

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**  
до дипломної роботи  
освітнього ступеня "Магістр" на тему:  
**Підвищення ефективності використання шліфувальних кругів  
для відновлення деталей сільськогосподарської техніки**

**Виконала:** студентка 2 курсу, групи МГАІз-1-23  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Музичка Діана Геннадіївна

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Лупко Кристина Олегівна

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем  
Освітній ступінь: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«11» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Музичці Діані Геннадіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності використання шліфувальних кругів для відновлення деталей сільськогосподарської техніки

керівник роботи Лупко Кристина Олегівна, доктор філософії

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

затвердені наказом вищого навчального закладу від

«11» листопада 2024 року № 3769

2. Строк подання студентом роботи 16.12.2024 року

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання відновлення різальної здатності робочих органів сільськогосподарської техніки та ефективності існуючих методів їх заточування. Аналіз літературних джерел останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний огляд стану проблеми. 2. Методика експериментальних досліджень процесу обробки. 3. Дослідження працездатності шліфувальних кругів з КНБ. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність процесу шліфування та розробка рекомендацій щодо використання шліфувального інструменту. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень (2 аркуша, А4). 2. Стан і напрями досліджень (2 аркуша, А4). 3. Методика експериментальних дослідження (3 аркуша, А4). 4. Експериментальні дослідження (3 аркуша, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Лупко К. О., старший викладач	12.11.2024	09.12.2024
Нормоконтроль	Івлєв В. В., доцент	06.12.2024	09.12.2024

7. Дата видачі завдання: 11 листопада 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний	до 01.10.2024 р	виконано
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р	виконано
3	Експериментальний	до 09.11.2024 р	виконано
4	Охорона праці	до 19.11.2024 р	виконано
5	Економічний	до 26.11.2024 р	виконано
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2024 р	виконано

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Музичка Д. Г.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Лупко К. О.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Музичка Д.Г. Підвищення ефективності використання шліфувальних кругів для відновлення деталей сільськогосподарської техніки. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У представленій роботі проведено комплексне дослідження підвищення ефективності використання шліфувальних кругів з КНБ для відновлення деталей сільськогосподарської техніки, що виготовлені зі швидкорізальної сталі Р18. У розділі 1 приведено аналіз стану питання забезпечення оптимальних геометричних форм, розмірів та якості поверхонь різальних елементів робочих органів сільськогосподарської техніки, що виготовляються зі швидкорізальної сталі, шляхом їх заточування шліфувальними кругами з КНБ. У розділі 2 приведено обґрунтування критеріїв роботи шліфувального інструменту та описано методику експериментальних досліджень впливу режимів різання на показники працездатності круга та якості обробленої поверхні. Розділ 3 містить результати досліджень впливу режимів різання на показники працездатності круга та якості обробленої поверхні за отриманими комплексними залежностями. Питання охорони праці на робочому місці заточувальника висвітлені у розділі 4. Розрахунки економічної ефективності використання шліфувального круга з КНБ при обробці швидкорізальної сталі Р18 у досліджуваному діапазоні продуктивностей представлено у розділі 5. На підставі отриманих даних приведено рекомендації щодо ефективного використання шліфувальних кругів з КНБ.

**Ключові слова:** різальні елементи, робочий орган, заточування, процес шліфування, режими різання, шліфувальний круг, параметри, ефективність.

**Апробація.** Музичка Д.Г. (2024). Дослідження працездатності шліфувальних кругів з КНБ при обробці сталі Р18. Збірник тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу» (15 листопада 2024 р.). Частина 1. Інжиніринг технічних систем агропромислового виробництва. Дніпро. ДДАЕУ, 167–169.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ.....	9
1.1 Аналіз досліджень робочих органів сільськогосподарської техніки різальні елементи яких потребують заточування (переточування).....	9
1.2 Аналіз методів відновлення деталей машин.....	11
1.3 Аналіз експлуатаційних показників шліфувальних кругів при обробці швидкорізальних сталей.....	13
Висновки до розділу 1.....	16
2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ.....	18
2.1 Вибір та обґрунтування критеріїв роботи шліфувального інструменту.....	18
2.2 Умови проведення експериментів, обладнання, інструмент, матеріали.....	20
2.3 Вибір математичного забезпечення для вирішення поставлених завдань.....	26
Висновки до розділу 2.....	28
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ.....	29
3.1 Вплив режимів різання на показники працездатності шліфувальних кругів.....	29
3.2 Вплив режимів різання на показники якості оброблюваної поверхні.....	34
Висновки до розділу 3.....	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	41
5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ.....	44
Висновки до розділу 4.....	47
ВИСНОВКИ.....	48
БІБЛІОГРАФІЯ.....	50
Додатки .....	57

## ВСТУП

Агропромисловий комплекс є одним з найбільших секторів української економіки, який не тільки забезпечує продовольчу безпеку країни, а й є значним джерелом валютних надходжень завдяки експорту сільськогосподарської продукції. У цій галузі використовується техніка як вітчизняного, так і закордонного виробництва, ефективне функціонування якої безперечно пов'язане з надійністю кожної складової частини. Від стану деталей та якості з'єднань залежить як продуктивність, так і безпека роботи техніки. Тому проблема забезпечення необхідної довговічності техніки в агропромисловому секторі завжди залишається актуальною.

Багато видів сільськогосподарської техніки мають робочі органи, що обладнані різальними елементами, від оптимальної геометричної форми та розмірів яких залежить їх ефективне використання та які з часом тупляться і потребують переточування: ножі жаток зернозбиральних і кормозбиральних комбайнах, ножі подрібнювачів (соломи, трави, рослинних залишків), різці для ґрунтообробної техніки (наприклад, для плугів або глибокорозпушувачів), сошники та багато інших деталей. Їх регулярне обслуговування та своєчасне заточування продовжують термін їх служби і забезпечують якісну роботу техніки.

Одним з матеріалів, з якого виготовлені різальні елементи, є швидкорізальна сталь Р18. Для заточування (шліфування) швидкорізальних інструментальних сталей переважно застосовується шліфувальний інструмент з кубічного нітриду бору (КНБ) [1]. Підвищити ефективність шліфування інструментальних матеріалів можна лише за умови забезпечення стабільних і прогнозованих умов взаємодії шліфувального інструменту з оброблюваним матеріалом, зберігаючи при цьому високу працездатність кругів. У зв'язку з цим, дослідження, спрямовані на підвищення ефективності використання шліфувальних кругів для відновлення деталей сільськогосподарської техніки, є актуальними.

*Метою роботи є підвищення ефективності використання шліфувальних кругів з КНБ на полімерній зв'язці для відновлення деталей*

сільськогосподарської техніки зі швидкорізальної сталі Р18 шляхом дослідження їх працездатності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

1. Проаналізувати конструкції робочих органів сільськогосподарської техніки, що оснащені різальними елементами, та встановити параметри, що впливають на ефективність їх використання, та визначити шляхи забезпечення їх працездатності.

2. Розробити методику та провести експериментальні дослідження впливу режимів обробки на показники ефективності шліфувального круга.

3. Провести дослідно-теоретичну перевірку ефективності розробок та надати рекомендації щодо практичного застосування шліфувальних кругів з КНБ при обробці швидкорізальної сталі.

*Об'єкт дослідження* – процес шліфування кугами з КНБ швидкорізальних сталей.

*Предмет дослідження* – підвищення ефективності шліфування швидкорізальних сталей на основі цілеспрямованого впливу режимів різання на показники працездатності шліфувальних кругів та якості оброблюваних поверхонь.

*Методи дослідження.* Експериментальні дослідження, на основі яких встановлювалися залежності показників працездатності шліфувального інструменту та якості оброблюваних поверхонь за рахунок зміни режимів різання, виконані з використанням теорії планування експерименту та із залученням стандартних методів профілометрії, оптичної та електронної мікроскопії, реалізованих у вигляді експериментального стенда на базі універсально-заточувального верстата мод. 3Д642Е.



## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ

### 1.1 Аналіз досліджень робочих органів сільськогосподарської техніки, різальні елементи яких потребують заточування (переточування)

Існує велике різноманіття сільськогосподарських машин і знарядь, робочі органи яких оснащені різальними елементами. Ці машини застосовуються у різних галузях агропромислового комплексу, наприклад: машини та знаряддя для обробки ґрунту; машини для заготівлі та приготування кормів; машини для збирання коренебульбоплодів; машини для підготовки та внесення добрив; машини для хімічного захисту рослин; посівні та садильні машини та інші.

Усі вони відрізняються за конструкцією, призначенням та іншими ознаками, проте мають одну спільну рису – для забезпечення ефективної роботи сільгоспмашин, підвищення якості виконаних робіт та зменшення витрат на експлуатацію різальні елементи їх робочих органів потребують оптимальних геометричних форм, розмірів та якості поверхонь, дослідженням яких присвячено багато праць науковців. Серед них є роботи, автори яких приділяють увагу дослідженням кутів заточування різальних лез робочих органів, оскільки вони є одним з найважливіших параметрів, що впливають на ефективність роботи сільськогосподарської техніки.

Найбільша кількість досліджень геометричних параметрів різальних лез робочих органів, що впливають на показники ефективності роботи, та умов їх роботи виконано для групи машин для обробки ґрунту. Серед них найбільш досліджуваними є лапи культиваторів [4–10] та ножі і лемеші розпушувачів та ґрунтообробних машин [11–15] різної конфігурації, робочі органи типу фрези [16–19], дискові робочі органи ґрунтообробних машин [20–21], скоби плугів [22].

Серед досліджень інших груп сільськогосподарської техніки можна привести наступні:

– машини для заготівлі кормів: заточування ножів машин для подрібнення і змішування кормів, кормоагрегату [23–25];

– машини для приготування кормів: заточування ножів подрібнювачів коренеплодів [27, 28] та рослинних решток [29], бітерно-ножового апарату для подрібнення трав'яної маси [26], блочно-порційного відокремлювача консервованих кормів [30];

– машини для збирання коренебульбоплодів: заточування лемешів віброкопачів бурякозбиральних машин [31] та навісних коренезбиральних пристроїв [32], дисків дискових копачів бурякозбиральних машин [33];

– посівні та садильні машини: заточування дисків сошників зернових сівалок [34, 35].

Узагальнюючи ці праці, можна стверджувати, що незважаючи на велике різноманіття конструкцій та галузі їх використання, різальні елементи повинні мати оптимальну геометрію та заточуватися під певними кутами, значення яких залежать від умов роботи та визначені теоретичним або експериментальним шляхами. Правильно підібрані кути забезпечують:

– оптимальну силу різання: занадто гострі кути можуть призвести до швидкого зношування леза, а занадто тупі – до збільшення опору і зниження продуктивності;

– якість зрізу: правильно заточене лезо забезпечує чистий і рівномірний зріз, що важливо для багатьох агротехнічних операцій;

– мінімальне пошкодження рослин: неправильний кут заточування може призвести до пошкодження рослин, що негативно впливає на їхній ріст і розвиток;

– зменшення енерговитрат: оптимальні кути заточування дозволяють знизити опір при роботі, що призводить до зменшення витрат палива.

Авторами праць [4–6, 13, 18] встановлено, що не лише чисельні значення кутів заточування різальних елементів мають важливе значення, а й способи їх

заточування (нижнє, верхнє та комбіноване) та форми заточування (однобічне та двобічне; внутрішнє та зовнішнє) [16, 20, 21].

Зношування робочих органів сільськогосподарських машин є неминучим процесом, що обумовлено складними умовами їх експлуатації. Основними причини цього явища є наступні фактори: фізичні (абразивне, адгезійне та втомне зношування), хімічні (корозія), термічні (термічне стомлення) та інші (недостатнє змащування, неправильна експлуатація, низька якість металу). Наслідками зношування робочих органів є: зниження продуктивності машини, погіршення якості обробки, збільшення витрати палива, скорочення терміну служби машини. Різальні елементи таких робочих органів підлягають періодичному переточуванню.

Таким чином, процес заточування різальних лез робочих органів відіграє велику роль у забезпеченні працездатності та ефективності сільськогосподарської техніки, а операції заточування (шліфування) є невід'ємною частиною технологічного процесу виготовлення або відновлення різальних елементів.

## **1.2 Аналіз методів відновлення деталей машин**

Сільськогосподарська техніка є невід'ємною частиною сучасного агропромислового комплексу. Її ефективна експлуатація безпосередньо впливає на врожайність та рентабельність сільськогосподарських підприємств. Однак, інтенсивна експлуатація в складних умовах призводить до зношування деталей, що вимагає їхнього відновлення або заміни.

Крім того, аналізуючи стан питання щодо відновлення працездатності техніки агропромислового комплексу, автори [36] звертають увагу на тенденцію зниження якості деталей, що розвивається останнім часом. Вони пояснюють це тим, що «за їхнє виготовлення і відновлення наразі взялися підприємства, які досі цим не займалися. Тож часто технологія виробництва не відповідає встановленим нормативам, як наслідок — змінюються геометричні

параметри деталей та їхні фізико-механічні властивості. Такі робочі органи не відповідають вимогам якості і не забезпечують номінального ресурсу роботи, отже, є ненадійними». Особливо це стосується робочих органів ґрунтообробної техніки, технічний стан яких має суттєвий вплив на урожайність сільськогосподарських культур [37]. Так, автор [38], аналізуючи якість сільськогосподарської техніки при поставці, вказує, що до виробничого недоліку відноситься неякісне заточування лез лап культиваторів.

Практика повторного використання сільськогосподарської техніки доводить, що відновлення зношених деталей є не лише технічно можливим, але й економічно вигідним рішенням. Це дозволяє значно скоротити витрати на придбання нових запчастин, адже відновлені деталі коштують у середньому на 50÷60% дешевше. При цьому за своїми експлуатаційними характеристиками вони часто не поступаються новим. Саме тому в розвинених країнах відновлені деталі набули значного поширення.

Існують різноманітні класифікації методів відновлення деталей [39, 40, 41]. Але найбільш повно, на наш погляд, її представлено авторами [42]. Згідно цієї класифікації:

а) для відновлення форми та розмірів деталей при їх зношуванні (зносі, спрацьовуванні) рекомендують методи з нанесенням шару матеріалу (нанесення полімерів, електроконтактного приварювання і напікання, електроіскрове нарощення, металізація, гальванічні покриття, наплавлення і напилення, постановка проміжних деталей) або без нанесення (наприклад, термічне зміцнення, пластичне деформування);

б) у разі необхідності відновлення форми і шорсткості деталі доцільно використовувати такі методи механічної обробки як слюсарна та електромеханічна;

в) для відновлення фізико-механічних властивостей матеріалу деталі рекомендовано застосовувати метод зміцнення;

г) відновлення деталі при деформації та руйнуваннях поверхонь можна здійснювати за двома напрямками: при відновленні форми застосовувати метод

пластичного деформування; а у разі необхідності відновлення цілісності і міцності – методи зварювання, заклеювання та приклеювання, паяння тощо;

д) методи ручного, механічного, термічного та електрохімічного очищення деталі пропонують при відкладенні бруду та при корозії.

Вибір методу відновлення залежить від наступних факторів: типу матеріалу деталі, ступеню зносу, геометричної форми деталі, вимог до міцності та зносостійкості відновленої поверхні, вартості відновлення.

Що стосується різальної здатності робочих органів, то відновлення геометричної форми та шорсткості лез можливе таким методом механічної обробки, як заточуванням, оскільки інші методи не забезпечують необхідної точності та шорсткості поверхонь лез.

### **1.3 Аналіз експлуатаційних показників шліфувальних кругів при обробці швидкорізальних сталей**

Як було зазначено вище, одним з матеріалів, з якого можуть бути виготовлені різальні елементи, є швидкорізальна сталь P18. Крім того, зі сталі P18 виготовляють й інші деталі сільськогосподарської техніки. Наприклад, деталі плунжерних пар паливної апаратури двигунів внутрішнього згорання (дизельних двигунів) [59, 60].

Перевагами виготовлення деталей із сталі P18 є: підвищена стійкість до зношування та деформації; збереження різальних властивостей при інтенсивній експлуатації; тривалий термін служби, що зменшує витрати на обслуговування та заміну. Хоча вартість виробів зі сталі P18 у порівнянні з іншими марками сталей вища, проте їхня довговічність робить їх оптимальним вибором для критично важливих деталей агротехнічного обладнання.

Інструменти зі швидкорізальної сталі заточують кругами з електрокорунду, монокорунду та КНБ. Зі зменшенням вмісту вольфраму та молібдену в сталях нормальної продуктивності при одночасному збільшенні вмісту ванадію їх шліфуємість кругами з електрокорунду погіршується. Карбіди ванадію, що

входять до складу сталей підвищеної продуктивності, мають той же самий порядок твердості, що й електрокорунд. Тому шліфуємість цих сталей нижча за шліфуємість сталей нормальної продуктивності і зі збільшенням вмісту ванадію погіршується. Як наслідок, спостерігається швидке зношування таких кругів, необхідність їх частого правлення і зниження продуктивності шліфування.

Круги з КНБ практично однаково добре обробляють усі групи швидкорізальних сталей, оскільки твердість кубоніту значно вища за твердість карбідів, що входять до складу цих сталей. Перевагою КНБ при обробці швидкорізальних сталей нормальної та підвищеної продуктивності є висока зносостійкість та продуктивність одночасно з малими витратами потужності та низькими температурами шліфування, що забезпечує високу якість поверхневого шару.

Істотним недоліком процесу шліфування кругами з КНБ є його висока вартість – їхня ціна значно перевищує вартість кругів з інших абразивних матеріалів, таких як електрокорунд чи карбід кремнію. Тому питання підвищення ефективності використання кубонітових кругів шляхом призначення раціональних режимів різання для певних умов обробки є важливим.

На теперішній час у більшості випадків при проектуванні шліфувальних операцій характеристику кругів та режими різання обирають за рекомендаціями, що приведені у довідниках та нормативах.

В основу таких рекомендацій покладено статистичні дані про шліфувальні операції, отримані з різних підприємств. Залежно від призначення довідників обсяг даних, що містяться в них, про експлуатаційні властивості шліфувальних кругів суттєво відрізняється. Найбільш повні дані щодо вибору шліфувальних кругів і режимів різання для різних видів шліфування містяться в загальномашинобудівних нормативах [14]. За цими нормативами насамперед обирають характеристику шліфувального круга. Причому, матеріал абразивного зерна, твердість і зв'язка призначаються в залежності від шліфованого матеріалу і його твердості, а зернистість круга обирається у

залежності від необхідної шорсткості поверхні. Потім для вибраного шліфувального круга в залежності від групи оброблюваності матеріалу деталі, необхідної точності та шорсткості вибирають режими різання.

Методи розрахункового визначення параметрів режиму шліфування зазвичай застосовуються при вирішенні задачі оптимізації шліфувальних операцій [43]. Слід зазначити, що в загальному випадку вирішення цього завдання передбачає розрахунок оптимальних режимів шліфування для заздалегідь обраного шліфувального круга, при яких забезпечується необхідна якість шліфованих поверхонь.

У більшості випадків для вирішення оптимізаційних завдань використовують емпіричні залежності, що мають вигляд ступеневих функцій [47, 48]. Це багато в чому пояснюється тим, що функції такого виду традиційно використовуються в теорії різання металів. Однак емпіричні залежності мають ряд недоліків, що обмежують застосування їх для вирішення оптимізаційних завдань. Головним недоліком є те, що набір параметрів, що входять в такі залежності, вибирається суб'єктивно, а область застосування таких залежностей обмежується вузькими рамками умов виконання експериментів, в результаті яких були отримані ці залежності. У зв'язку з цим краще використовувати залежності, встановлені розрахунковим шляхом на основі теоретичного моделювання процесу шліфування [43]. Теоретичні залежності відображають функціональні взаємозв'язки між параметрами в широкому діапазоні зміни їх величин.

Важливим технологічним показником експлуатаційних властивостей шліфувального круга є відносна (питома) витрата зерен КНБ, суттєвий вплив на яку мають режими різання, геометричні параметри та фізико-механічні властивості інструменту та оброблюваного матеріалу. Аналіз результатів досліджень зношування шліфувальних кругів з КНБ показав, що експериментальні дані відносної або питомої витрати КНБ суперечливі та залежать від умов експерименту.

Інтенсивність зносу абразивного інструмента безпосередньо впливає на економічну ефективність виробництва. Зношування абразивних інструментів не лише збільшує витрати, але й може обмежувати можливості автоматизації виробництва та знижувати темпи випуску продукції. Багато досліджень присвячені вивченню причин зносу шліфувальних кругів та пошуку способів його зменшення, проте більшість з них базуються на експериментальних даних та спрямовані на вирішення конкретних виробничих задач.

У цьому напрямку відомі фундаментальні праці видатних вчених: Г.В. Бокучави, Л.Ф. Верещагіна, А.І. Грабченко, І.П. Захаренко, В.І. Кальченка, В.В. Кальченка, І.В. Крагельського, В.І. Лавриненко, Т.М. Лоладзе, Е.М. Маслова, П.Г. Матюхи, Л.Л. Мішнаєвського, М.В. Новикова, Ф.В. Новікова, Ю.В. Петракова, С.О. Попова, А.Н. Резнікова, С.Г. Редько А.О. Сагарди, М.Ф. Семко, М.Д. Узуняна, В.О. Федоровича, П.І. Ящерицина.

Велику роль у дослідженні процесу шліфування відіграють експериментальні методи. Це пов'язано з тим, що практичні задачі дуже складні, для них часто важко не лише отримати рішення іншими методами, а й досить точно описати процес математично.

## **Висновки до розділу 1**

1. Аналіз конструкцій робочих органів сільськогосподарської техніки та їх умов роботи показав, що для ефективного виконання машиною поставлених завдань їх різальні елементи повинні мати оптимальні геометричні форми, розміри та якість поверхонь. Встановлено, що одним з важливих показників

2. Показано, що процес заточування відіграє велику роль у забезпеченні працездатності різальних лез, а операції заточування (шліфування) є невід'ємною частиною технологічного процесу виготовлення або відновлення різальних елементів.



3. Аналіз методів відновлення різальної здатності робочих органів машин показав, що отримання заданих кутів можливо лише методом механічної обробки – заточуванням.

4. Встановлено, що заточування різальних елементів робочих органів, виготовлених зі швидкорізальної сталі P18, доцільно виконувати шліфувальними кругами з КНБ, ефективність експлуатації яких визначається витратами на інструмент, що залежать від інтенсивності зносу.

5. Важливим технологічним показником експлуатаційних властивостей шліфувального круга є відносна (питома) витрата зерен КНБ, результати досліджень якої іншими науковцями носить суперечливий характер.

## 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ

### 2.1 Вибір та обґрунтування критеріїв роботи шліфувального інструменту

Для оцінювання працездатності шліфувального круга було обрано наступні показники: відносну витрату КНБ  $q_p$ , продуктивність шліфування  $Q$  та питому собівартість обробки  $C_V$ .

Для визначення відносної витрати КНБ застосовували метод безпосереднього лінійного вимірювання зносу профілю круга до та після шліфування.

Відносну витрату НТМ визначаємо за формулою:

$$q_p = \frac{m_{НТМ} \cdot 10^3}{m_{дет}}, \text{ мг/Г}, \quad (2.1)$$

де  $m_{СТМ}$  – маса зношеного НТМ, г;

$m_{дет}$  – маса матеріалу, що був видалений при шліфуванні, г.

Масу зношеного НТМ для шліфувального круга розраховуємо за формулою:

$$m_{НТМ} = \frac{V_{НТМ} \cdot 0,8625 \cdot 10^{-3}}{\alpha}, \text{ г}, \quad (2.2)$$

де  $V_{НТМ}$  – об'єм зношеного робочого шару шліфувального круга, мм<sup>3</sup>;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує концентрацію зерен КНБ у робочому шарі круга (при концентрації 100% приймають  $\alpha = 1$ );

$0,8625 \cdot 10^{-3}$  – маса зерен КНБ в 1 мм<sup>3</sup> робочого шару круга при прийнятій щільності зерен 3,45 г/см<sup>3</sup> і концентрації НТМ 100 %, г.

Об'єм зношеного робочого шару шліфувального круга при торцевому шліфуванні:

$$V_{НТМ} = \pi \cdot B_{кр} \cdot (D_{кр} - B_{кр}) \cdot \Delta h_{кр}, \text{ мм}^3, \quad (2.3)$$

де  $D_{кр}$  – діаметр круга, мм;

$B_{кр}$  – ширина робочого шару круга, мм;

$\Delta h_{ср}$  – середній лінійний знос круга, мм.

Продуктивність шліфування розраховуємо за формулою:

$$Q = S_{np} \cdot S_n \cdot B_{рез}, \text{ мм}^3/\text{хв}, \quad (2.4)$$

де  $S_{np}$  – поздовжня подача, м/хв;

$S_n$  – поперечна подача, мм/подв.хід;

$B_{рез}$  – ширина різання (висота зразка), мм.

Для забезпечення якості оброблюваної поверхні одночасно з показниками працездатності шліфувальних кругів досліджували вплив режимів різання на показники якості оброблюваної поверхні. У дослідженні [43] приведено, що «на вибір контрольованих показників шорсткості впливають умови їхньої експлуатації. Так, для поверхонь, що працюють в умовах тертя ковзання і схильних до зносу, а також зазнають контактної напруги, застосовують наступні комплекси параметрів шорсткості:  $Ra$  або  $Rz$  та  $t_p$ ; для поверхонь, що зазнають змінних навантажень, –  $R_{max} (Rt)$ ,  $Sm$  або  $S$  та напрям нерівностей. При цьому слід врахувати, що при виборі параметрів  $Ra$  та  $Rz$  доцільним буде  $Ra$ , оскільки цей параметр дає більш повну оцінку шорсткості».

Таким чином, для оцінювання якості поверхні, що обробляється, було обрано такі показники шорсткості:

$Ra$  – середнє арифметичне відхилення профілю, мкм;

$R_{max} (Rt)$  – найбільша висота профілю, мкм;

$Sm$  – середній крок мікронерівностей, мкм;

$t_p$  – відносна опорна довжина профілю, %.

Призначенню прогресивних режимів різання, що забезпечують підвищену продуктивність, перешкоджають два фактори. Обробка повинна забезпечувати необхідну якість (температурний критерій, шорсткість). З іншого боку, виконувані операції мають бути економічними. Тому одним з основних

критеріїв економічності процесу шліфування є питома собівартість обробки  $C_V$ , яка розраховувалася за методикою [43]:

$$C_V = q_p \cdot \rho \cdot C_{\text{КНБ}} + \frac{C_p}{Q}, \text{ грн./см}^3, \quad (2.5)$$

де  $q_p$  – відносна витрата КНБ, мг/г;

$\rho$  – щільність оброблюваного матеріалу, г/см<sup>3</sup>;

$C_{\text{КНБ}}$  – вартість КНБ в крузі, грн./мг;

$C_p$  – вартість робочої сили, грн./хв;

$Q_V$  – розрахункова продуктивність обробки, см<sup>3</sup>/хв.

## 2.2 Умови проведення експериментів, обладнання, інструмент, матеріали

Процес плоского шліфування торцем круга досліджували на універсально-заточувальному верстаті 3Д642Е (рисунок 2.1), що оснащений двигуном 4АХ80В2У3 потужністю 2,2 кВт та номінальною частотою обертання 2850 хв<sup>-1</sup>, та має гідропривід поздовжньої подачі. Для підведення МОР у зону шліфування використовували спеціальний пристрій. Як МОР був використаний розчин 5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0,5% NaNO<sub>2</sub>. Поперечна подача в інтервалі 0,1÷0,2 мм/подв. хід здійснювалася вручну по лімбу верстата. Оскільки поздовжня подача має безступінчасте регулювання, її налаштування здійснювалася таруванням по секундоміру.

Досліджувався шліфувальний круг формою 12А2-45° з розмірами: діаметр – 150 мм, ширина абразивного шару – 20 мм; із зернами КНБ марки КВ зернистістю 125/100 100%-вої концентрації на полімерній зв'язці В2-08 (рисунок 2.2).

При дослідженні зносу круга були використані зразки зі швидкорізальної сталі марки Р18 з розмірами перерізу 10×16 мм<sup>3</sup> і твердістю 70 НРС (рисунок 2.3).



Рисунок 2.1 – Універсально-заточувальний верстат мод. 3Д642Е



Рисунок 2.2 – Шліфувальний круг з КНБ  
на полімерній зв'язці В2-08

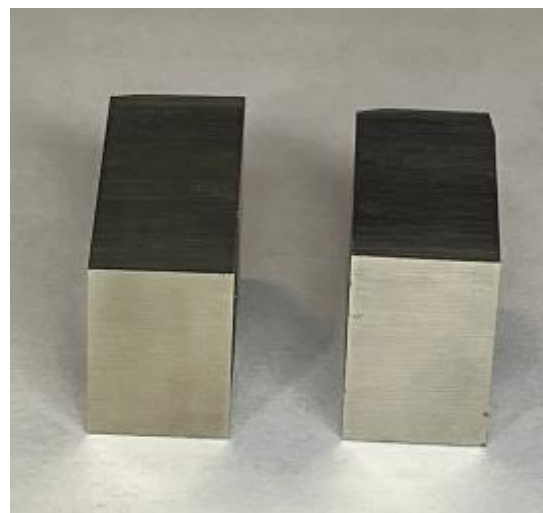


Рисунок 2.3 – Зразки  
швидкорізальної сталі Р18

Для закріплення зразків з метою забезпечення необхідної жорсткості розроблено конструкцію спеціального затискного універсально-збірного пристрою (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Спеціальне затискне пристосування  
для закріплення оброблюваних зразків



Рисунок 2.4 – Пристосування для вимірювання лінійного зносу круга

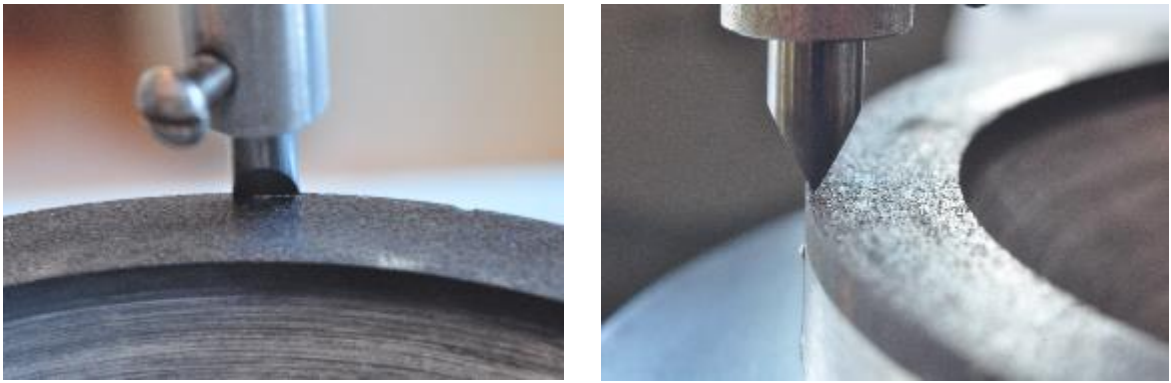


Рисунок 2.5 – Наконечник головки вимірювального пристрою

Зношування шліфувального круга при торцевому шліфуванні з поздовжньою подачею характеризується такими показниками: лінійним зносом робочого шару круга в  $i$ -тому поперечному перерізі  $\Delta_i$ .

Лінійний знос круга вимірювався за допомогою спеціального вимірювального пристосування (рис. 2.4), сконструйованого на базі інструментального мікроскопа БМІ-1Ц та довжиноміру проекційного вертикального ІЗВ-3.

Замість тубуса мікроскопа за допомогою спеціальної плоскої перехідної плити кріпилася колонка з вимірювальним пристроєм довжиноміра ІЗВ-3 із точністю вимірювання 0,001 мм. Форма наконечника головки вимірювального пристрою виготовлена клиноподібної форми (рисунок 2.5) з таким розрахунком, щоб наконечник контактував з робочою поверхнею круга по лінії. Це дозволило уникнути похибок вимірювання при попаданні вимірювального наконечника в лунку після руйнування зв'язки.

Стіл мікроскопа може переміщатися відносно основи у двох взаємно перпендикулярних напрямках і повертатися навколо вертикальної осі. Прямолінійні переміщення здійснюються під дією спеціальних пружин, що притискають опорні площадки столу до торцевих поверхонь перетворювачів мікрогвинтів.

На посадкову поверхню столу мікроскопа БМІ-1Ц встановлювалася спеціально виготовлена двостороння опора, торці якої мають низьку шорсткість. Встановлювальною базою для кругів була кільцева проточка, яка



(згідно з рекомендаціями [53]) близько розташована до робочого шару, що зменшило вплив теплових деформацій корпусу круга на точність вимірювання його розмірного зносу.

Вимірювання проводилися у шести рівнорозташованих радіальних перерізах. Схема вимірювання профілю шліфувального круга в кожному із шести радіальних перерізів наведена на рисунку 2.6.

Для розрахунку відносної витрати зерен КНБ у кожному перерізі для ширини круга 20 мм прийнято 11 контрольних точок у кожному перетині. Відстань між точками обрано змінним і складає: точки 1÷4 та 10÷11 — по 1 мм (що відповідало одному повному оберту рукоятки), точки 4÷6 та 9÷10 — по 2 мм (два повних оберти рукоятки), точки 6÷9 — по 3 мм (три повних оберти рукоятки).

Зношування шліфувального круга в кожній точці розраховувалося за формулою:

$$\Delta h_i = H_i - h_i, \text{ мм}, \quad (2.6)$$

де  $H_i$  — координата профілю круга відносно вимірювальної бази до обробки, мм;

$h_i$  — координата профілю круга відносно вимірювальної бази після обробки, мм.

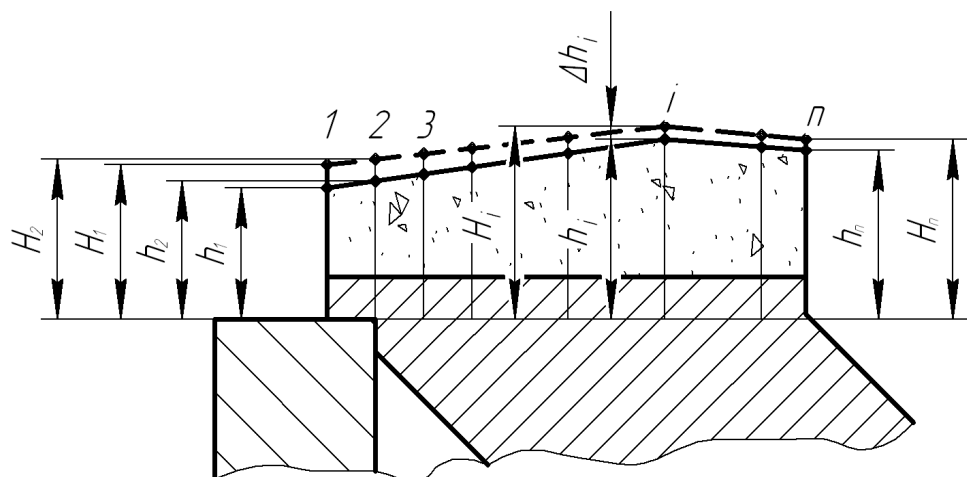


Рисунок 2.6 – Схема вимірювання профілю шліфувального круга у кожному з шести радіальних перетинів



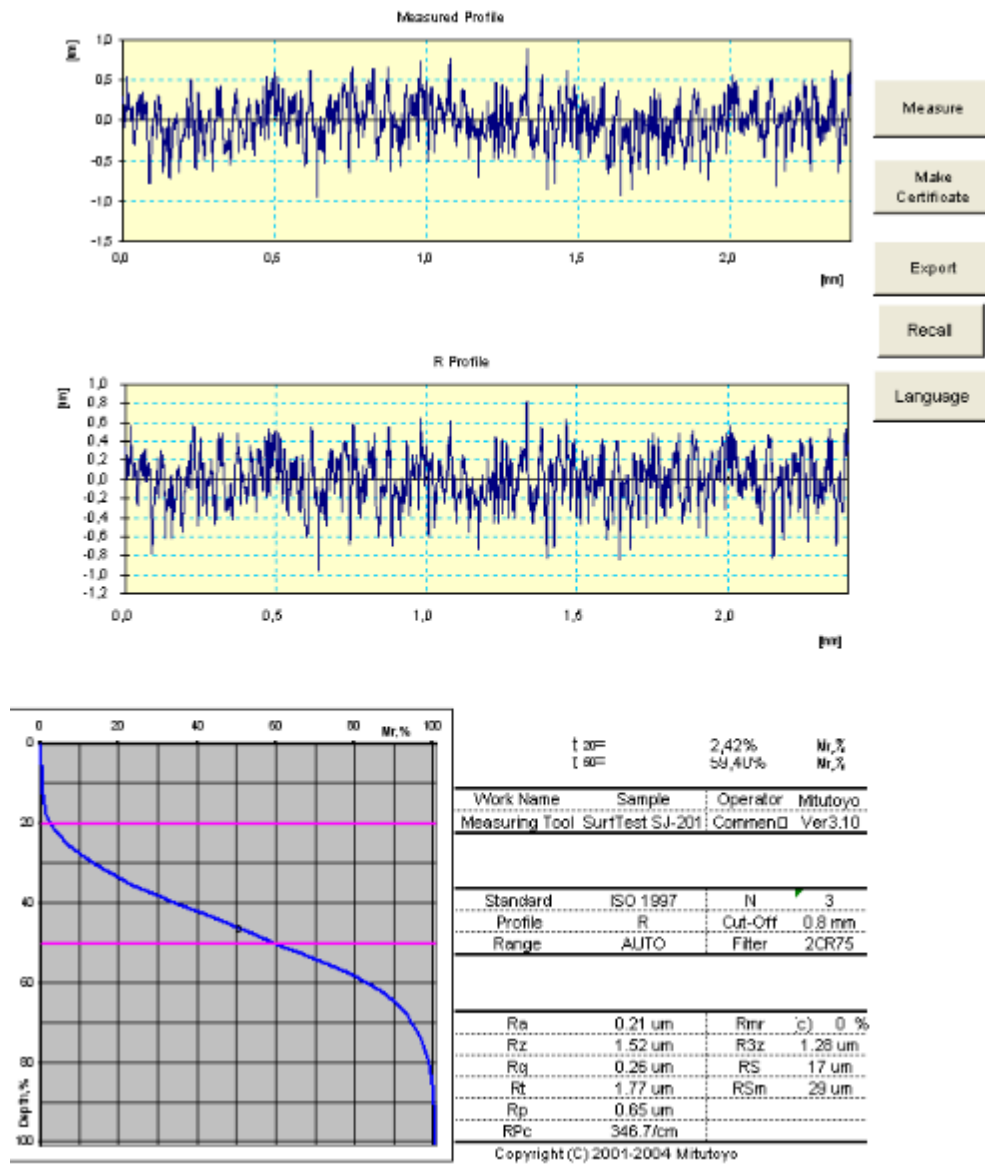


Рисунок 2.7 – Результати вимірювань шорсткості обробленої поверхні одного зразка

Середній знос круга у кожному з радіальних перетинів:

$$\Delta h_k = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta h_i}{n}, \text{ мм}, \quad (2.7)$$

де  $n$  – кількість точок у кожному радіальному перерізі.

Середній лінійний знос круга:

$$\Delta h_{cp} = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 \Delta h_k, \text{ мм}. \quad (2.8)$$

Маса матеріалу, що видалено (зі шліфовано) за одне дослідження,  $m_{обр}$

визначалася шляхом зважування зразка до та після його обробки на вагах ВЛР-200 (точність вимірювання – 0,1 мг).

Вимірювання параметрів шорсткості обробленої поверхні здійснювали на профілометрі MITUTOYO SurfTest SJ-201. Вимірювальним елементом профілометра є щуп (алмазний наконечник) з кутом  $60^\circ$  і радіусом 2 мкм. Відносна опорна довжина становила 2,5 мм, базова довжина – 0,8 мм. У приладі вбудовано програмне забезпечення для виведення даних на основі MS Excel (рисунок 2.7).

### 2.3 Вибір математичного забезпечення для вирішення поставлених завдань

В основу проведення експериментів покладено метод одночасного варіювання кількома факторами, що є основними параметрами режимів різання: швидкість різання  $V$ , поздовжня подача  $S_{np}$ , поперечна подача  $S_n$  [43]. При цьому визначалися не часткові залежності, а функціональна залежність показників від усіх досліджуваних параметрів. Функціональна залежність параметра  $A$ , що має функціональний зв'язок із змінними режимами різання, описується формулою:

$$A = C \cdot V^n \cdot S_{np}^y \cdot S_n^x. \quad (2.9)$$

Прологарифмувавши формулу (3.2), отримаємо

$$\lg A = \lg C + n \lg V + y \lg S_{np} + x \lg S_n. \quad (2.10)$$

або

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \xi, \quad (2.11)$$

де  $y = \lg A$  – дані, отримані у дослідженнях;

$b_0, b_1, b_2, b_3$  – значення коефіцієнтів;

$x_1, x_2, x_3$  – логарифми параметрів режиму різання  $V, S_{np}, S_n$ ;

$\xi$  – похибка експерименту.

План з  $N$  досліджень з  $k$  факторами передбачає три рівні для кожної

змінної. Прийняті рівні змінних та кодові позначення проведених експериментів наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Рівні змінних та кодові позначення

Рівень	Режими різання			Кодове позначення		
	$V$ , м/с	$S_{np}$ , м/хв	$S_n$ , мм/подв.хід	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхній	$V_{\max}$	$S_{np\max}$	$S_{n\max}$	1	1	1
Середній	$V_{\text{cp}}$	$S_{np\text{cp}}$	$S_{n\text{cp}}$	0	0	0
Нижній	$V_{\min}$	$S_{np\min}$	$S_{n\min}$	-1	-1	-1

Відповідно до проведених досліджень складені рівняння (2.11), потім для спрощення математичних викладок та зменшення ймовірності появи помилок за допомогою матричного математичного апарату знайдено їх рішення, для чого використовували формулу:

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y, \quad (2.12)$$

де матриця незалежних змінних  $X (N \times k)$  для серії досліджень має вигляд:

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0N} & x_{1N} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix}. \quad (2.13)$$

Перетворююча матриця  $(X^T X)^{-1} X^T$  рівносильна системі лінійних однорідних рівнянь відносно невідомих коефіцієнтів матриці  $X$ :

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T y = \left( \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0N} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0N} & x_{1N} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix} \right)^{-1} \times \\ \times \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0N} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix}. \quad (2.14)$$

Показники ступеня  $n$ ,  $y$ ,  $x$  та коефіцієнт  $C$  в формулах (2.9) визначаються за формулами:

$$n = b_1 \frac{2}{(\lg V_{\max} - \lg V_{\min})}; \quad (2.15)$$

$$y = b_2 \frac{2}{(\lg S_{np\max} - \lg S_{np\min})}; \quad (2.16)$$

$$x = b_3 \frac{2}{(\lg S_{n\max} - \lg S_{n\min})}; \quad (2.17)$$

$$C = 10^{\left( b_0 + b_1 \frac{-\lg V_{\max} - \lg V_{\min}}{\lg V_{\max} - \lg V_{\min}} + b_2 \frac{-\lg S_{np\max} - \lg S_{np\min}}{\lg S_{np\max} - \lg S_{np\min}} + b_3 \frac{-\lg S_{n\max} - \lg S_{n\min}}{\lg S_{n\max} - \lg S_{n\min}} \right)}. \quad (2.18)$$

Для перевірки гіпотези щодо адекватності моделі використовували критерій Фішера ( $F$ -критерій). У цьому рівень значимості приймали рівним 0,05.

Для статистичної обробки отриманих експериментальних даних використано програми Microsoft Excel та пакет прикладних програм MathCAD.

## Висновки до розділу 2

1. Для оцінювання працездатності шліфувального круга обрано показники: відносна витрата КНБ  $q_p$ , продуктивність шліфування  $Q$  та питома собівартість обробки  $C_V$ .

2. Оцінювання якості поверхні, що оброблялась шліфуванням, проводили за показниками шорсткості:  $Ra$ ;  $R_{max}$  ( $Rt$ );  $Sm$ ;  $t_p$ .

3. Описано методику експериментальних досліджень показників працездатності шляхом визначення геометричних параметрів різальної поверхні шліфувального круга в радіальному напрямку на базі інструментального мікроскопа, що дозволяє вимірювати параметри профілю круга.

4. При проведенні досліджень використано методику планування багатофакторного експерименту  $2^3$ .

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ

#### 3.1 Вплив режимів різання на показники працездатності шліфувальних кругів

Дослідження впливу режимів різання (швидкості круга, поздовжньої та поперечної подач) на показники працездатності кубонітових кругів виконувалося при шліфуванні зразків швидкорізальної сталі Р18 з продуктивністю  $Q$  від 400 до 1600 мм<sup>3</sup>/хв. Обробку зразків здійснювали кругом форми 12А2-45° діаметром 150 мм, шириною різального шару 20 мм із зернами КНБ марки КВ зернистістю 125/100 100%-вої концентрації на полімерній зв'язці В2-08. При дослідженні використано зразки зі швидкорізальної сталі марки Р18 з розмірами перерізу 10×16 мм<sup>3</sup> і твердістю 70 НРС. Шліфування зразків здійснювалося з охолодженням 5 %-вим розчином Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> з додаванням 0,5 % NaNO<sub>2</sub>. Для зменшення впливу стану поверхні робочого шару на результати досліджень при переході на новий режим круги піддавались правленню.

За результатами експериментів були встановлені середні значення досліджуваних показників, що подані у таблиці 3.1.

Трифакторна залежність відносної витрати НТМ від режимів різання, що отримана за методикою, представленою у розділі 3.3, має вигляд:

$$q_p = 375,965 \cdot V^{-0,983} \cdot S_{np}^{0,509} \cdot S_n^{0,513}, \text{ мг/г.} \quad (3.1)$$

Аналіз отриманої ступеневої залежності показав, що найбільший вплив на показники працездатності кубонітового круга при обробці швидкорізальної сталі Р18 має швидкість різання, оскільки показник  $n = -0,983$  майже у два рази вищий за показники  $y$  та  $x$  (див. формулу 3.12).

Вплив поздовжньої та поперечної подач у даному досліджуваному діапазоні режимів різання майже рівнозначно, про що свідчать практично однакові показники ступенів  $y = 0,509$  та  $x = 0,513$ . Це дозволяє зробити висновок щодо залежності показників працездатності кругів від продуктивності

процесу шліфування незалежно від поєднання значень подач.

Таблиця 3.1 – Матриця планування та отримані результати експериментів

Значення режимів різання			Середні значення показників працездатності	
швидкість круга $V$ , м/с	поздовжня подача $S_{np}$ , м/хв	поперечна подача $S_n$ , мм/подв.хід	продуктивність $Q$ , мм <sup>3</sup> /хв	відносна витрата $q_p$ , мг/г
15	0,4	0,1	400	4,9364
15	0,8	0,1	800	6,3877
15	0,4	0,2	800	7,6881
15	0,8	0,2	1600	14,0542
25	0,4	0,1	400	3,3482
25	0,8	0,1	800	4,2271
25	0,4	0,2	800	5,1846
25	0,8	0,2	1600	6,5582
20	0,6	0,15	900	6,7272
20	0,6	0,15	900	6,7272
20	0,6	0,15	900	6,7272
20	0,6	0,15	900	6,7272

Залежність відносної витрати НТМ від швидкості різання з різною продуктивністю представлені на рисунку 3.1, а з однаковою продуктивністю, але при різних поєднаннях поздовжньої та поперечної подачі – на рисунку 3.2.

Аналізуючи отримані криві вплив швидкості різання на питому витрату КНБ, встановлено, що при шліфуванні пластин зі швидкорізальної сталі Р18 кругом на полімерній зв'язці В2-08 зі збільшенням швидкості різання в інтервалі 15÷25 м/с для діапазону продуктивності 400÷1600 мм<sup>3</sup>/хв спостерігалось зменшення відносної витрати НТМ у 1,65 рази. Це пояснюється тим, що зі збільшенням швидкості товщина зрізаного шару, що припадає на одне різальне зерно, буде зменшуватися, а кількість зерен, що буде здійснювати знімання матеріалу за одиницю часу, буде зростати. Таким чином, це приведе до зменшення сил різання та теплонапруженості процесу обробки.

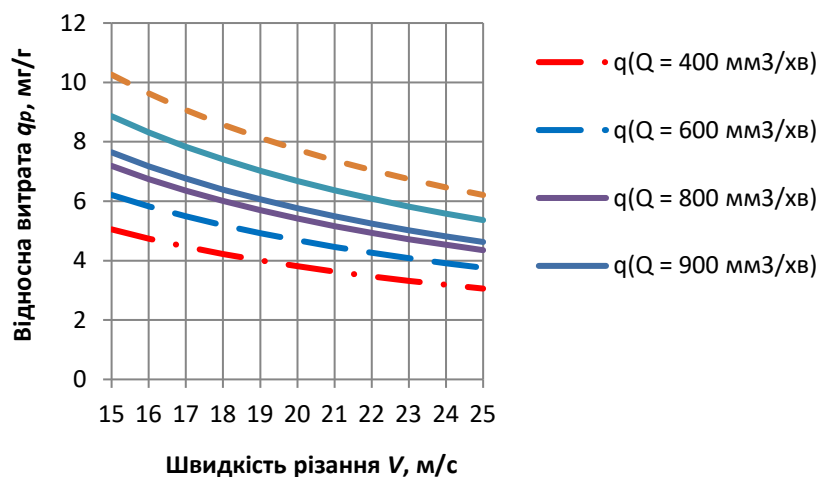


Рисунок 3.1 – Вплив швидкості різання на відносну витрату КНБ при обробці швидкорізальної сталі P18 з різною продуктивністю

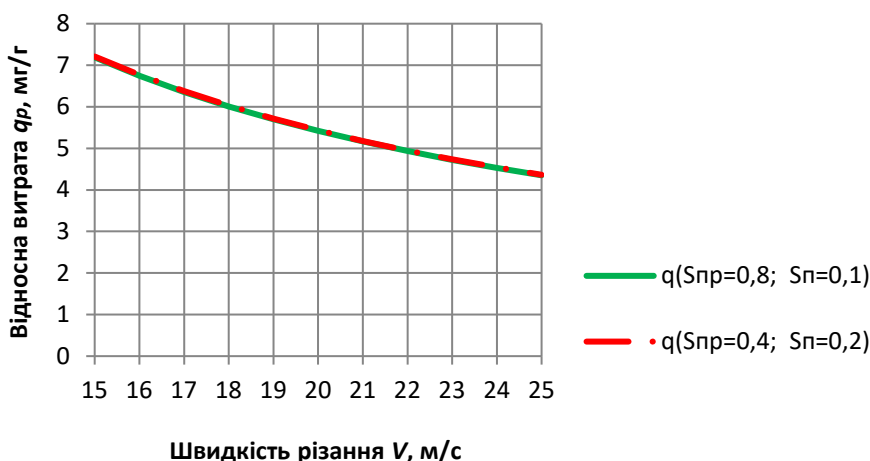


Рисунок 3.2 – Вплив швидкості різання на відносну витрату КНБ обробці швидкорізальної сталі P18 при різних поєднаннях подач (з продуктивністю  $800 \text{ мм}^3/\text{хв}$ )

Для випадку обробки з однаковою продуктивністю ( $800 \text{ мм}^3/\text{хв}$ ), але при різних поєднаннях подач (рис. 4.2) також спостерігалось зменшення відносної витрати НТМ у 1,65 рази, а її величина при різних варіантах не змінювалася.

Менший вплив на питому витрату НТМ, ніж швидкість різання, мають поздовжня та поперечна подачі. Продуктивність різання залежно від призначених режимів різання змінювалася у діапазоні  $400 \div 1600 \text{ мм}^3/\text{хв}$ .

На рисунках 3.3 та 3.4 приведені результати досліджень залежності відносної витрати КНБ від поперечної та поздовжньої подачі у вказаному діапазоні. Аналіз отриманих кривих показав, що питома витрата НТМ у досліджуваному діапазоні подачі збільшується пропорційно зніманню шару металу: чим вище продуктивність обробки, тим більше витрата КНБ.

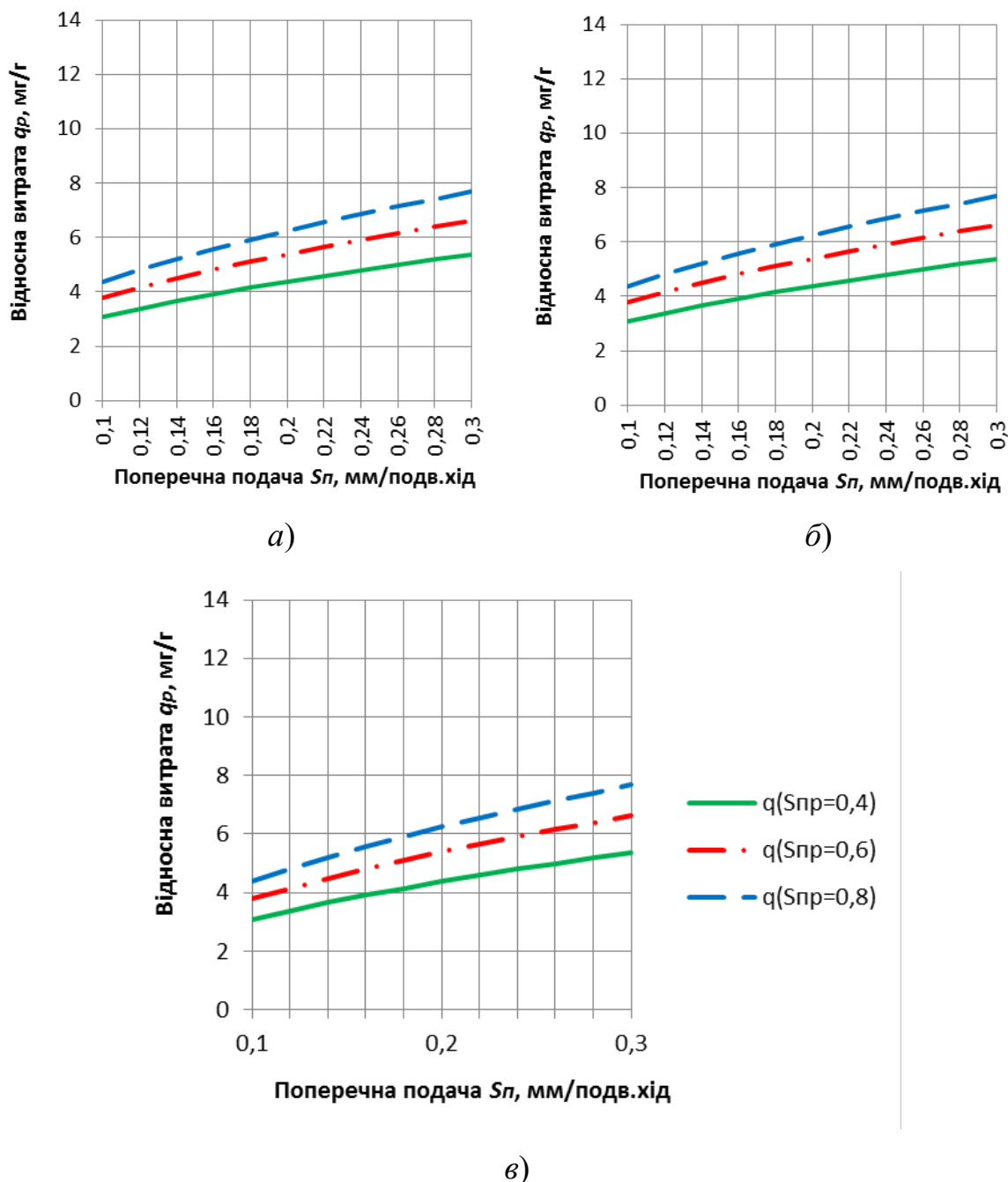


Рисунок 3.3 – Вплив поперечної подачі  $S_n$ , мм/подв.хід, на відносну витрату КНБ: *a* — при  $V = 15$  м/хв; *б* — при  $V = 20$  м/хв; *в* — при  $V = 25$  м/хв



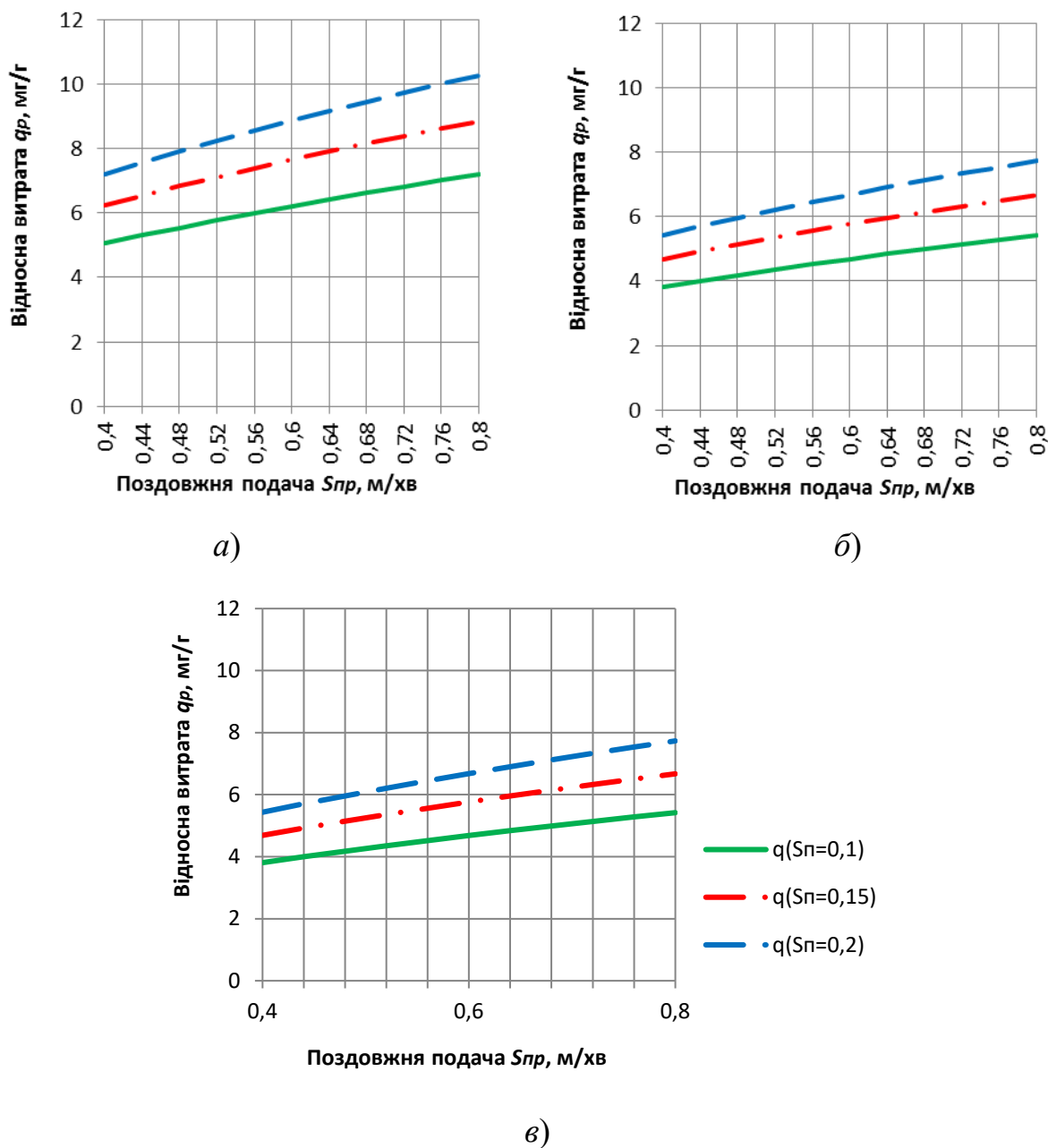


Рисунок 3.4 – Вплив поздовжньої подачі  $S_{пр}$ , мм/хв, на відносну витрату КНБ: а — при  $V = 15$  м/хв; б — при  $V = 20$  м/хв; в — при  $V = 25$  м/хв

Збільшення поперечної подачі (рис. 3.3) у два рази (з 0,1 до 0,2 мм/подв.хід) при обробці швидкорізальної сталі Р18 збільшує відносну витрату КНБ у 1,75 рази, а збільшення поздовжньої подачі (рис. 3.4) у два рази (з 0,4 до 0,8 м/хв) веде до зростання відносної витрати КНБ у 1,42 рази. Це пояснюється тим, що збільшення поздовжньої або поперечної подачі веде до збільшення сил різання, оскільки середньо вірогідна товщина шару  $a_z$ , що різкується одним зерном, та глибина занурення зерна у зв'язку круга зростають.

### 3.2 Вплив режимів різання на показники якості оброблюваної поверхні

За результатами експериментів отримано наступні середні значення показників (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Матриця планування та результати експериментів

Значення режимів різання			Середні значення показників якості оброблюваної поверхні			
швидкість круга $V$ , м/с	поздовжня подача $S_{np}$ , м/хв	поперечна подача $S_n$ , мм/подв.хід	середнє арифметичне відхилення профілю $Ra$ , мкм	найбільша висота профілю $R_{max}$ , мкм	середній крок мікронерівностей $Sm$ , мкм	відносна опорна довжина профілю $t_{50}$ , %
15	0,4	0,1	0,21	1,71	29	67,54
15	0,8	0,1	0,28	2,37	38	59,40
15	0,4	0,2	0,24	1,91	36	64,58
15	0,8	0,2	0,33	2,64	43	56,29
25	0,4	0,1	0,16	1,47	26	87,60
25	0,8	0,1	0,21	1,80	32	80,44
25	0,4	0,2	0,16	1,64	33	82,56
25	0,8	0,2	0,22	2,01	38	69,88
20	0,6	0,15	0,22	1,64	34	78,23
20	0,6	0,15	0,22	1,69	34	79,75
20	0,6	0,15	0,22	1,64	34	78,56
20	0,6	0,15	0,22	1,66	34	77,29

Застосовуючи для обробки експериментальних даних методику, приведену у розділі 2.3, отримано наступні залежності показників якості оброблюваної поверхні від режимів різання:

а) середнє арифметичне відхилення профілю  $Ra$ :

$$Ra = 2,619 \cdot V^{-0,671} \cdot S_{np}^{0,432} \cdot S_n^{0,124}, \text{ мкм}; \quad (3.2)$$

б) найбільша висота профілю  $R_{max}$  ( $Rt$ ):

$$R_{max2} = 10,605 \cdot V^{-0,417} \cdot S_{np}^{0,381} \cdot S_n^{0,158}, \text{ мкм}; \quad (3.3)$$

в) середній крок мікронерівностей  $Sm$ :

$$Sm = 138,665 \cdot V^{-0,241} \cdot S_{np}^{0,287} \cdot S_n^{0,271}, \text{ мкм.} \quad (3.4)$$

г) відносна опорна довжина профілю  $t_p$ :

$$t_p = 12,001 \cdot V^{0,502} \cdot S_{np}^{-0,187} \cdot S_n^{-0,108}, \%. \quad (3.5)$$

Відомо, що між параметрами  $Sm$  і  $t_p$  та  $Ra$  існує взаємозв'язок. У роботі [43] автор, спираючись на аналіз інших робіт дослідників, показав, що кожна з отриманих залежностей відображає окремі випадки обробки різних матеріалів. Для встановлення таких залежностей для даного випадку проведено математичну обробку експериментальних даних та отримано статистичні залежності, які апроксимувалися різними функціями. При оцінюванні відносної похибки апроксимації з отриманих функцій вибирали оптимальну. В результаті отримано залежності (рисунок 3.5):

а) середнього кроку мікронерівностей:

$$Sm = 372,81Ra^2 - 7,1129Ra + 20,396, \text{ мкм;} \quad (3.6)$$

б) відносної опорної довжини профілю:

$$t_p = 607,16Ra^2 - 435,82Ra + 142,97, \%. \quad (3.7)$$

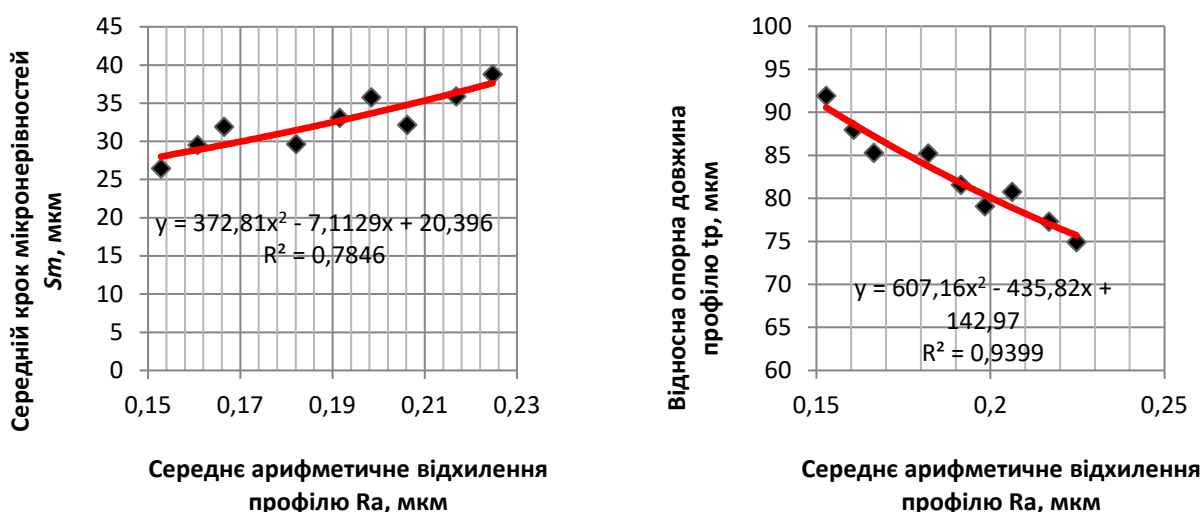
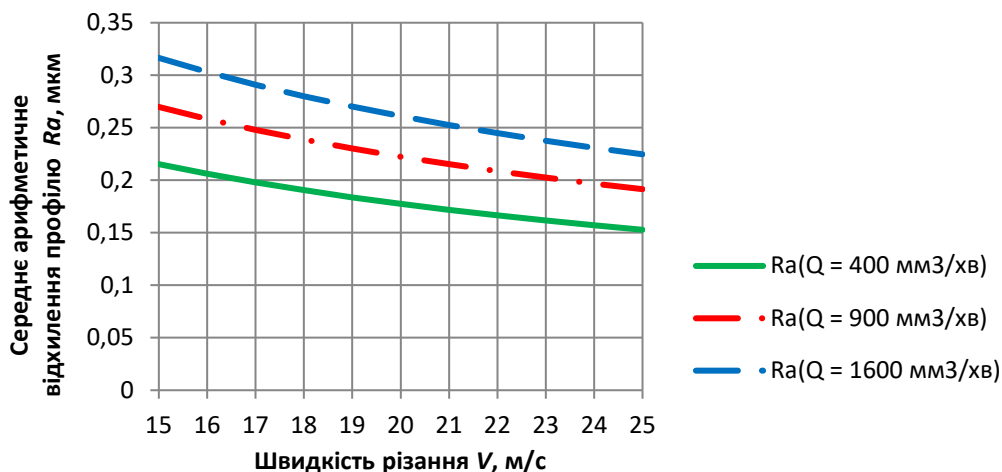


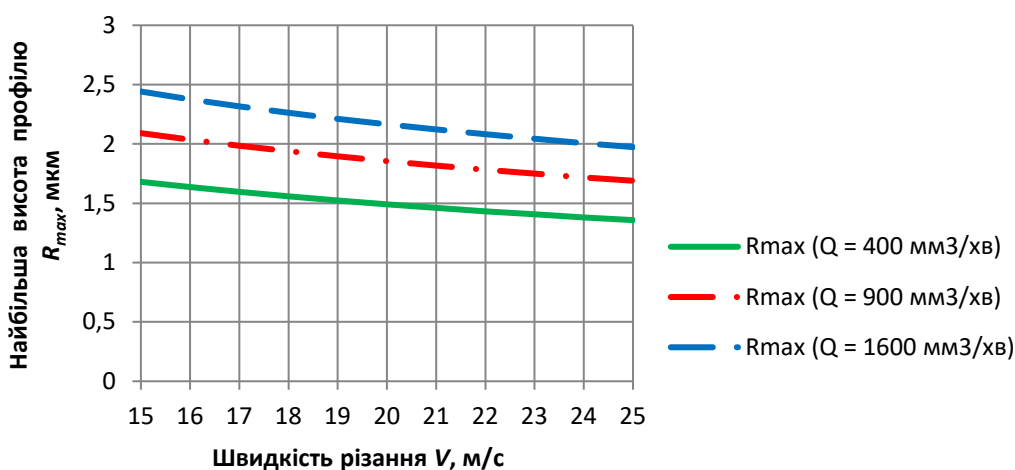
Рисунок 3.5 – Залежність параметрів  $Sm$  та  $t_p$  від  $Ra$

Найбільш суттєвий вплив на шорсткість оброблюваної поверхні має швидкість різання. Відомості щодо впливу швидкості різання на середнє арифметичне відхилення профілю  $Ra$  і найбільшу висоту профілю  $R_{max}$  оброблених поверхонь швидкорізальної сталі P18 в діапазоні швидкостей від 15

до 25 м/с показано на рисунку 3.6.



а)

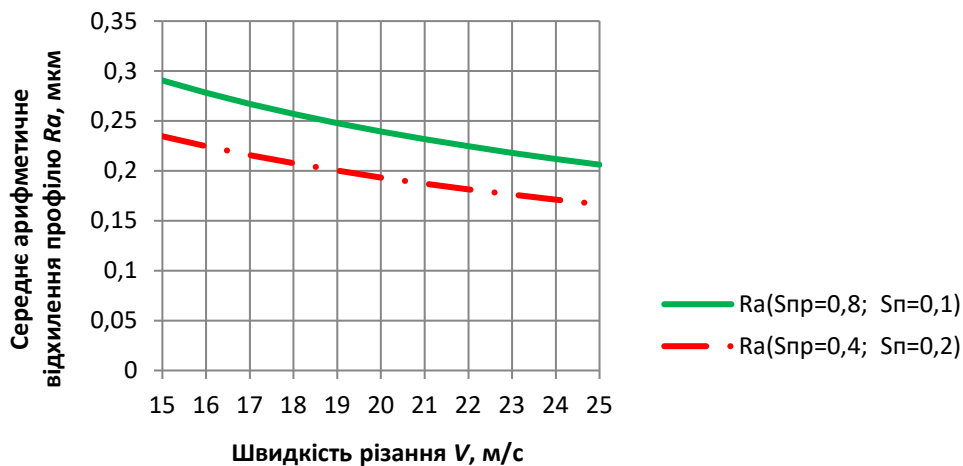


б)

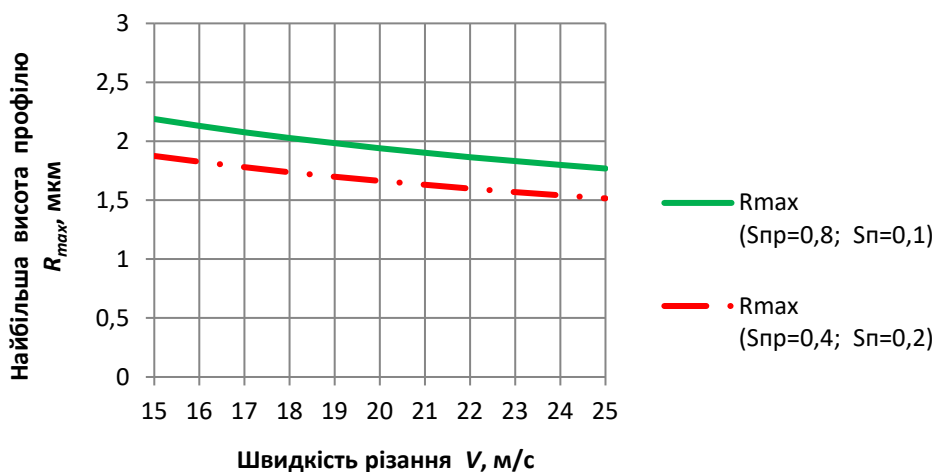
Рисунок 3.6 – Вплив швидкості різання на параметри шорсткості  $Ra$  (а) та  $R_{max}$  (б) при обробці швидкорізальної сталі P18 з різною продуктивністю

Зі збільшенням швидкості круга також буде зростати кількість зерен, які знімають припуску в одиницю часу. У цьому випадку товщина шару, що зрізується одним різальним зерном, буде зменшуватися. Разом з цим зменшуватиметься й сила різання, а це веде до зниження шорсткості оброблюваної поверхні.

Зростання швидкості різання з 15 до 25 м/с при обробці швидкорізальної сталі P18 з різними продуктивностями (400, 900 та 1600 мм³/хв) (рисунок 3.6) показало зменшення показників шорсткості  $Ra$  та  $R_{max}$  і 1,41 і 1,24 рази.



а)



б)

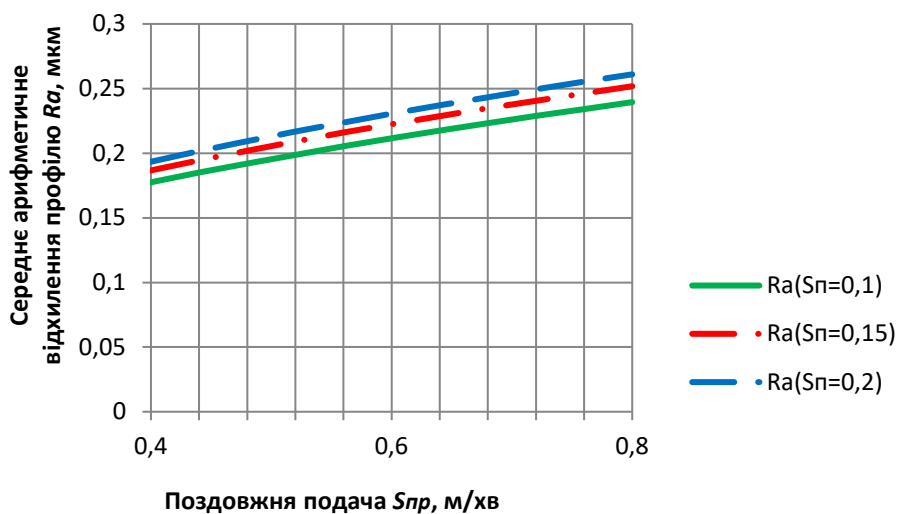
Рисунок 3.7 – Вплив швидкості різання на параметри шорсткості  $Ra$  (а) та  $R_{max}$  (б) при обробці швидкорізальної сталі P18 з однаковою продуктивністю ( $800 \text{ мм}^3/\text{хв}$ ), але при різних поєднаннях подач

Розглядаючи випадок різного поєднання поздовжньої та поперечної подач при однаковій продуктивності, спостерігаємо аналогічний вплив швидкості різання на показники  $Ra$  та  $R_{max}$  (рисунок 3.7): зі збільшенням швидкості круга вказані параметри знижуються, проте для одного і того ж значення швидкості спостерігаються різні значення показників.

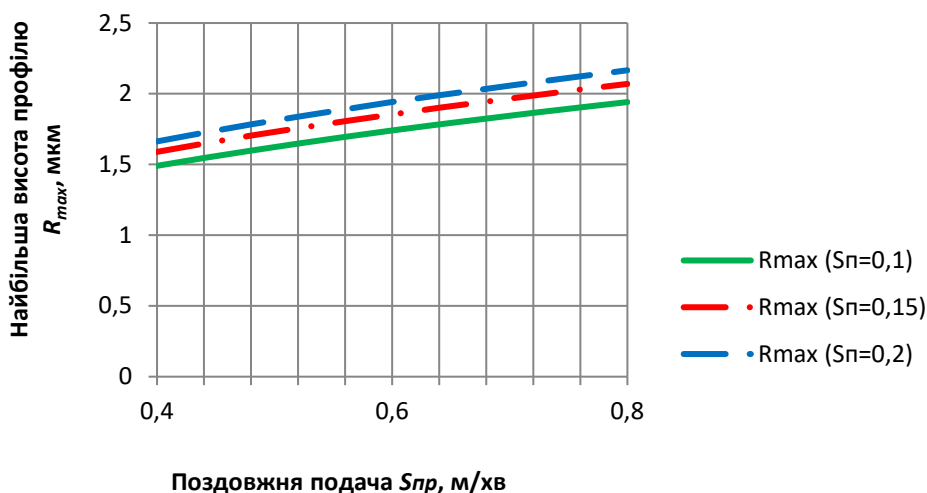
Розглядаючи вплив подач на параметри  $Ra$  і  $R_{max}$ , встановлено, що більший вплив має поздовжня подача, ніж поперечна, оскільки ступеневий

показник у формулах (3.2) та (3.3) має більше значення. Таким чином, для зниження шорсткості рекомендується підвищити швидкість різання або знизити продуктивність обробки, підбираючи такі значення подач, що будуть забезпечувати необхідну шорсткість та якість оброблюваної поверхні.

Вплив поздовжньої та поперечної подач на показники шорсткості  $Ra$  та  $R_{max}$  мають однаковий якісний характер (рис. 3.8–3.9): зі збільшенням поздовжньої чи поперечної подачі значення висотного показника шорсткості зростає.



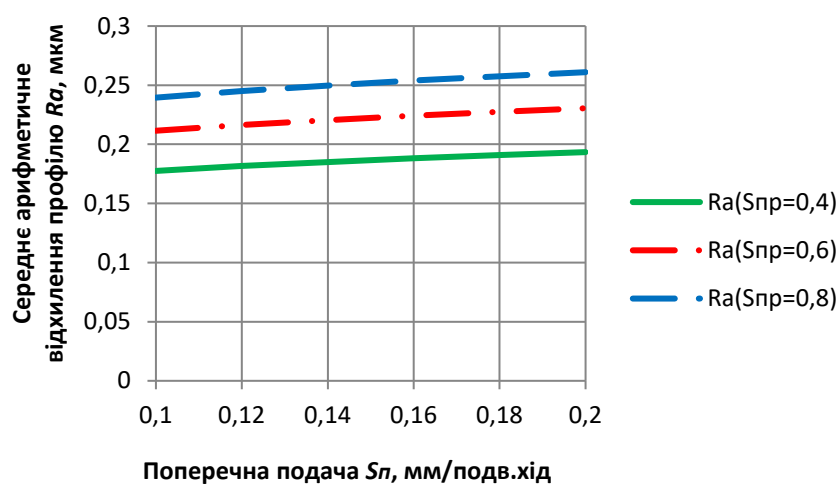
а)



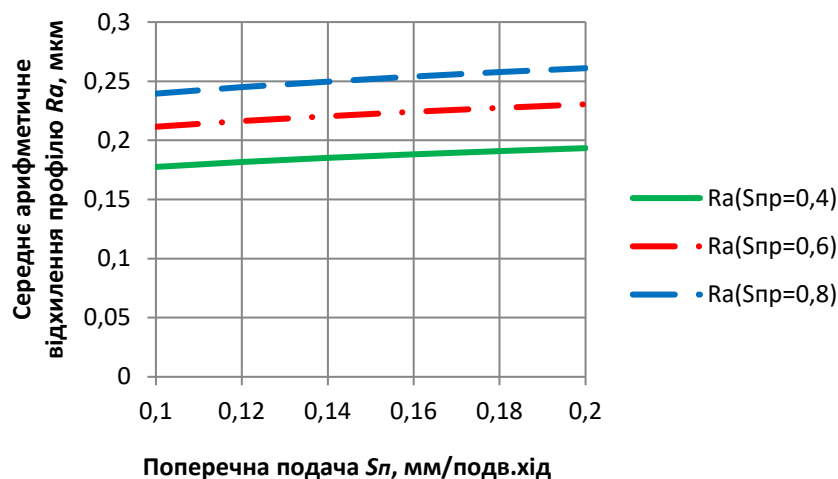
б)

Рисунок 3.8 – Вплив подовжньої подачі  $S_{пр}$ , мм/хв, на середнє арифметичне відхилення профілю  $Ra$  (а) та найбільшу висоту профілю  $R_{max}$  (б) при обробці швидкорізальної сталі P18 ( $V = 20$  м/хв)

При цьому, як було зазначено раніше, вплив поздовжньої подачі переважає вплив поперечної подачі. При збільшенні поперечної подачі різальні зерна, що найбільш виступають над рівнем зв'язки, занурюються в оброблюваний матеріал на більшу глибину і залишають на поверхні виробу більш глибокі і широкі сліди. Збільшення поздовжньої та/або поперечної подач веде до збільшення перерізу зрізу, при цьому зростає сила різання та знижується зносостійкість шліфувального круга. Все це призводить до збільшення шорсткості незалежно від марки матеріалу, що обробляється.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Вплив поперечної подачі  $S_n$ , мм/подв.хід, на середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$  (а) та найбільшу висоту профілю  $R_{max}$  (б) при обробці швидкорізальної сталі P18 ( $V = 20$  м/хв)

Зі збільшенням поздовжньої подачі в діапазоні від 0,4 до 0,8 м/хв при обробці швидкорізальної сталі P18 кубонітовим кругом на полімерній зв'язці В2-08 середнє арифметичне відхилення профілю  $Ra$  зростає у 1,35 рази, а найбільша висота профілю  $R_{max}$  – в 1,3 рази (рис. 3.7).

Зі збільшенням поперечної подачі в діапазоні від 0,1 до 0,2 м/хв при обробці швидкорізальної сталі P18 кубонітовим кругом на полімерній зв'язці В2-08 параметр  $Ra$  збільшився у 1,09 рази, а параметр  $R_{max}$  – у 1,12 рази (рис. 3.8).

Отже, для зниження шорсткості рекомендується зменшити значення поздовжньої та/або поперечної подач, що забезпечують необхідну шорсткість та якість оброблюваної поверхні, що призведе до зниження продуктивності обробки.

### **Висновки до розділу 3**

1. Отримано комплексні залежності відносної витрати КНБ від режимів різання. Встановлено, що вплив поперечної та поздовжньої подач на відносний знос НТМ практично рівнозначний, що доводить про залежність показників працездатності кругів від продуктивності процесу шліфування незалежно від поєднання значень подач.

2. Отримані комплексні залежності параметрів шорсткості оброблених поверхонь від режимів обробки, аналіз яких показав, що для зниження шорсткості необхідно збільшити швидкість різання або зменшити поздовжню та/або поперечну подачі, проте їх зменшення приведе до зниження продуктивності обробки.



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечення кожного працівника безпечними та здоровими умовами праці є головною метою охорони праці на будь-якому підприємстві, організації та ін. Належні, безпечні і здорові умови праці гарантовані статтею 43 Конституції України [44]. Багато законів, законодавчих актів [44–51] гарантують договорів, угод та інших підзаконних актів мають безпосереднє відношення до охорони праці та регулюють правові відносини у цій сфері. Виконання правил з охорони праці та техніки безпеки є обов'язковим для всіх учасників виробничого процесу, без винятку. Це стосується як роботодавців, так і працівників.

Заточування інструменту є важливим процесом у багатьох галузях промисловості, включаючи сільське господарство. Робота заточувальника пов'язана з рядом небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно вплинути на здоров'я працівника:

- пи́л: під час заточування утворюється велика кількість пилу, що складається з частинок металу та абразивного матеріалу. вдихання такого пилу може призвести до розвитку професійних захворювань дихальних шляхів;

- шум: робота заточувального верстата супроводжується високим рівнем шуму, який може негативно впливати на слух працівника та загальний стан організму;

- вібрація: передача вібрації від верстата до рук працівника може призвести до розвитку вібраційної хвороби;

- осколки абразивного круга: при порушенні правил експлуатації верстата або при використанні неякісного абразивного круга існує ризик отримання травм від осколків;

- опіки: при контакті з розпеченим інструментом або абразивним кругом можливі опіки шкіри;

- пошкодження очей: осколки абразивного круга, металеві стружки можуть потрапити в очі;

– електричний струм: при порушенні електробезпеки існує ризик ураження електричним струмом.

Норми небезпечних і шкідливих виробничих чинників регулюються різними нормативними документами [52–58].

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно вживати комплекс заходів, спрямованих на усунення цих факторів:

- для безпечної експлуатації електроустаткування необхідно використовувати не лише основні та додаткові ізолюючі засоби захисту, а й обов'язково застосовувати заземлення для усунення небезпечної напруги;

- для ефективного зменшення шуму на виробництві необхідно проводити планові огляди всіх основних вузлів механізмів та обладнання; використовувати індивідуальні засоби захисту слуху (беруші, навушники);

- для ефективного усунення запиленості та загазованості виробничого приміщення потрібно впроваджувати сучасні технології, що мінімізують утворення шкідливих речовин, обладнати цех додатковими системами очищення повітря, регулярно проводити технічне обслуговування вентиляційних та опалювальних систем, а також своєчасно усувати будь-які витoki мастильних матеріалів;

- дотримуватися правил зберігання та експлуатації абразивних кругів;

- для дотримання норм освітленості необхідно регулярно проводити очищення світлових прорізів (не рідше 2 разів на рік) та світильників (6-8 разів на рік). Крім того, всі світильники, розташовані на висоті менше 2,5 м від підлоги, повинні живитися від безпечної напруги, що не перевищує 48 В.

Для захисту працівників від шкідливої дії різних чинників, коли технічні засоби виявляються неефективними, застосовують індивідуальні засоби захисту. Індивідуальні засоби захисту від вібрації можуть бути різноманітними: від рукавичок, щитків, респіраторів, фартухів до спеціальних костюмів та взуття. Вибір конкретного засобу залежить від характеру роботи та рівня вібрації, при цьому всі засоби повинні відповідати вимогам безпеки.

З метою виявлення професійних захворювань на ранніх стадіях працівники повинні проходити регулярні медичні огляди.

Дотримання правил безпеки, використання засобів індивідуального захисту та регулярний технічний огляд обладнання дозволять звести до мінімуму ризик виникнення виробничих травм і професійних захворювань.

До надзвичайних ситуацій, що можуть призвести до значних матеріальних збитків, травмування або загибелі людей, належать: аварії на виробництві, пожежі, вибухи, викиди шкідливих речовин та руйнування будівель.

Причини пожеж у цехах різноманітні: порушення механічного режиму роботи обладнання, самозаймання промислових відходів, виникнення іскор при зварювальних роботах, короткі замикання в електромережі, необережне поводження з відкритим вогнем, порушення правил зберігання паливно-мастильних матеріалів та перевантаження механізмів.

Протипожежна профілактика є невід'ємною частиною загальної системи безпеки будь-якого підприємства або установи. Вона спрямована на мінімізацію ризику виникнення пожеж та зменшення їхніх наслідків. Для запобігання пожежам у цехах необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки, регулярно проводити технічний огляд обладнання, своєчасно виявляти та усувати несправності, а також забезпечити правильне зберігання горючих матеріалів.

Таким чином, виконання правил охорони праці та техніки безпеки сприяє створенню безпечного, ефективного та продуктивного робочого середовища.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Збільшення подач відображає підвищення інтенсивності шліфування, а, отже, впливає на підвищення питомої витрати НТМ. Для встановлення оптимальних умов шліфування необхідно оцінювати питомі витрати. Економічність процесу шліфування оцінювали по питомій собівартості обробки (видалення 1 см<sup>3</sup> матеріалу)  $C_V$ , яка складається з витрат на шліфувальний інструмент  $C_{КНБ}$ , що віднесені до 1 см<sup>3</sup> видаленого матеріалу, та оплати праці робочої сили  $C_p$ .

Для розрахунку витрат за формулою (3.5) прийнято наступні значення: щільність сталі P18  $\rho = 8,8$  гр/см<sup>3</sup>; ринкова вартість КНБ в крузі  $C_{КНБ} = 10$  грн./карат, що відповідає 0,05 грн./мг; хвилинна тарифна ставка заточувальника 4 розряду станом на 01.11.2024р. становить у середньому 1,42 грн./хв. Результати розрахунків приведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків питомої собівартості обробки

Продуктивність шліфування $Q$ , мм <sup>3</sup> /хв	Відносна витрата КНБ $q_p$ , мг/г	Розрахункова продуктивність обробки $Q_V$ , см <sup>3</sup> /хв	Вартість КНБ в крузі, $C_{КНБ}$ грн./мг	Вартість робочої сили $C_p$ , грн./хв	Питома собівартість обробки $C_V$ , грн./см <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
при $V = 15$ м/с					
400	5,0524	0,4	2,2230	3,5500	5,77
500	5,6652	0,5	2,4927	2,8400	5,33
600	6,2206	0,6	2,7371	2,3667	5,10
700	6,7325	0,7	2,9623	2,0286	4,99
800	7,2099	0,8	3,1724	1,7750	4,95
900	7,6465	0,9	3,3645	1,5778	4,94
1000	8,0619	1,0	3,5472	1,4200	4,97
1100	8,4659	1,1	3,7250	1,2909	5,02
1200	8,8625	1,2	3,8995	1,1833	5,08

Продовження таблиці 5.1

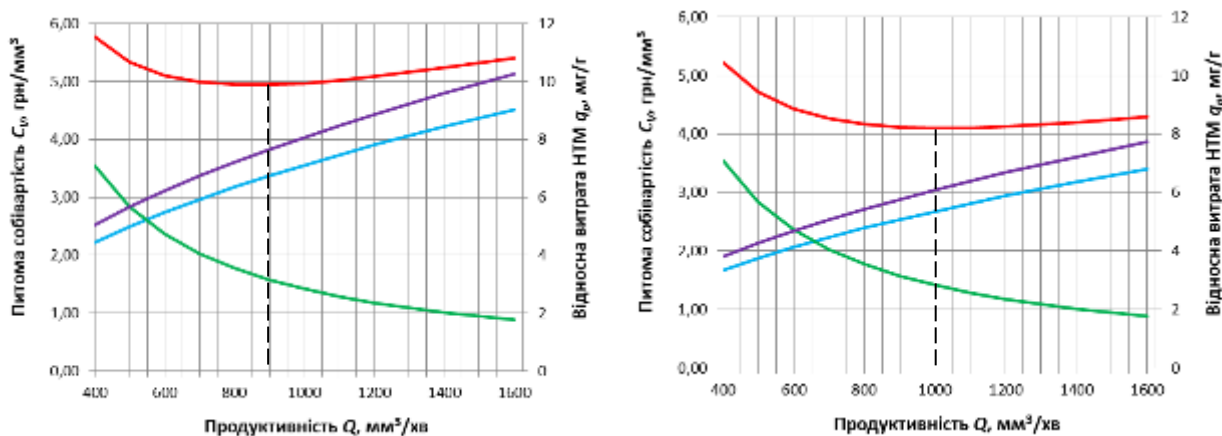
1	2	3	4	5	6
1400	9,5808	1,4	4,2156	1,0142	5,23
1600	10,2601	1,6	4,5144	0,8875	5,40
при $V = 20$ м/с					
400	3,8079	0,4	1,6755	3,5500	5,23
500	4,2697	0,5	1,8787	2,8400	4,72
600	4,6883	0,6	2,0629	2,3667	4,43
700	5,0741	0,7	2,2326	2,0286	4,26
800	5,4339	0,8	2,3909	1,7750	4,17
900	5,763	0,9	2,5357	1,5778	4,11
1000	6,0761	1,0	2,6735	1,4200	4,09
1100	6,3805	1,1	2,8074	1,2909	4,10
1200	6,6795	1,2	2,9390	1,1833	4,12
1400	7,2208	1,4	3,1772	1,0142	4,19
1600	7,7328	1,6	3,4024	0,8875	4,29
при $V = 25$ м/с					
400	3,0579	0,4	1,3455	3,5500	4,90
500	3,4287	0,5	1,5086	2,8400	4,35
600	3,7649	0,6	1,6566	2,3667	4,02
700	4,0747	0,7	1,7929	2,0286	3,82
800	4,3636	0,8	1,9200	1,7750	3,69
900	4,6279	0,9	2,0363	1,5778	3,61
1000	4,8793	1,0	2,1469	1,4200	3,57
1100	5,1238	1,1	2,2545	1,2909	3,55
1200	5,3639	1,2	2,3601	1,1833	3,54
1400	5,7986	1,4	2,5514	1,0142	3,57
1600	6,2097	1,6	2,7323	0,8875	3,62

Приведені дані показали, що зі збільшенням швидкості різання у 1,67 рази та продуктивності у 1,33 рази відносна витрата КНБ зменшується у 1,43 рази і значення мінімальної питомої собівартості також зменшується у 1,40 рази.

Аналіз графіків складових загальної питомої собівартості обробки  $C_V$  показав, що з підвищенням продуктивності обробки витрати на шліфувальний інструмент, що віднесені до одиниці знятого оброблювального матеріалу, зростають, а витрати, пов'язані з витратами на оплату праці робочої сили, зменшуються.

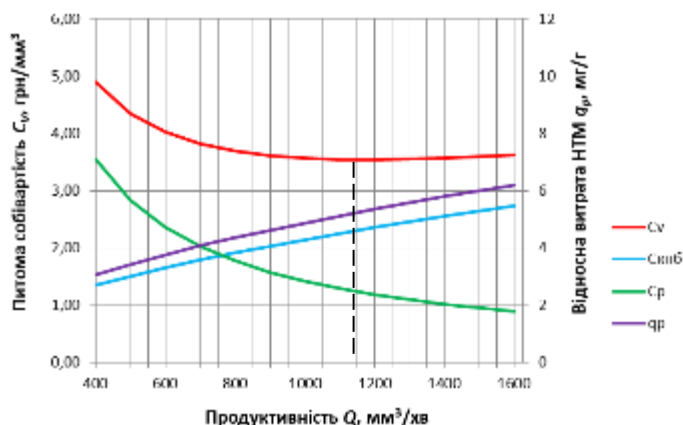
Функція  $C_V = f(Q)$  має чітко виражений мінімум при різних значеннях

швидкості різання та продуктивності (рис. 5.1). При подальшому зростанні продуктивності обробки спостерігається збільшення питомої собівартості обробки. Це пояснюється тим, що витрати на шліфувальний інструмент вже не компенсуються підвищенням продуктивності обробки та зниженням витрат на оплату праці.



а)

б)



в)

Рисунок 5.1 – Залежність питомої собівартості обробки  $C_v$ ,  $\text{grn}/\text{mm}^3$ , і відносної витрати КНБ  $q_p$ ,  $\text{mg}/\text{g}$ , від продуктивності  $Q$ ,  $\text{mm}^3/\text{хв}$ , при обробці швидкорізальної сталі P18 зі швидкістю:

$$a — V = 15 \text{ м/с}; \quad б — V = 20 \text{ м/с}; \quad в — V = 25 \text{ м/с}$$

Отже, досліджуваний кубонітовий круг доцільно використовувати у випадках, коли необхідно забезпечення високої продуктивності.

Для надання рекомендацій щодо ефективного використання шліфувального

круга форми 12A2-45° діаметром 150 мм, шириною 20 мм із зернами КНБ марки КВ зернистістю 125/100 100%-вої концентрації на полімерній зв'язці В2-08 при шліфуванні швидкорізальної сталі Р18, приведемо режими різання та показники якості оброблюваної поверхні, які вони забезпечують, при мінімальній питомо собівартості обробки (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 – Рекомендовані режими різання, що забезпечують ефективне використання шліфувального круга з КНБ

Мінімальна питома собівартість обробки $C_V$ , грн./см <sup>3</sup>	Продуктивність обробки $Q$ , мм <sup>3</sup> /хв	Режими різання			Показники якості обробл. поверхні			
		поздовжня подача $S_{np}$ , м/хв	поперечна подача $S_n$ , мм/подв.хід	швидкість круга $V$ , м/с	середнє арифметичне відхилення профілю $R_a$ , мкм	найбільша висота профілю $R_{max}$ , мкм	середній крок мікронерівностей $S_m$ , мкм	відносна опорна довжина профілю $t_{50}$ , %
4,94	900	0,6	0,15	15	0,27	2,09	37	63,11
4,09	1000	0,8	0,125	20	0,25	2,01	36	70,47
3,54	1200	0,6	0,2	25	0,20	1,77	35	79,06

### Висновки до розділу 5

1. Розраховано питому собівартість обробки, функція якої від продуктивності  $C_V = f(Q)$  має чітко виражений мінімум при різних значеннях швидкості різання та продуктивності.

2. Встановлено, що з підвищенням продуктивності обробки витрати на шліфувальний інструмент, що віднесені до одиниці знятого оброблювального матеріалу, зростають, а витрати, пов'язані з витратами на оплату праці робочої сили, зменшуються.

3. Розроблено рекомендації щодо ефективного використання шліфувального круга з КНБ при шліфуванні швидкорізальної сталі Р18 у досліджуваному діапазоні режимів різання.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз конструкцій робочих органів сільськогосподарської техніки та їх умов роботи показав, що незважаючи на їх різноманіття та галузі застосування, для ефективного виконання машиною поставлених завдань їх різальні елементи повинні мати оптимальні геометричні форми, розміри та якість поверхонь. Встановлено, що одним з важливих параметрів, що впливають на ефективність роботи сільськогосподарської техніки, є кут заточування різальних лез. Крім того, різальні елементи таких робочих органів у процесі їх роботи зношуються та підлягають періодичному переточуванню. Таким чином, процес заточування відіграє велику роль у забезпеченні працездатності різальних лез, а операції заточування (шліфування) є невід'ємною частиною технологічного процесу виготовлення або відновлення різальних елементів.

Аналіз методів відновлення різальної здатності робочих органів машин показав, що отримання заданих кутів можливо таким методом механічної обробки як заточування. Встановлено, що заточування різальних елементів робочих органів, виготовлених зі швидкорізальної сталі P18, доцільно виконувати шліфувальними кругами з КНБ, ефективність експлуатації яких визначається витратами на інструмент, що залежать від інтенсивності зносу.

2. Встановлено, що важливим технологічним показником експлуатаційних властивостей шліфувального круга є відносна (питома) витрата зерен КНБ, результати досліджень якої іншими науковцями носить суперечливий характер. Для оцінювання працездатності шліфувального круга обрано показники: відносна витрата КНБ  $q_p$ , продуктивність шліфування  $Q$  та питома собівартість обробки  $C_v$ . Для оцінювання якості обробленої поверхні обрано показники шорсткості: середнє арифметичне відхилення профілю  $Ra$ ; найбільша висота профілю  $R_{max}$  ( $Rt$ ); середній крок мікронерівностей  $Sm$ ; відносна опорна довжина профілю  $t_p$ .



Описано методику експериментальних досліджень показників працездатності шляхом визначення геометричних параметрів різальної поверхні шліфувального круга в радіальному напрямку на базі інструментального мікроскопа, що дозволяє вимірювати параметри профілю круга. При проведенні досліджень використано методику планування багатофакторного експерименту 2<sup>3</sup>.

3. За результатами експериментальних досліджень отримано комплексні залежності відносної витрати КНБ від режимів різання. Встановлено, що вплив поперечної та поздовжньої подач на відносний знос НТМ практично рівнозначний, що доводить про залежність показників працездатності кругів від продуктивності процесу шліфування незалежно від поєднання значень подач.

Отримані комплексні залежності параметрів шорсткості оброблених поверхонь від режимів обробки, аналіз яких показав, що для зниження шорсткості необхідно збільшити швидкість різання або зменшити поздовжню та/або поперечну подачі, проте їх зменшення приведе до зниження продуктивності обробки.

4. Проведено розрахунки питомої собівартості обробки та встановлено, що з підвищенням продуктивності обробки витрати на шліфувальний інструмент, що віднесені до одиниці знятого оброблювального матеріалу, зростають, а витрати, пов'язані з витратами на оплату праці робочої сили, зменшуються. Таким чином, функція  $C_V = f(Q)$  має чітко виражений мінімум при різних значеннях швидкості різання та продуктивності.

Розроблено рекомендації щодо ефективного використання шліфувального круга з КНБ при шліфуванні швидкорізальної сталі P18 у досліджуваному діапазоні режимів різання.

**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Лавріненко В. І. Особливості морфології порошків з кубічного нітриду бору та їх спрямоване використання у шліфувальному інструменті / В. І. Лавріненко, В. В. Смоквина, В. Ю. Солод // Сучасні технології в машинобудуванні = Modern technologies in mechanical engineering : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2013. – Вип. 8. – С. 56-65.
2. Музичка Д.Г. Дослідження працездатності шліфувальних кругів з кнб при обробці сталі Р18 / Д.Г. Музичка // Тези доповідей III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу». 15 листопада 2024 р., м. Дніпро. – С. 167-168.
3. Музичка Д.Г. Вплив режимів різання на показники якості при обробці сталі Р18 кругами з КНБ / Д. Г. Музичка, С.В. Калініченко, І.С. Кашинський // Тези доповідей VI-ої міжнародної науково-технічної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2016)». 26-29 квітня 2016 р., м. Чернігів. – С. 140-141.
4. Пасюта А.Г. Розробка комплексної технології виробництва та відновлення культиваторних лап : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / А.Г. Пасюта. – Харків, 2015. – 164 с.
5. Шкрегаль О.М. Обґрунтування параметрів процесу і енергозберігаючих робочих органів культиваторів : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.М. Шкрегаль. – Харків, 2011. – 127 с.
6. Пугач А.М. Обґрунтування параметрів культиваторних лап, оснащених елементами локального зміцнення : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / А.М. Пугач. – Дніпро, 2010. – 166 с.
7. Саїнсус О.Д. Підвищення довговічності лап культиваторів композиційними покриттями перемінного складу : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.Д. Саїнсус. – Кіровоград, 2008. – 159 с.

8. Гуменюк Ю.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи вібраційної розпушувальної лапи культиватора : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Ю.О. Гуменюк. – Київ, 2012. – 178 с.

9. Падалка В.В. Обґрунтування параметрів активної культиваторної лапи для поверхневого обробітку ґрунту : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В.В. Падалка. – Полтава, 2010. – 154 с.

10. Пащенко В.Ф. Механіко-технологічні засоби еколого-економічного удосконалення процесів обробітку ґрунту : дисс. ... докт. техн. наук : 05.05.11 / В.Ф. Пащенко. – Харків, 2005. – 267 с.

11. Шевчук В.В. Обґрунтування параметрів і режимів роботи голчатої борони : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В.В. Шевчук. – Дослідницьке, 2015. – 212 с.

12. Овчаренко О.А. Обґрунтування параметрів робочого органу глибокорозпушувача для об'ємного смугового обробітку ґрунту : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.А. Овчаренко. – Луганськ, 2005. – 197 с.

13. Рижий О.П. Обґрунтування параметрів багатоярусного агро меліоративного розпушувача : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.П. Рижий. – Рівне, 2003. – 181 с.

14. Мнушко М.О. Обґрунтування конструктивних параметрів нахилоного розпушувача для безполицевої обробки ґрунту : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / М.О. Мнушко. – Луганськ, 2012. – 140 с.

15. Дудник В.В. Розробка технології відновлення та підвищення надійності лемешів ґрунтообробних машин : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В.В. Дудник. – Харків, 2012. – 167 с.

16. Кириченко А.Л. Обґрунтування параметрів фрезерного робочого органа культиватора для мульчування ґрунту з грубостебловими рослинними залишками : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / А.Л. Кириченко. – Глеваха, 2012. – 130 с.

17. Мінько С.А. Обґрунтування параметрів робочих органів фрезерної машини для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах інтенсивного саду : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / С.А. Мінько. – Мелітополь, 2017. – 147 с.

18. Шатров Р.В. Обґрунтування параметрів висувної секції з вертикальною фрезою для обробітку ґрунту в садах інтенсивного типу : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Р.В. Шатров. – Київ, 2006. – 175 с.

19. Корчак М.М. Обґрунтування технологічних параметрів комбінованого фрезерного подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / М.М. Корчак. – Вінниця, 2011. – 158 с.

20. Семенюта А.М. Обґрунтування конструктивної схеми, параметрів та режимів роботи дискового плуга : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / А.М. Семенюта. – Мелітополь, 2013. – 143 с.

21. Вольський В.А. Удосконалення параметрів ґрунтообробних сферичних дискових робочих органів з нахиленою віссю обертання : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В.А. Вольський. – Глеваха, 2016. – 196 с.

22. Матковський О.І. Обґрунтування параметрів робочого органу плуга для викопування саджанців плодкових культур : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.І. Матковський. – Мелітополь, 2016. – 144 с.

23. Чвартацький Р.І. Обґрунтування параметрів машин для подрібнення і змішування кормів : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Р.І. Чвартацький. – Тернопіль, 2017. – 184 с.

24. Гербер Ю.Б. Обґрунтування технічних засобів в системі СР- технології виробництва молочних продуктів в умовах агропромислових підприємств : дисс. ... докт. техн. наук : 05.05.11 / Ю.Б. Гербер. – Київ, 2013. – 334 с.

25. Мерінець Н.А. Обґрунтування параметрів процесу і розробка кормоагрегату рідких гомогенних кормових сумішей із зерна : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Н.А. Мерінець. – Харків, 2015. – 245 с.

26. Холодюк О.В. Обґрунтування параметрів бітерно-ножового апарата для подрібнення трав'яної маси : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.В. Холодюк. – Вінниця, 2016. – 165 с.

27. Ковальов С.В. Підвищення ефективності подрібнювача коренеплодів і обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів його робочих органів : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / С.В. Ковальов. – Луганськ, 2012. – 131 с.

28. Козаченко О.В. Ресурсозбереження в сільськогосподарських агрегатах при виконанні технологічних операцій у рослинництві : дисс. ... докт. техн. наук : 05.05.11 / О.В. Козаченко. – Харків, 2006. – 386 с.

29. Говоров О.Ф. Обґрунтування параметрів подрібнювача рослинних решток з вертикальною віссю обертання : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.Ф. Говоров. – Глеваха, 2012. – 212 с.

30. Руткевич В.С. Обґрунтування параметрів системи гідроприводів блочно-порційного відокремлювача консервованих кормів : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В.С. Руткевич. – Вінниця, 2017. – 196 с.

31. Фастовець П.М. Підвищення довговічності ексцентрикового механізму віброкопачів бурякозбиральних машин зміцненням при виготовленні і ремонті : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / П.М. Фастовець. – Глеваха, 2009. – 157 с.

32. Солтисюк В.І. Обґрунтування параметрів навісних коренезбиральних пристроїв : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В.І. Солтисюк. – Вінниця, 2009. – 186 с.

33. Біловод О.І. Підвищення надійності і обґрунтування параметрів процесу виробництва і відновлення розроблених дискових копачів бурякозбиральних машин : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.І. Біловод. – Харків, 2008. – 175 с.

34. Морозов І.В. Технологічні і технічні основи удосконалення конструкцій сошників зернових сівалок : дисс. ... докт. техн. наук : 05.05.11 / І.В. Морозов. – Тернопіль, 2003. – 347 с.

35. Канівець О.В. Обґрунтування параметрів процесу відновлення та підвищення надійності дисків сошників зернових сівалок : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.В. Канівець. – Харків, 2012. – 160 с.

36. Карабиньош С. Відновлення деталей – друге життя сільгосптехніки [електронна версія] / С. Карабиньош, А. Новицький, І. Власой // Пропозиція (інтернет-журнал). – URL: <https://propozitsiya.com/ua/vidnovlennya-detaley-drugye-zhittya-silgosptehniki>

37. Дудніков А.А. Способи відновлення деталей сільськогосподарських машин / А.А. Дудніков, І.А. Дудніков, В.В. Дудник, О.А. Бурлака // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. Технічні науки. – 2021. – №2. – С. 280-285. – URL: <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/1527/1928>

38. Рубльов В.І. Концепція і науково-технічні основи забезпечення якості сільськогосподарської техніки при поставці (в умовах ринкової економіки) : дисс. ... докт. техн. наук : 05.05.11 / В.І. Рубльов. – Біла Церква, 2001. – 400 с.

39. Основні технологічні процеси відновлення деталей : конспект лекцій. // Луцький національний технічний університет, м. Луцьк. – URL: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/11/other/4\\_1\\_.pdf](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/4_1_.pdf)

40. Дідур В.В. Конспект лекцій з дисципліни «Ремонт машин і обладнання» для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія» / В.В. Дідур // Уманський національний університет садівництва, м. Умань. – 2020. – 134 с. – URL: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/11/other/4\\_1\\_.pdf](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/4_1_.pdf)

41. Левкович М.Г. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для студентів всіх форм навчання за напрямком підготовки 6.070106 «Автомобільний транспорт» / М.Г. Левкович, П.В. Босюк, М.Д. Радик // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль. – 2014. – 118 с. – URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/18326/1/2016%20%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B4%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%B9%20%D0%9D.pdf>

42. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини : Електронний посібник // Д.Г. Войтюк та ін. (14 осіб) [електронна версія]. – URL:

<https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agroinjenerija/Agricultural%20machinery/Zmist/Zmist.htm>

43. Музичка Д.Г. Підвищення ефективності шліфування твердих сплавів спрямованим обмеженням формозміни різальної поверхні шліфувальних кругів : дисс. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Д.Г. Музичка. – Чернігів, 2015. – 182 с.

44. Закон України «Про охорону праці» зі змінами і доповненнями (остання редакція від 19.08.2022). – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

45. Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» зі змінами і доповненнями (остання редакція від 27.10.2022). – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12>

46. Кодекс законів про працю України зі змінами і доповненнями (остання редакція від 19.11.2022). – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text>

47. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» зі змінами і доповненнями (остання редакція від 02.04.2022). – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14#Text>

48. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» зі змінами і доповненнями (остання редакція від 20.11.2022). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text>

49. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» зі змінами і доповненнями (остання редакція від 10.07.2022). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

50. Кодекс цивільного захисту України зі змінами і доповненнями (остання редакція від 29.10.2022). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>

51. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» зі змінами і доповненнями (остання редакція від 16.10.2022). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80#Text>

52. ДСН 3.3.6.042–99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Режим доступу: [http://nbuviap.gov.ua/images/nub/Dmap/15\\_sanitar%20normy%20mikroklimatu.pdf](http://nbuviap.gov.ua/images/nub/Dmap/15_sanitar%20normy%20mikroklimatu.pdf)

53. ДСН 3.3.6.037–99. Державні санітарні норми виробничого шуму. – Режим доступу: <http://arm.te.ua/docs/DSN-3.3.6.037-99.pdf>

54. ДСН 3.3.6.039–99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. – Режим доступу: [http://arm.te.ua/docs/DSN\\_3.3.6.039-99.pdf](http://arm.te.ua/docs/DSN_3.3.6.039-99.pdf)

55. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 137 с. – Режим доступу: [https://ledeffect.com.ua/images/\\_branding/dbn2018.pdf](https://ledeffect.com.ua/images/_branding/dbn2018.pdf)

56. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 149 с. – Режим доступу: [www.uden-s.ua > download > documents > file > ДБН В.2.5-672013.pdf](http://www.uden-s.ua/download/documents/file/ДБН_В.2.5-672013.pdf)

57. ДСТУ Б А.3.2-12:2009. ССБП. Системи вентиляційні. Загальні вимоги. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 137 с. – Режим доступу: <http://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/1535-dstu-b-a-3-2-122009-ssbp-sistemi-ventilacijni-zagalni-vimogi>

58. ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. – М.: Стандартиформ, 2008. – 50 с. – Режим доступу: <https://files.stroyinf.ru/Data/15/1583.pdf>

59. Журавель Д.П. Методологія підвищення надійності сільськогосподарської техніки при використанні біопально-мастильних матеріалів : дисс. ... докт. техн. наук : 05.05.11 / Д.П. Журавель. – Мелітополь, 2018. – 438 с.

60. Коломєць В.А. Підвищення надійності паливних систем сільськогосподарської техніки, працюючої на метилових біопаливах : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В.А. Коломєць. – Мелітополь, 2014. – 175 с.





ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерно-технологічний факультет

# ДИПЛОМНА РОБОТА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ  
ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Доповідач: здобувач вищої освіти групи МГАІз-1-23  
Музичка Д.Г.

Керівник : доктор філософії  
Лупко К.О.

Дніпро, 2024



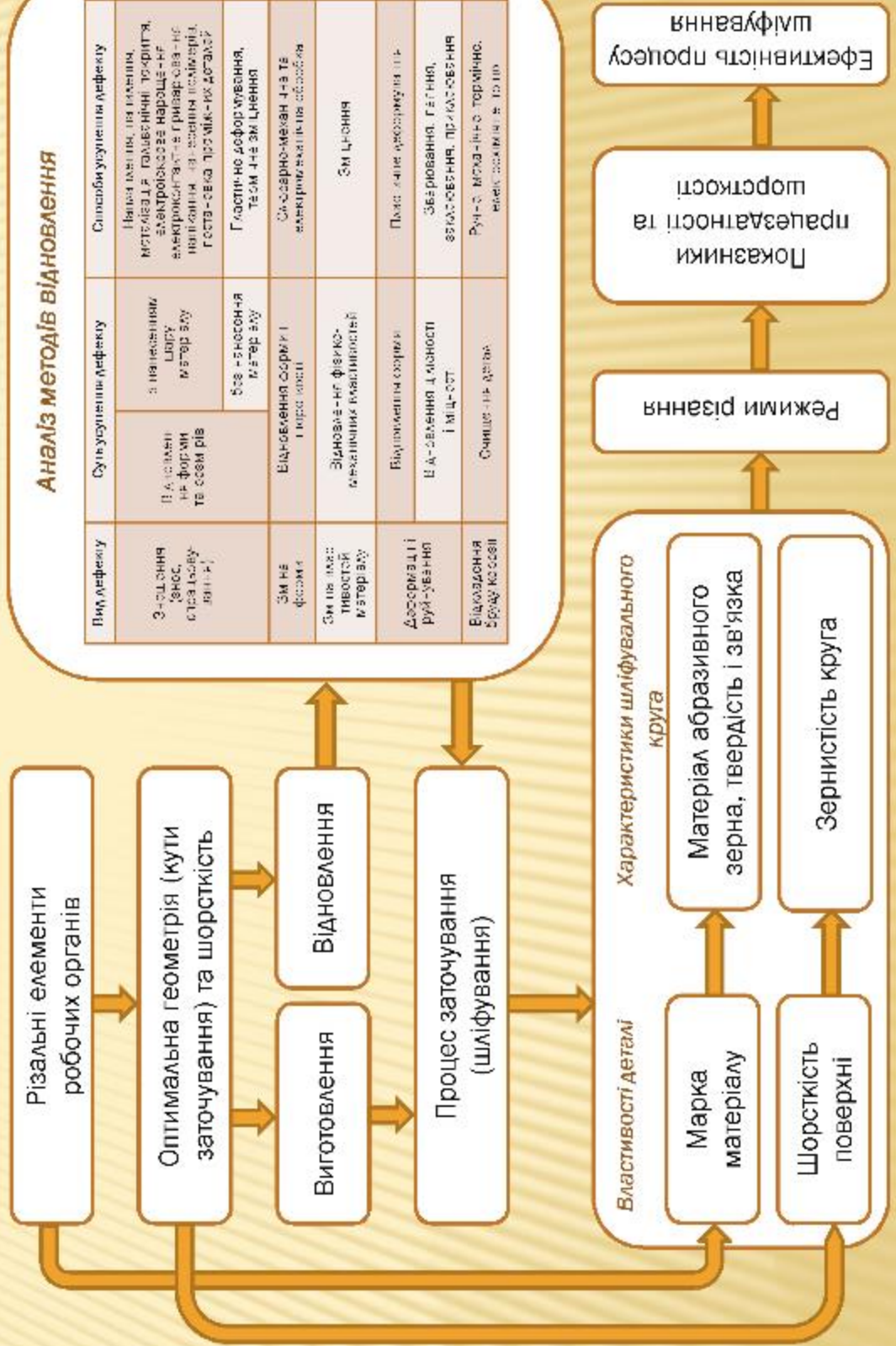
# АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

Групи машин					
Робочі органи машин	для обробки ґрунту	валки культиваторів	Різальні елементи, що потребують заточування		
	для обробки ґрунту	ножі і вемеші розпушувачів та ґрунтообробних машин			
		робочі органи типу фрези			
		дискові робочі органи ґрунтообробних машин			
		скоби плугів			
		ножів машин для подрібнення і змішування кормів			
	для заготівлі кормів	ножі кормоагрегату			
		ножі подрібнювачів рослинних кормів			
	для приготування кормів	ножі подрібнювачів коренеплодів			
		ножі подрібнювачів рослинних кормів			
		ножі бітрово-ножового апарату для подрібнення трав'яної маси			
		ножі бачоно-порційного відкормлювача консервованих кормів			
		для збирання коренебульбо-плодів		вемеші віброкопачів	
				бурякозбиральних машин	
	вемеші навісних коренезбиральних пристроїв				
диски дискових копачів бурякозбиральних машин					
посівні та садильні	диски сошників зернових сіялок				





# АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ



## Аналіз методів відновлення

Вид дефекту	Суть усушення дефекту	Спосіб усушення дефекту
Зміна форми (знос, сколювання)	Підготовка на формі та осей різ	Повна зміна, наприклад, методів та технологій токарія, електроерозійна нарізка на електрошліфувальних пристроях, напівавтоматична обробка на верстаті, геста-ска, проміж-на добувку
Зміна форми	Відновлення сорти і точності	Глазирне доформування, терм-на зміна
Зміна властивостей матеріалу	Зрновленні фізико-механічних властивостей	Спосередньо-нарізка та електроерозійна обробка
Дослідити руйнування	Відновлення сорти	Зміцнення
Відновлення бруду ковзів	Відновлення сорти і міцності	Полірування, доформування
	Сниження шорсткості	Зварювання, галіювання, зварювання, приладування
	Сниження шорсткості	Ручна механічна торміювання, добувка, топу



## МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Метою роботи** є підвищення ефективності використання шліфувальних кругів з КНБ на полімерній зв'язці для відновлення деталей сільськогосподарської техніки зі швидкорізальної сталі Р18 шляхом дослідження їх працездатності.

**Об'єкт дослідження** – процес шліфування кугами з КНБ швидкорізальних сталей.

**Предмет дослідження** – підвищення ефективності шліфування швидкорізальних сталей на основі цілеспрямованого впливу режимів різання на показники працездатності шліфувальних кругів та якості оброблюваних поверхонь.

### **Задачі:**

1. Проаналізувати конструкції робочих органів сільськогосподарської техніки, що оснащені різальними елементами, та встановити параметри, що впливають на ефективність їх використання, та визначити шляхи забезпечення їх працездатності.
2. Розробити методику та провести експериментальні дослідження впливу режимів обробки на показники ефективності шліфувального круга.
3. Провести дослідно-теоретичну перевірку ефективності розробок та надати рекомендації щодо практичного застосування шліфувальних кругів з КНБ при обробці швидкорізальної сталі.





# МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## Показники ефективності шліфувальних кругів

1. Відносна витрата НТМ:

$$q_p = \frac{m_{шліф} \cdot 10^3}{m_{світл}}, \text{ мг/г.}$$

2. Продуктивність шліфування:

$$Q = S_{\text{оп}} \cdot S_n \cdot B_{\text{рш}}, \text{ мм}^3/\text{хв.}$$

3. Питома собівартість обробки:

$$C_y = q_p \cdot \rho \cdot C_{\text{шліф}} + \frac{C}{Q}, \text{ грн/см}^3$$

4. Показники обробленої поверхні зразків:

- середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$ , мкм;
- найбільша висота профілю  $R_{\text{max}}$  (Rt), мкм;
- середній крок мікронерівностей  $S_m$ , мкм;
- відносна опорна довжина профілю  $t_{pr}$ , %.

## Характеристика шліфувального інструмента



Круг форми 12A2-45°  
діаметром 150 мм,  
шириною 20 мм із  
зернами КНБ марки  
КВ зернистістю  
125/100 100%-вої  
концентрації на  
полімерній зв'язці  
В2-08.

## Оброблюваний матеріал



Зразки зі швидкорізаль-  
ної сталі Р18 перетином  
10x16 мм



# МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## Обладнання



Універсально-заточувальний верстат мод. 3A642E



Пристосування для затиску оброблюваних зразків

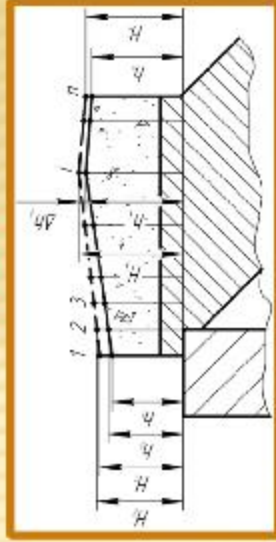


Пристосування для вимірювання лінійного зносу круга



Наконечник головки вимірювального пристрою

Схема вимірювання лінійного зносу профілю круга



Профілометр Surftest SJ-201 МІТУТОЮ (Японія) та





# МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

**Функціональна залежність  
показника A від режимів різання**

$$A = C \cdot V^n \cdot S_{np}^y \cdot S_n^x$$

$$\lg A = \lg C + n \lg V + y \lg S_{np} + x \lg S_n$$

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \zeta$$

$$n = b_1 \frac{2}{(\lg V_{\max} - \lg V_{\min})}; \quad y = b_2 \frac{2}{(\lg S_{np \max} - \lg S_{np \min})};$$

$$x = b_3 \frac{2}{(\lg S_{n \max} - \lg S_{n \min})}$$

де  $y = \lg(A)$  – логарифми даних, отриманих експериментально;

$b_0, b_1, b_2, b_3$  – значення коефіцієнтів;

$x_1, x_2, x_3$  – логарифми параметрів режиму різання  $V, S_{np}, S_n$ ;

$\zeta$  – похибка експерименту.

**Рівняння вектору коефіцієнтів**

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y$$

**Матриця незалежних змінних  
 $X(N \times k)$  для серії  $N$  дослідів та  $k$  факторів**

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0N} & x_{1N} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T y =$$

$$= \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0N} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0N} & x_{1N} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix}$$



# РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ

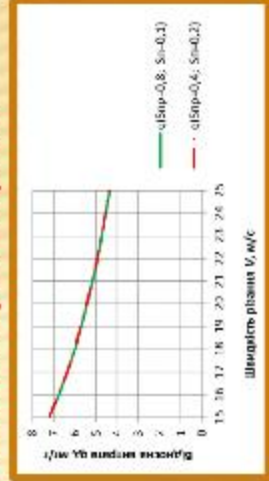
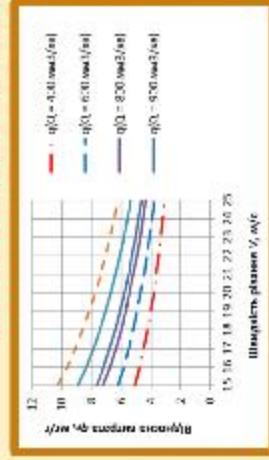
Отримана залежність

відносної витрати КНБ  $q_p$ , мг/г,  
від режимів різання

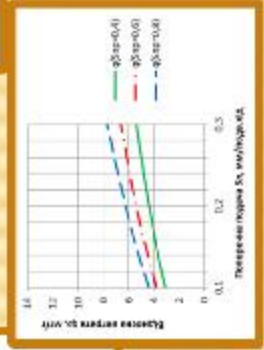
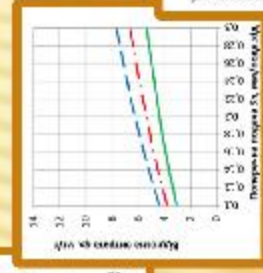
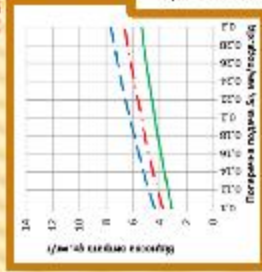
$$q_p = 375,965 \cdot V^{-0,983} \cdot S_{np}^{0,509} \cdot S_n^{0,513}, \text{ мг/г}$$

у досліджуваному діапазоні режимів:  
швидкість різання  $V = 15\text{--}25$  м/с;  
поперечная подача  $S_n = 0,1\text{--}0,2$  мм/пов.хід;  
повздовжня подача  $S_{np} = 0,4\text{--}0,8$  м/хв.

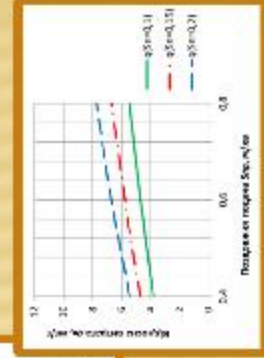
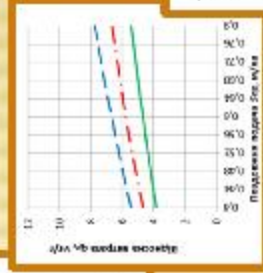
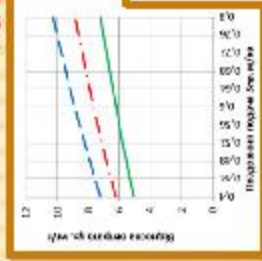
Вплив швидкості різання на відносну витрату КНБ



Вплив поперечної подачі на відносну витрату КНБ



Вплив повздовжньої подачі на відносну витрату КНБ







# РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОБРІВКИ

Отримані залежності показників якості  
від режимів різання

$$Ra = 2,619 \cdot V^{0,671} \cdot S_{np}^{0,432} \cdot S_n^{0,174}, \text{ мкм};$$

$$R_{\text{max}} = 10,605 \cdot V^{-0,117} \cdot S_{np}^{0,381} \cdot S_n^{0,158}, \text{ мкм};$$

$$S_m = 138,665 \cdot V^{-0,241} \cdot S_{np}^{0,287} \cdot S_n^{0,271}, \text{ мкм};$$

$$l_{\gamma} = 12,001 \cdot V^{0,202} \cdot S_{np}^{-0,187} \cdot S_n^{-0,108}, \%$$

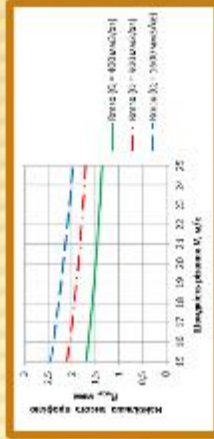
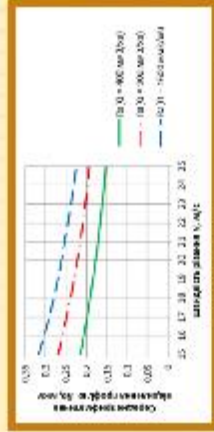
у досліджуваному діапазоні режимів різання:

швидкість різання  $V = 15\text{--}25$  м/с;

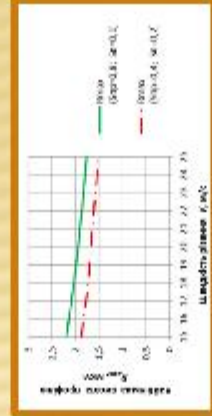
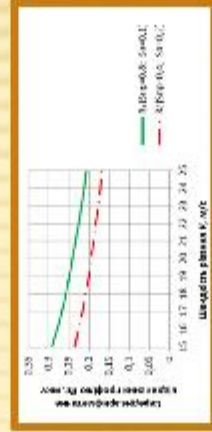
поперечна подача  $S_{np} = 0,1\text{--}0,2$  мм/пов.хід;

поздовжня подача  $S_{no} = 0,4\text{--}0,8$  мм/хв.

Вплив швидкості різання  
на параметри шорсткості  $R_a$  та  $R_{\text{max}}$

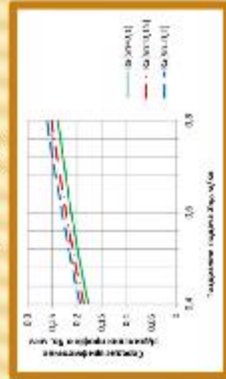
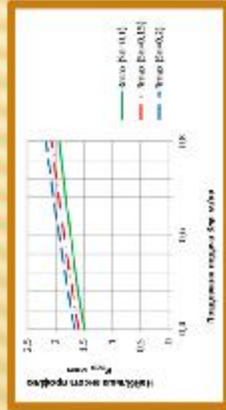


з різною продуктивністю

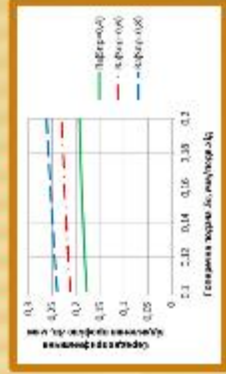
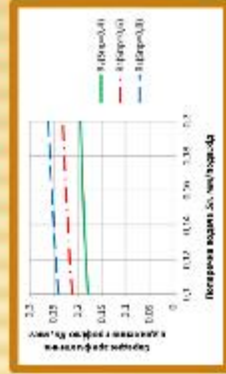


з однаковою продуктивністю, але при різних поєднаннях подач

Вплив поздовжньої подачі  
на параметри шорсткості  $R_a$  та  $R_{\text{max}}$



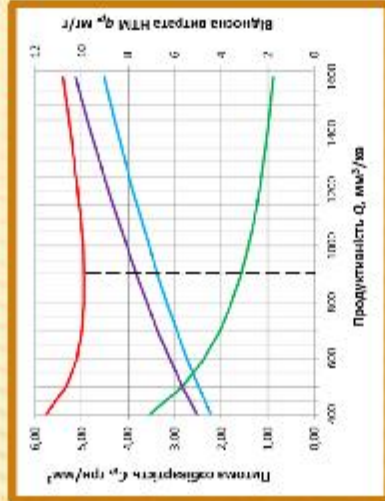
Вплив поперечної подачі  
на параметри шорсткості  $R_a$  та  $R_{\text{max}}$



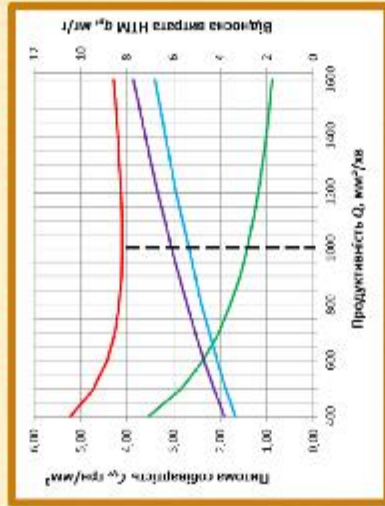


# ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

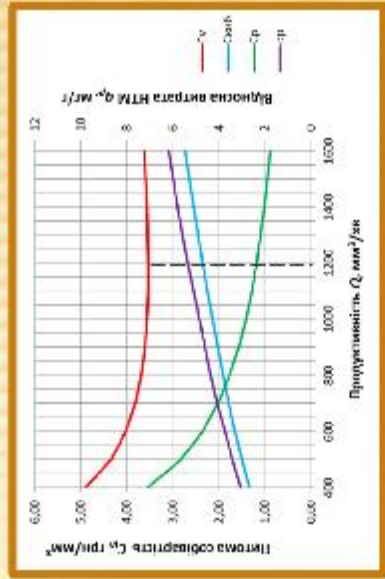
Залежність питомої собівартості обробки  $C_v$ , грн/мм<sup>3</sup>, і відносної витрати КНБ  $q_{pr}$ , мг/г, від продуктивності  $Q$ , мм<sup>3</sup>/хв, при обробці швидкорізальної сталі Р18 зі швидкістю:



$V = 15$  м/с



$V = 20$  м/с



$V = 25$  м/с

**Рекомендовані режими різання, що забезпечують ефективне використання шліфувального круга з КНБ**

Мінімальна питоміть обробки $C_v$ , грн./см <sup>3</sup>	Режими різання				Показники якості обробленої поверхні			
	Продуктивність обробки $Q$ , мм <sup>3</sup> /хв	поперечна подача $S_p$ , мм/об.х/д	швидкість круга $V$ , м/с	середнє арифм. відхилення профілю $R_a$ , мкм	найбільша висота профілю $R_{max}$ , мкм	середній крок мікронерівностей $S_{mz}$ , мкм	Відносна опорна довжина профілю $t_{so}$ , %	
4,94	900	0,15	15	0,27	2,09	37	63,11	
4,09	1000	0,125	20	0,25	2,01	36	70,47	
3,54	1200	0,2	25	0,20	1,77	35	79,06	





## ВИСНОВКИ

- 1. Аналіз конструкцій робочих органів сільськогосподарської техніки та їх умов роботи показав, що незважаючи на їх різноманітність та галузі застосування, для ефективного виконання машиною поставлених завдань їх різальні елементи повинні мати оптимальні геометричні форми, розміри та якість поверхонь. Встановлено, що одним з важливих параметрів, що впливають на ефективність роботи сільськогосподарської техніки, є кут заточування різальних лез. Крім того, різальні елементи таких робочих органів у процесі їх роботи зношуються та підлягають періодичному переточуванню. Таким чином, процес заточування відіграє велику роль у забезпеченні працездатності різальних лез, а операції заточування (шліфування) є невід'ємною частиною технологічного процесу виготовлення або відновлення різальних елементів.**

**Аналіз методів відновлення різальної здатності робочих органів машин показав, що отримання заданих кутів можливо таким методом механічної обробки як заточування. Встановлено, що заточування різальних елементів робочих органів, виготовлених зі швидкорізальної сталі Р18, доцільно виконувати шліфувальними кругами з КНБ, ефективність експлуатації яких визначається витратами на інструмент, що залежать від інтенсивності зносу.**
- 2. Встановлено, що важливим технологічним показником експлуатаційних властивостей шліфувального круга є відносна (питома) витрата зерен КНБ, результати досліджень якої іншими науковцями носить суперечливий характер. Для оцінювання працездатності шліфувального круга обрано показники: відносна витрата КНБ  $q_p$ , продуктивність шліфування  $Q$  та питома собівартість обробки  $C_p$ . Для оцінювання якості обробленої поверхні обрано показники шорсткості: середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$ ; найбільша висота профілю  $R_{max}$  ( $R_z$ ); середній крок мікронерівностей  $S_m$ ; відносна опорна довжина профілю  $t_p$ .**

**Описано методику експериментальних досліджень показників працездатності шляхом визначення геометричних параметрів різальної поверхні шліфувального круга в радіальному напрямку на базі інструментального мікроскопа, що дозволяє вимірювати параметри профілю круга. При проведенні досліджень використано методику планування багатofакторного експерименту  $2^3$ .**
- 3. За результатами експериментальних досліджень отримано комплексні залежності відносно витрати КНБ від режимів різання. Встановлено, що вплив поперечної та поздовжньої подач на відносний знос НТМ практично рівнозначний, що доводить про залежність показників працездатності кругів від продуктивності процесу шліфування незалежно від поєднання значень подач.**

**Отримані комплексні залежності параметрів шорсткості оброблених поверхонь від режимів обробки, аналіз яких показав, що для зниження шорсткості необхідно збільшити швидкість різання або зменшити поздовжню та/або поперечну подачі, проте їх зменшення приведе до зниження продуктивності обробки.**
- 4. Проведено розрахунки питомої собівартості обробки та встановлено, що з підвищенням продуктивності обробки витрати на шліфувальний інструмент, що віднесені до одиниці знятого оброблюваного матеріалу, зростають, а витрати, пов'язані з витратами на оплату праці робочої сили, зменшуються. Таким чином, функція  $C_p = f(Q)$  має чітко виражений мінімум при різних значеннях швидкості різання та продуктивності.**

**Розроблено рекомендації щодо ефективного використання шліфувального круга з КНБ при шліфуванні швидкорізальної сталі Р18 у досліджуваному діапазоні режимів різання.**