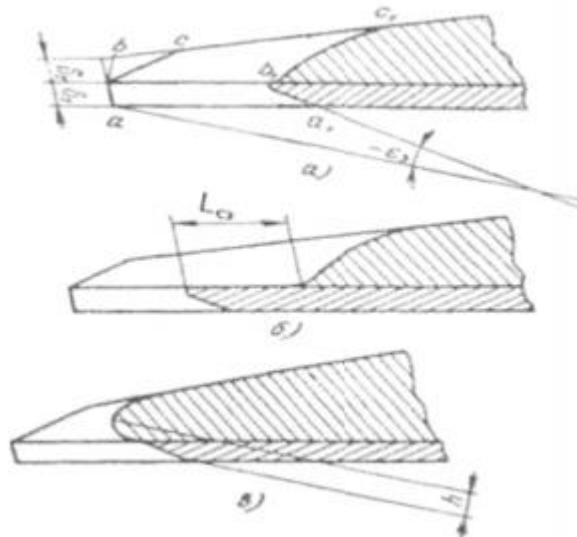


Рис. 3.5. Схема зносу біметалічного самозагострювального леза

При нормальному самозагострюванні обрис нового леза  $a\ b\ c$  після обробки певної кількості гектарів приймає форму  $a_1\ b_1\ c_1$ . При цьому у нижнього зносостійкого леза утворюється фаска  $a_1\ b_1$ , що складає з дном борозни кут  $-\epsilon \approx 12^\circ$ . Ця фаска, так само як і зворотна фаска монометалевого леза ущільнює ґрунт на дні борозни. Однак її розміри невеликі і не можуть суттєво погіршити стійкості ходу робочого органу по глибині і сильно ущільнити дно борозни, так як товщина  $\delta_1$  твердого шару леза дорівнює всього 0,5-1,2 мм. Передня грань  $b$  з верхнього шару, що забезпечує міцність леза,

приймає криволінійний обрис  $b_1 c_1$ . У міру подальшого зношування леза його профіль, не змінюючи обриси зміщується вздовж лінії  $b b_1$ . Такий профіль називають стабілізованим.

На рисунку 3.5б зображено перетин біметалічного леза, схильного до надмірного самозагострювання. Знос верхнього шару відбувається швидше ніж нижнього, тому довжина  $L_{сз}$  консольної частини нижнього шару (кромки самозагострювання) збільшується. Кінцевий результат цього виду зносу - викришування і поломка нижнього твердого та крихкого шару. Такий знос виникає при недостатній товщині при занадто малій зносостійкості верхнього шару леза.

Причинами відсутності самозагострюваності (рис. 3.5в) можуть бути зайва товщина і зносостійкість верхнього шару леза. При цьому висота  $h$  виявляється більше гранично допустимої і робочий орган втрачає стійкість ходу по глибині. Через швидке викришування нижнього твердого шару біметалевих лез самозагострювання лапи не можна застосовувати для обробки кам'янистих ґрунтів. Надмірно самозагострювані біметалічні леза непридатні і для обробки піщаних і супіщаних ґрунтів. Однак при обробці твердих суглинних і глинистих ґрунтів, що не мають кам'янистих включень, застосування самозагострювальних лап дуже ефективно: безремонтний термін їх служби в 3-5 разів перевищує термін служби монометалевих лез.

При переміщенні гострого леза в ґрунті, коли радіус сполучення пересічних площин клину мізерно малий воно при зустрічі з твердими частинками ґрунту відчуває великий тиск. В результаті відбувається зминання кромки і її округлення і триває до тих пір, поки цей процес не стабілізується, що визначається властивостями ґрунту і матеріалом робочого органу.

При абразивному зношуванні відносна зносостійкість матеріалів є постійною величиною, що залежить від механічних властивостей матеріалів. Однак в реальних умовах абразивного зношування в ґрунті відносна зносостійкість матеріалів виявляється величиною змінною. Тому

експериментальну оцінку абразивної зносостійкості матеріалів слід здійснювати з дотриманням умов фізичного моделювання реальних процесів зношування, з огляду на можливість зміни кількісних характеристик зносостійкості.

Встановлені на сівалки експериментальні робочі органи були пронумеровані на тильній стороні крила лапи, зважені і визначена їх твердість по Роквеллу. Кожній лапі присвоювався індивідуальний номер, відповідно до їх номерів вони були розташовані на сівалці за схемою (рис. 3.6).

З урахуванням того, що отримання первинної інформації про зношуванні робочих органів сівалки здійснювалось в польових умовах, основна увага при розробці методики оцінки зносу лап приділялася зменшенню похибки вимірювань. Тому по ширині найбільш переважно пряме вимірювання вимірювальним інструментом. З урахуванням досвіду, накопиченого при проведенні вимірювань в 2018-2019 рр., було вирішено для вивчення динаміки зміни ширини лапи і профілю леза формувати зліпки з гіпсу на крилах лап, які в подальшому обробляти в лабораторних умовах.

Тому фіксували не тільки товщину леза на певній відстані від кромки, а й зміну товщини вихідного профілю по всій ширині крила. Для вивчення динаміки зміни форми леза проводили вимірювання товщини леза на відстані 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 і 15-20 мм.

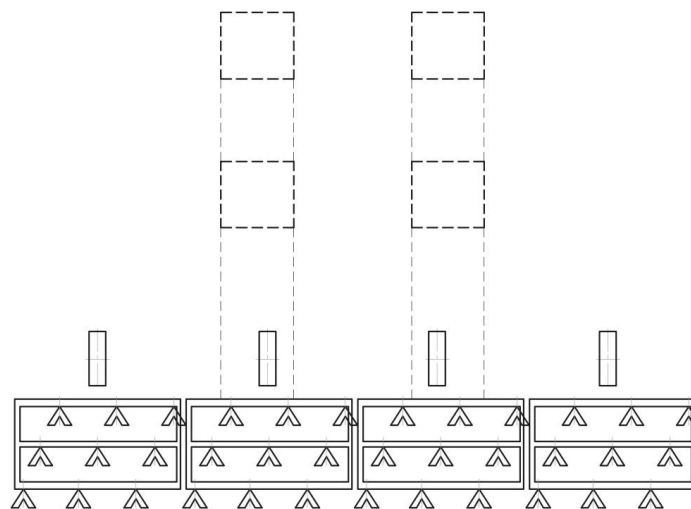


Рис. 3.6. Схема розстановки лап: зчіпка (К-700А + 4СЗС-2,1)

Були створені пристосування, що дозволяють забезпечувати оперативне виготовлення в польових умовах зліпків. До їх складу входить набір елементів, які в зборі встановлюються на крило лапи і здійснюють зліпки в формі прямокутного паралелепіпеда з прорізом, що має форму профілю леза лапи (рис. 3.7).

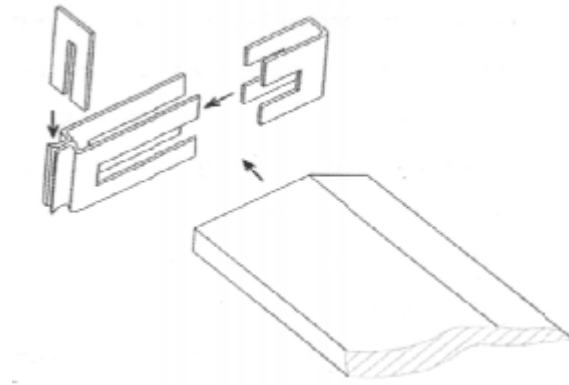


Рис. 3.7. Пристосування для виготовлення зліпків з леза лапи

У зв'язку з нерівномірністю товщини леза на різних ділянках лапи формували зліпки в суворо визначених місцях за схемою представленою на рисунку 3.8.

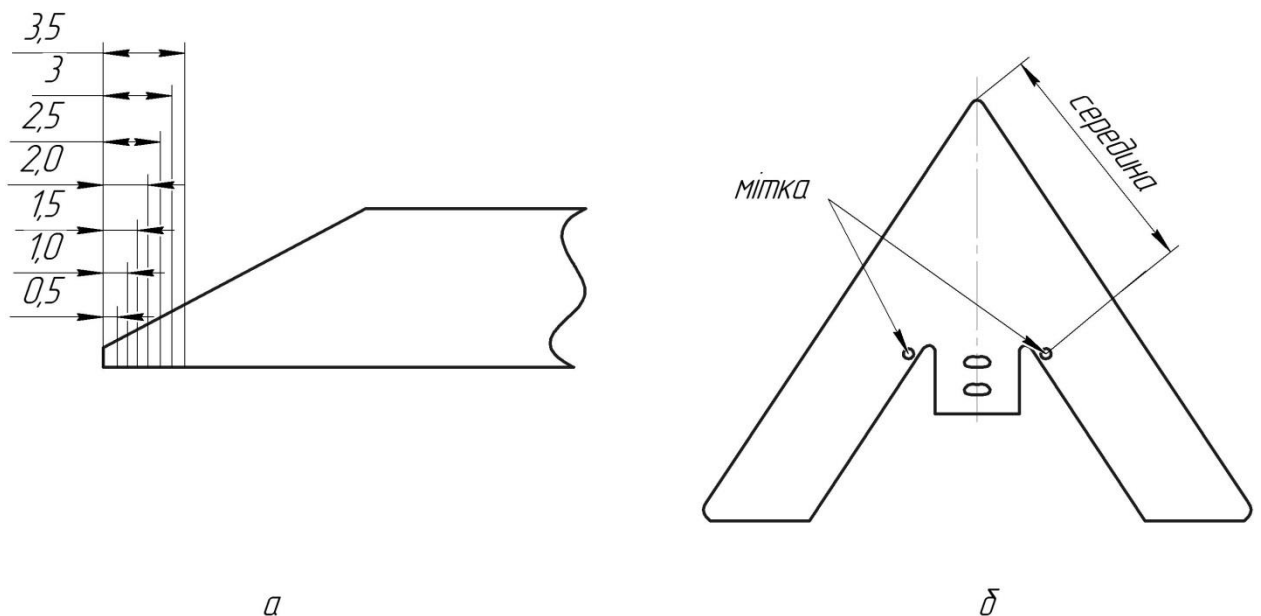


Рис. 3.8. Схема розташування точок вимірювання товщини леза: а - від робочої кромки; б – від носка лапи.

Процес формування зліпків здійснювався в наступній послідовності. Форма встановлювалася на крило лапи і притискалася за допомогою великого

канцелярського затиску, щоб уникнути випадкового зсуву. Після чого в спеціальній ємності готуємо пастоподібну гіпсову масу, що складається з будівельного гіпсу марки Г5 і води. Отримана маса щільно укладалася (залитася) в форму.

Подібна операція повторювалася для кожного крила лапи. Після закінчення формування всіх зліпків дотримувалися технологічна пауза 8-15 хв. для затвердіння гіпсу. Потім ударом молоточка по верхній частині зліпка останній розколювався на дві частини, кожна з яких підписувалася простим олівцем, напис містила інформацію про напрацювання і номері лапи. Отримані частинки зліпків вкладалися в картонну тару і надалі в лабораторії висушувалися протягом 48 год при температурі 28-33°C. Висушені частинки склеювалися силікатним клеєм і повторно висушувалися протягом 15 год при кімнатній температурі. Отримані зліпки розпилювали ножівкою по металу уздовж площини перпендикулярної поверхні крила лапи. Далі поверхню розпилу шліфувалася на абразивному папері до отримання чітких країв і після шліфування підписувалася. Відшліфовані і підписані відбитки укладалася на поверхню сканера Genius Color Page Slim 1200. Далі відскановані зображення з профілем крила лапи оброблялися комп'ютерним способом в програмі КОМПАС-V 16.

Для контролю зміни ширини крил лап і лінійного зносу їх носка був виготовлений спеціальний планшет, на який закріплювався індивідуальний бланк для кожної дослідної лапи. На бланках з допомогою чертилки фіксувалися обриси лапи в динаміці.

Параметри профілю леза визначалися по відсканованому зображенню гіпсового зліпка на яке в програмі КОМПАС-V16 накладається сітка. За сітці визначалися координати характерних точок профілю, вимірювався кут нахилу і ширина фаски. Отримані координати вписувалися в таблиці Microsoft Excel, де розраховувалися середні величини товщини леза, ширини крила кута нахилу фаски до дна борозни, ширини фаски і ін.

Таким чином, маючи на гіпсовому зліпку повний профіль леза, стало можливо не тільки вимірювання товщину леза, але і визначити зміни ширини крила.

Оцінка вагового зносу робочих органів проводилася за різницею між масою нових лап і масою зношених лап після закінчення посівних робіт. Дані пройшли комп'ютерну обробку для отримання середніх значень і відомостей в табличній формі (табл. 3.1-3.3).

Для визначення динаміки зносу робочих органів сівалок СЗС-2.1 проводили дослідження інтенсивності зношування леза досліджуваних лап по товщині (ріжучої кромки), а також по ширині робочих граней.

Для дослідження були взяті 10 експериментальних лап (сталь 65Г) з нижнім наплавленням леза твердим сплавом (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Твердість і маса експериментальних лап

№ п/п	№ лапы	Середнє значення твердості в HRCэ		Маса лап до посіву, г
		основний метал	наплавлений шар	
1	0	21-23	50-53	1050
2	00	22-27	51-53	1072
3	1	23-25	50-53	1080
4	11	19-22	50-59	1072
5	3	25-29	51-53	1076
6	33	25-29	50-55	1100
7	5	25-29	52-55	1082
8	55	40-43	50-54	1084
9	8	20-24	50-53	1094
10	88	19-21	50-54	1064

Наплавляли індукційним наплавленням лапи з нижньої сторони і встановили на той же агрегат на праве крило сівалок (рис. 3.6). Склад



наплавляючої шихти включав в себе 8% карбиду бору + 8% флюсу і 84% твердого сплаву ПГ-С27.

Результат польових вимірювань наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Твердість і маса експериментальних лап

№ п/п	№ лапи	Середнє значення твердості в HRC <sub>э</sub>		Маса лап до посіву, г
		основний метал	наплавлений шар	
1	7	22-24	65-69	1062
2	9	25-28	67-70	1071
3	13	21-27	67-69	1070
4	15	20-25	67-70	1100
5	17	24-29	66-70	1072
6	21	23-28	68-70	1082
7	34	25-27	66-70	1084
8	35	26-29	68-71	1082
9	19	27-29	67-69	1091
10	2	24-29	66-68	1064

Мікрошліф з лезом лап вирізали в поперечному перерізі напавленої ділянки.

Внаслідок різного хімічного складу біметалу процес травлення здійснювали різними способами, так як взаємодія металу і сплаву відбувається по-різному. Однаковою мірою травлення досягали шляхом двоступеневого травлення.

Для виявлення структури твердого сплаву виконували електролітичне травлення шліфа в 10%-ному водному розчині хромового ангідриду з добавкою декількох крапель сірчаної кислоти. Потім виконували друге травлення (на основний метал) в звичайному 4% -ному спиртовому розчині азотної кислоти.

Дослідження проводили на металографічних мікроскопах МИМ-8 при збільшеннях 100-600 і Niofot, мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3 з навантаженням 100 г.

Таблиця 3.3 – Середній агрегатний склад ґрунту в шарі 0-10 см.

Розмір фракції, мм	> 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	> 0,001	$\sum > 0,01$
Кількість фракції,  % на абсолютно суху навіску	0,9	75,4	9,5	2,0	4,9	7,3	14,2

Результати дослідження зміни товщини леза і зростання лінійного зносу по вазі лап, отримані в результаті випробувань, наведені в таблицях 3.4 і 3.5.

Таблиця 3.4 – Характеристики лінійного і масового зносу лап

Переміщення лапи	№ лапи	Питома напрацювання, га	Лінійний знос крила лапи, мм	Лінійний знос носка лапи, мм	Знос по вазі, г
По сліду трактора	3	32,61	9,6	42,0	288
	33	32,61	6,2	39,2	266
	11	32,11	6,4	59,2	334
	8	24,06	12,7	52,2	370
Усереднена оброблювальна площа	-	-	8,7	48,2	314,5
Не в слід сторона	0	29,58	6,2	16,3	152
	1	13,56	-	-	-
	00	29,58	7,3	-	316
	5	5,00	-	-	-
	55	29,58	6,2	32,7	188
	88	23,42	4,6	49,3	270
Усереднена оброблювальна площа	-	-	6,1	32,8	231,5

З даних табл. 3.4 випливає, що лінійний знос носка лапи в середньому в 5,5 разів інтенсивніше лінійного зносу крила лапи. Це пов'язано з тим, що носок лапи в процесі обробки ґрунту стикається з недеформованим ґрунтом, а крило -

з надламаним носком пласта ґрунту. Рух носка в недеформованому ґрунті характеризується швидким зношуванням усталеної зони, а далі інтенсивним зношуванням незміцненої основи робочого органу. В результаті такого характеру зношування вже після напрацювання (що припадає на одну лапу) 15-20 га обрис її форми приймає вигляд трапеції (рис. 4.11).

Порівнюючи ділянки по сліду (середня щільність ґрунту  $1,40 \text{ кг/см}^3$ ) і поза слідом трактора (середня щільність ґрунту  $1,26 \text{ кг/см}^3$ ), можна відзначити, що лінійний знос крила, носка і масовий знос лап по сліду трактора в 1,4-1,6 рази інтенсивніше (табл. 3.4).



Рис. 3.9. Вид експериментальних лап після напрацювання 15-20 га

Середні чисельні значення геометричних параметрів лап встановлених по сліду трактора і поза слідом розглянуті в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Середні значення характеристик зносу лап в динаміці

Оброблювана площа	Питома напрацювання, га	Лінійний знос крила лапи, мм	Лінійний знос носка лапи, мм	Радіус самозагос. кромки, мм	Длина самозагос. кромки	Ширина зворотньої фаски, мм
По сліду трактора	3,03	1,3	1,7	0,32	0,44	1,77
	8,36	2,4	6,8	0,37	0,95	1,26
	12,61	2,8	15,4	0,30	1,32	1,11
	16,58	3,5	21,4	0,40	1,49	0,92
	32,61	7,8	46,8	0,42	1,07	1,55
Не в слід трактора	5,33	0,6	1,2	0,33	0,13	2,03
	9,58	1,1	1,6	0,28	0,39	1,58
	13,56	1,8	4,8	0,32	0,51	1,35
	29,58	5,9	24,5	0,28	1,03	1,37

Числові характеристики зазначені в таблицях 3.4 і 3.5, графічно відображені на малюнках 3.10, під графіками розташовані теоретичні залежності величин.

На рисунку 3.10 показана залежність лінійного зносу носка лапи від напрацювання. З отриманих даних випливає, що початковий період зношування лап, що йдуть по сліду трактора, має більш динамічний характер, і вся крива дуже близька до лінійної залежності, а лінійний знос носка лап, що йдуть по більш щільному ґрунті, в початковий період, має більш затяжний характер, що на графіку відображено плавним підйомом кривої, що має увігнутий характер. Порівнюючи криві ділянок зношування, слід зазначити, що вони розташовуються паралельно на деякій відстані один від одного, що показує, як впливає ущільнення ґрунту на знос робочого органу.

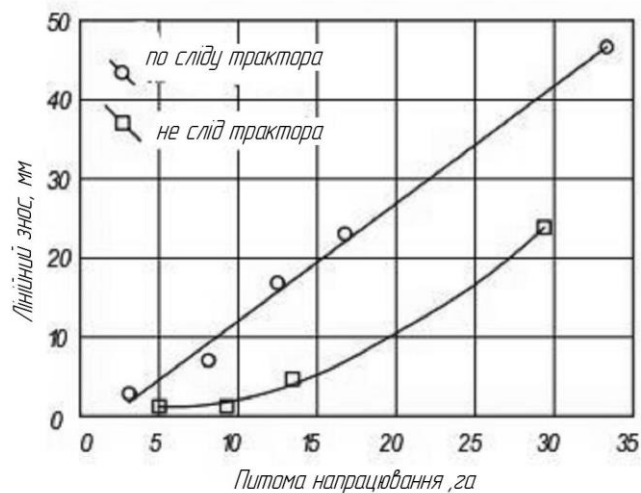


Рис. 3.10. Залежність лінійного зносу носка лапи від напрацювання

$$U_{сл} = -3,2304 + 1,3654N_{уд} + 0,0053N_{уд}^2 \quad (3.1)$$

$$U_{вне} = 1,2117 - 0,2286N_{уд} + 0,0344 N_{уд}^2 \quad (3.2)$$

Характер лінійного зношування ножа лап по сліду і поза сліду трактора подібний на всій ділянці зношування і відрізняється на 10-15%, відповідно, криві розташовані практично паралельно при індукційної (рис. 3.10). Однак різниця зносу при боруванні в порівнянні з індукційним наплавленням зменшується в 2,5-3,5 рази.

### **Висновки по розділу 3**

Необхідно відзначити, що лапи сівалки СЗС-2.1 з нижнім наплавленням твердим сплавом досить стійкі до зносу крил. Знос крил досить рівномірний і за величиною невеликий (якщо не враховувати сколювання кромки), але знос на останньому вимірі дуже великий (трикутний обрис лап набуває форму трапеції).

Сколювання кромки леза і носка пов'язано в основному з низькою твердістю основного металу. Також в процесі відстеження зношування лап було помічено, що відбувається надмірне самозагострювання. Воно більше спостерігається на носках лап, і його величина поступово знижується в міру віддалення від носка уздовж крила.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених випробувань (стрілчастих лап СЗС-2.1) отримані дані, які виявили можливість підвищити зносостійкість робочих органів в 1,5-2,0 рази на різних ґрунтах, шляхом коригування технологічного процесу індукційного наплавлення.

Дослідження, проведені в 2019-2020 рр., показали, що характер зношування робочих органів сівалок СЗС-2.1 залежить від щільності оброблюваного ґрунту, вихідних геометричних параметрів, а також від характеру зміцнення носка і крила лапи. Результати показують відмінність в лінійному зносі і загостренні лез лап йдуть по сліду рушіїв трактора і поза цим слідом. Велика нерівномірність зношування також залежить від наявності на полях зі стерньових фонем ущільнених слідів від проходу восени комбайнів.

Відзначено також, що при роботі наплавлених індукційним наплавленням лап радіус кромки леза практично не залежить від щільності ґрунту і напрацювання.

Результатами досліджень виявлено існування резерву підвищення зносостійкості робочих органів і можливості збільшення ресурсу до 50...60 га на одну лапу шляхом збільшення твердості основного металу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черновол М.И. и др. Повышения качества восстановления деталей машин. Киев : Техника, 1989. 367 с.
2. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности сельскохозяйственных машин. Москва : Машиностроение, 1971. 297 с.
3. Черновол М.И. Упрочнение деталей машин композиционными покрытиями . *AFES2005 Proceeding. The sixth international scientific forum aims for future of engineering science. – march 23-30. 2005. Hong-Kong.* P. 86-91.
4. Чернец М.В. Трибомеханика. Триботехника. Триботехнологии. В 3-х томах. Т.2. Триботехнологии. Николаев : Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2008. Кн. 1. - 212 с; Кн.2. 304с.
5. Фёдоров В. В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твёрдых тел. Ташкент : НАУКА, 1979. 186с.
6. Поляков А. А. Трение на основе самоорганизации. Москва : Наука, 1992. 135 с.
7. Лоренц В. Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин / В.Ф. Лоренц Москва : Машгиз, 1948. 100 с.
8. Крагельский И. В. Трение и знос. Москва : Машиностроение, 1968. 480 с.
9. Костецкий Б. И. Качество поверхности и трение в машинах. Киев : Техніка, 1969. 215 с.
10. Качинский П. А. Почва ее свойства и жизнь. Москва : Наука, 1975. 295 с.
11. Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники. –Москва : Колос, 1974. 376 с.
12. Дворук В. І. Фізико-математичне моделювання трибосистеми «робочий орган-ґрунт». *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. 2015, № 3 С. 78-82.
13. Тененбаум М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию. Москва : Машиностроение, 1976. 271 с.

14. Бойко А.И. Исследование формы естественного износа монометаллических лезвий почвообрабатывающих машин / А.И. Бойко, А.В. Балабуха // *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2000. Вип. 6. С.78-82.

15. Аулін В. В. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2005. Вип. 35. С. 153-157.

16. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов 2-е изд. переработ. и доп. / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. Москва : Машиностроение, 2001. 664с.

17. Левин С. В. Механика грунтов. / Москва : Недра, 1964. 164 с.

18. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / за ред. Д.Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.