

ISSN 2078-4481

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ВІСНИК

**ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

3(94)

Частина 1

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 4 від 28.10.2025 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України
категорії «Б» зі спеціальностей: C1, D1, D2, D3, D5, D7, J3
(Наказ МОН України від 17.03.2020 № 409);
D4 (Наказ МОН України від 29.06.2021 № 735);
J5, J6, J7, J8, F2, F3, F5, F6, F7, G7, G8, G9, G11
(Наказ МОН України від 02.07.2020 № 886);
G1, G3, G4, G15 (Наказ МОН України від 24.09.2020 № 1188)

Журнал включено до наукометричних баз, електронних бібліотек та репозитаріїв:
GoogleScholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

Редакційна колегія

Головний редактор

Литвиненко В. І.

д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук,
заслужений діяч науки і техніки України

Заступник головного редактора

Сарібєкова Ю. Г.

д.т.н., професор

Шерстюк В. Г.

д.т.н., професор, проректор з навчальної роботи

Відповідальний секретар

Лур'є І. А.

к.т.н., доцент, начальник навчально-методичного відділу, доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

Члени редакційної колегії

Баганов Є. О.	к.т.н., доцент
Березовський Ю. В.	д.т.н., доцент
Бойко Г. А.	к.т.н., доцент
Вороненко М. О.	к.т.н., доцент
Гончар О. І.	д.е.н., професор
Горбачов П. Ф.	д.т.н., професор
Дімітрова В.	д.н., доцент
Джерелюк Ю. О.	д.е.н., професор
Євтушенко В. В.	к.т.н., доцент
Жарікова М. В.	д.т.н., професор
Зубкова К. В.	к.т.н., доцент
Корчевська Л. О.	д.е.н., професор
Кузьміна Т. О.	д.т.н., професор
Куник О. М.	к.т.н., доцент
Луб'яний П. В.	к.т.н., доцент
Наумов О. Б.	д.е.н., професор
Олійник Н. М.	к.т.н., доцент
Плющ Р. М.	д.держ.упр., професор
Половцев О. В.	д.держ.упр., к.т.н., професор
Рудакова Г. В.	д.т.н., професор
Русанов С. А.	к.т.н., доцент
Савін С. Ю.	д.е.н., доцент
Салєба Л. В.	к.т.н., доцент
Семешко О. Я.	д.т.н., професор
Сідельникова Л. П.	д.е.н., професор
Smolarz A. (Польща)	dr.hab.inz.
Стоянова О. В.	к.т.н., доцент
Топалова Е. Х.	к.держ.упр., доцент
Філіппова В. Д.	д.держ.упр., професор
Хрущ Н. А.	д.е.н., професор
Чепелюк О. В.	д.т.н., професор
Шандова Н. В.	д.е.н., професор
Шарко О. В.	д.т.н., професор
Шарко М. В.	д.е.н., професор
Шевченко І. І.	д.т.н., професор

ISSN 2078-4481

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY**

VISNYK
**OF KHERSON NATIONAL
TECHNICAL UNIVERSITY**

3(94)
Part 1

Recommended for publication by the Academic Council
of Kherson National Technical University
(Minutes № 4 on 28th October 2025)

The journal is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine Category "B"
in specialties: C1, D1, D2, D3, D5, D7, J3
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 17.03.2020, № 409);
D4 (Ukraine Education and Science Ministry Order dated 29.06.2021, № 735);
J5, J6, J7, J8, F2, F3, F5, F6, F7, G7, G8, G9, G11
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 02.07.2020, № 886);
G1, G3, G4, G15
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 24.09.2020, № 1188)
The journal is included in the scientometric bases, electronic libraries and repositories:
Google Scholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)



Publishing House
"Helvetica"
2025

Editorial Board

Editor-in-Chief

Litvinenko V. I.
Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Informatics and Computer Science, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine

Deputy Editor-in-Chief

Saribekova Yu. G.
Doctor of Engineering Science, Professor

Sherstiuk V. H.
DSc (Engineering), Professor, Vice-Rector for Academic Affairs

Executive Secretary

Lurie I. Yu.
PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Educational and Methodical Department, Associate Professor of the Department of Informatics and Computer Sciences

Members of Editorial Board

Baganov Ye. O.	Ph.D., Associate Professor
Berezovsky Yu. V.	Doctor of Engineering Science, Associate Professor
Boiko H. A.	Ph.D., Associate Professor
Voronenko M. O.	Ph.D., Associate Professor
Honchar O. I.	Doctor of Economic Sciences, Professor
Horbachov P. F.	Doctor of Economics, Professor
Dimitrova V. Ya. (Bulgaria)	Ph.D., Associate Professor
Dzhereliuk Yu. A.	Doctor of Economics, Professor
Yevtushenko V. V.	Ph.D., Associate Professor
Zharikova M. V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Zubkova K. V.	Ph.D., Associate Professor
Korchevska L. A.	Doctor of Economics, Professor
Kuzmina T. O.	Doctor of Technical Sciences, Professor
Kunyk O. N.	Ph.D., Associate Professor
Lubianyi P. V.	Ph.D., Associate Professor
Naumov O. B.	Doctor of Economics, Professor
Oliinyk N. M.	Ph.D., Associate Professor
Pliushch R. M.	Doctor of Sciences in Public Administration, Professor
Polovtsev O. V.	Doctor of Sciences in Public Administration, Professor
Rudakova H. V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rusanov S. A.	Ph.D., Associate Professor
Savin S. Yu.	Doctor of Economics, Associate Professor
Saleba L. V.	Ph.D., Associate Professor
Semeshko O. Ya.	Doctor of Engineering Science, Professor
Sidelnikova L. P.	Doctor of Economics, Professor
Smolarz A. (Poland)	Ph.D., Associate Professor
Stoianova O. V.	Ph.D., Associate Professor
Topalova E. K.	Ph.D., Associate Professor
Filippova V. D.	Doctor of Science in Public Administration, Professor
Khrushch N. A.	Doctor of Economics, Professor
Chepeliuk O. V.	Doctor of Technical Sciences, Professor
Shandova N. V.	Doctor of Economics, Professor
Sharko M. V.	Doctor of Economics, Professor
Sharko O. V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Shevchenko I. I.	Doctor of Technical Sciences, Professor

ЗМІСТ

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

Р. В. Абакумов

Кореляція між культурою code review та рівнем надійності у великих міжнародних інженерних командах.....11

Є. Б. Алфімов

Інтеграція малих модульних реакторів у динамічні енергосистеми з високою частотою ВДЕ та методи керування навантаженням.....19

Є. О. Баганов, Н. Л. Дон, І. Ф. Погребняк, О. О. Корнієнко

Світлотехнічні розрахунки мережі освітлення системи електропостачання з використанням моделювання в DIALux Evo.....28

Н. М. Березненко

Еколого-економічний аспект ефективності застосування полімерних композицій, що біологічно розкладаються з додаванням крохмалю.....34

Г. С. Белоха, В. О. Музыка

Аналіз проблем якості електропостачання в сучасних системах електропостачання.....40

Д. О. Василенко, М. С. Сорокін

Вплив електромагнітних полів на точність флуоресцентного аналізу білків у сирних продуктах.....49

М. І. Горбійчук, М. З. Василенчук, М. І. Когутяк

Інваріантна система автоматичного керування шляховим нагрівачем нафти.....57

А. Г. Данилкович, О. А. Охмат

Оптимізація синтан-танідної композиції для наповнювання еластичного шкіряного матеріалу.....70

А. О. Деркаченко, О. В. Поливода

Розробка алгоритму визначення положення платформи сферичного паралельного механізму в 3D-просторі та його програмна реалізація.....79

Н. О. Дорогань, Л. П. Черняк

Дослідження силікатних систем з техногенною сировиною для виготовлення цементу.....88

К. М. Думенко, В. Ф. Гарькава, С. М. Пилипенко, О. Б. Звягінцева, О. Ю. Верланов

Актуальні проблеми розвитку транспортних технологій в Україні і світі.....96

І. М. Задорожня, М. О. Задорожній

Удосконалення динаміки в електроприводі за умов додаткових зворотних зв'язків при реалізації ефекту резонансної електромеханічної взаємодії.....104

О. В. Іщенко, Р. М. Москаль

Технології одержання екологічного посуду.....110

О. В. Іщенко, І. В. Охріменко

Дослідження впливу молекулярної маси гіалуронової кислоти на структурні та функціональні властивості матеріалу.....116

О. В. Канівець, С. В. Попов

Перспективи удосконалення роботи механоскладальних дільниць та забезпечення їх різальним інструментом у воєнний час.....123

А. Ю. Караюмер, А. Д. КустовськаБіотехнологічний потенціал морських трав родини *Zosteraceae*: цільові компоненти, методи вилучення та напрями застосування.....129**В. І. Копилов, В. В. Петренко, І. А. Селіверстов**

Аналіз енергетичних затрат при формуванні плазмових покриттів і при руйнуванні в умовах дії навантажень.....138

В. В. Крупа, Ю. О. Апостол, Ю. І. Щербань, О. С. Тарапата

Дослідження параметрів процесу та шорсткості поверхні при свердлінні гартованої легованої сталі гарматним свердлом.....149

В. В. Курак, О. В. Андропова

Техніко-економічні показники мережевих фотоелектричних станцій з модулями різних типів в кліматичних умовах Херсонської області.....160

С. В. Ляшенко, А. О. Келемеш, О. А. Бурлака, В. В. Лавренко Покращення техніко-експлуатаційних характеристик гільз гідроциліндрів автомобільно-тракторної техніки шляхом застосування термомеханічного зміцнення для удосконалення технології їх відновлення.....	165
О. В. Ляшко, В. М. Лазорик, І. А. Селіверстов Механохімічне легування композитних порошків Al-Si-hBN для нанесення ущільнюючих плазмових покриттів.....	177
О. Є. Малярєнко Тенденції заміщення викопного палива альтернативними видами та відновлюваними джерелами енергії в Україні.....	183
М. В. Немченко Зменшення втрат при очищенні зерна пшениці за умов експлуатації машинно-тракторного парку фермерського господарства.....	193
В. М. Орел Аналіз технологій механічної обробки деталей адитивного виробництва в інженерних системах.....	201
С. В. Попов Визначення оптимальних режимів шліфування різального інструменту методом планування експерименту...	213
Б. І. Приймак Система автоматичного керування асинхронним електроприводом з покращеними енергетичними характеристиками.....	220
І. В. Радяк, Б. Я. Бакай Аналіз поперечних коливань стріли маніпулятора з використанням методу Релея	227
М. В. Роганін, О. О. Гончаренко Моделювання процесів зносу і відновлення твердосплавних сталей для прогнозування довговічності деталей.....	236
О. М. Роїк, О. В. Іщенко, Г. І. Кузьміна, А. В. Владі Розробка складу гідрогелевих патчів з екстрактом комбучі для догляду за шкірою під очима.....	245
О. І. Россомаха, Л. В. Пізінцалі, Г. Г. Томчаковський, О. А. Россомаха, Н. І. Александровська Енергоефективність суден як інструмент зменшення викидів: сучасні практики, міжнародні та національні виклики.....	252
Н. П. Соколова, І. В. Прохоренко, Н. А. Тимошенко, Т. А. Мазур Сучасні системи моніторингу та обліку електроенергії.....	263
М. І. Солод Дослідження забруднень ґрунтів внаслідок військово-антропогенних впливів.....	269
Д. М. Степанчиков, Н. Л. Дон Застосування принципу максимуму ентропії у вітроенергетиці.....	274
Ye. V. Trachuk, M. P. Shved Analysis of the influence of polymer melt viscoelastic properties on the mixing quality in a disk extruder calculation.....	282
С. М. Форись, А. Ю. Усенко, В. Я. Перерва Рекуперація низькопотенційного тепла технологічних процесів для автономного енергозабезпечення підприємств.....	292
В. І. Холденко Оцінка впливу експлуатаційних навантажень на знос деталей суднового насосного обладнання.....	301
Ю. Ф. Холодний, В. О. Жовтобрюх, Р. О. Іваненко Моделювання механічних систем для підвищення довговічності конструкцій.....	307
А. М. Чеверда, Н. Я. Данилюк Взаємодія ВІМ-технологій з існуючими методами інформаційної підтримки у нафтогазовій галузі.....	316
О. В. Шевченко Методи забезпечення вібростійкості пружної системи інструменту токарного верстата.....	328

С. В. ПОПОВ

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри механічної та електричної інженерії
Полтавський державний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-2381-152X

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ МЕТОДОМ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Стрічкове шліфування є ефективним методом обробки, а також відновлення інструментів та деталей машин. Воно забезпечує високу якість обробленої поверхні та високу продуктивність. Завдяки гнучкості абразивної стрічки зменшуються термічні пошкодження, зберігається твердість та підвищується довговічність виробів, що зазнали обробки. У роботі зосереджено увагу на вдосконаленні процесу відновлення різального інструменту стрігальної машинки методом стрічкового шліфування. Висвітлено слабкі сторони традиційних методів заточування та акцентовано переваги абразивного стрічкового шліфування. Для оптимізації процесу заточування було проведено повний факторний експеримент із трьома змінними: швидкість руху стрічки; час заточування; зусилля притискання. Випробування зазнали як рухомий, так і нерухомий ножі. Шорсткість поверхні вимірювали профілометром, а мікротвердість – твердоміром. Для моделювання впливу технологічних параметрів на шорсткість поверхні були отримані регресійні рівняння, а для перевірки адекватності моделей застосовано статистичні методи (t-критерій Стюдента, G-критерій Кохрена, F-критерій Фішера). Експериментальні результати засвідчили, що оптимальні параметри заточування становлять: швидкість руху стрічки – 1,7 м/с; зусилля притискання – 18 Н; час заточування – 19 с для нерухомого і 12 с для рухомого ножів. За таких умов забезпечується шорсткість поверхні в межах 9-го класу чистоти ($R_a = 0,16 \dots 0,32$ мкм), зберігається твердість інструменту на рівні HRA 84 та відсутні ознаки термічних пошкоджень. Загалом, дослідження пропонує науково обґрунтовану методику встановлення режимів заточування, що продовжує термін служби інструменту та підвищує ефективність роботи стрігальної машинки.

Ключові слова: стрічкове шліфування, шорсткість поверхні, режимні параметри, мікротвердість, абразивна стрічка, багатofакторний експеримент, коефіцієнти регресії.

S. V. POPOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Mechanical and Electrical Engineering
Poltava State Agrarian University
ORCID: 0000-0003-2381-152X

DETERMINATION OF THE OPTIMAL GRINDING MODES FOR CUTTING TOOLS USING THE PLANNING METHOD OF EXPERIMENT

Belt grinding is an effective method of machining as well as restoring tools and machine parts. It ensures high surface quality and productivity. Due to the flexibility of the abrasive belt, thermal damage is reduced, hardness is preserved, durability of the processed components is increased. The work focuses on improving the process of restoring cutting tools in shearing machines through belt grinding. The study highlights the shortcomings of traditional sharpening methods and emphasizes the advantages of abrasive belt grinding. To optimize sharpening, a full factorial experiment with three variables was carried out: belt speed, sharpening time, and pressing force. Both movable and stationary knives were tested under controlled conditions, and surface roughness was measured using a profilometer; microhardness was measured using a hardness tester. Regression equations were derived to model the influence of technological parameters on surface roughness, and statistical methods (Student's t-test, Cochran's G-test, Fisher's F-test) were applied to validate the models. Experimental results showed that the optimal sharpening parameters are belt speed of 1.7 m/s, pressing force of 18 N, sharpening time of 19 s for stationary and 12 s for movable knives. These conditions ensure surface roughness within the 9th grade of finish ($R_a = 0.16 \dots 0.32$ μm), preserve tool hardness at HRA 84, and prevent thermal damage. Overall, the research provides a scientifically grounded methodology for setting sharpening regimes that extend tool life and improve shearing machine performance.

Key words: belt grinding, surface roughness, process parameters, microhardness, abrasive belt, multifactor experiment, regression coefficients.

Постановка проблеми

Якість роботи стригальних машинок значною мірою залежить від стану їх різальної пари. У процесі експлуатації ножі піддаються інтенсивному зношуванню, що призводить до зниження гостроти кромки, підвищення зусиль різання, перегріву та зменшення терміну служби обладнання. Традиційні методи заточування не завжди забезпечують бажаний рівень точності, чистоти обробки поверхонь, що, у свою чергу, впливає на якість технологічного процесу та комфорт роботи оператора [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Стрічкове шліфування є одним із найбільш перспективних методів відновлення працездатності різальних пар, оскільки дозволяє отримати стабільну якість поверхні за відносно короткий час і з мінімальними витратами. Недостатнє обґрунтування оптимальних режимів призводить до появи дефектів типу припалів, надмірного зношування абразиву та зниження стійкості різальної пари.

Вивченню стрічкового шліфування присвячено чимала кількість наукових робіт, зокрема у роботі [4] відзначається відсутність певної теорії обробки та наявної методики. Саме це обмежує використання стрічкового шліфування як методу обробки робочих поверхонь інструментів. На підставі теоретичних розрахунків та серії експериментів були отримані математичні моделі. Вони встановлюють зв'язок між шорсткістю обробленої поверхні та режимними параметрами обробки. Результати підтверджують можливість підвищення ефективності та якості шліфування за рахунок оптимізації режимів роботи.

Вплив технологічних параметрів стрічкового шліфування на якість поверхні загартованої сталі розглянуто у роботі [5]. Вивчено фактори впливу часу обробки, розміру абразивних зерен, швидкості обертання заготовки та змащування. За результатами роботи встановлено, що найкраще значення шорсткості можливо досягти при часі обробки у 60 с, обертах 900 об/хв та використанні абразивних матеріалів 20 мкм. Застосування змащення позитивно впливає на якість обробленої поверхні, але воно не є домінуючим фактором. Дослідження доводить перспективність стрічкового шліфування як ефективного та економічного способу фінішної обробки сталей.

Методика визначення радіуса вершин абразивних зерен на основі стандартних маркувань шліфувальних кругів (ISO та ГОСТ) запропонована у [6]. Окрім того, розробили формули для розрахунку об'ємної концентрації зерен у колі. Результати моделювання було перевірено експериментально при шліфуванні сталей D3, A295M та SAE 420 абразивними кругами з Al_2O_3 та CBN. Порівняння показало, що відхилення розрахованих значень від експериментальних становить у середньому 15,11 % для круга Al_2O_3 і 24,29 % для CBN, що підтверджує достовірність запропонованої методики. Робота дає вагомий внесок у підвищення точності прогнозування якості поверхні та зменшення часу налагодження шліфувальних процесів.

Підхід машинного навчання застосовано для встановлення залежностей між технологічними параметрами обробки та кінцевою якістю поверхні [7]. Було проведено серію експериментів для збору даних і перевірки точності побудованих моделей. Можливе точне прогнозування шорсткості R_a , мкм. Запропонована методика може бути використана під час визначення оптимальних режимів шліфування. Це матиме позитивний вплив на продуктивність, а також буде зменшено витрати на обробку.

Авторами роботи [8] проведено серію експериментальних досліджень, за результатами яких спрогнозовано значення кінцевої шорсткості поверхонь, оброблених шліфуванням. Проаналізовано вплив швидкості інструменту, глибини різання та подачі на величину шорсткості за результатами обробки. Було запропоновано математичні моделі для визначення шорсткості R_a , мкм, на підставі проведеного натурального експерименту. Отримані результати знаходяться у межах допустимого значення похибки, тому запропонований матеріал є доволі актуальний для оптимізації режимів шліфування, а також підвищення ефективності механічної обробки.

Роботизованому процесу стрічкового шліфування присвячено дослідження [9]. Була розроблена топографічна модель поверхні. Вона враховувала деформації еластичного контактного колеса. Результати підтверджені на експериментальному рівні. Запропонована методика надає можливість прогнозувати значення шорсткості із похибкою, що не перевищує 12 %. Робота має практичне значення у різних галузях промисловості (авіаційна, енергетична, автомобільна). Слід відмітити також забезпечення точності та якості обробки.

Отже, на підставі аналізу літературних джерел [4–9] слід відмітити, що пошук оптимальних режимних параметрів є доволі важливим. Саме вони сприятимуть забезпеченню належного рівня якості та тривалої работоздатності оброблених поверхонь. На підставі планування повного факторного експерименту можливо забезпечити комплексний підхід впливу режимних параметрів на якість кінцевого продукту за умови наукового обґрунтування обробки стрічковим шліфуванням.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає у визначенні оптимальних режимних параметрів процесу стрічкового шліфування різальної пари стригальної машинки, що забезпечують необхідну шорсткість поверхні, збереження твердості робочих кромки і підвищення довговічності інструменту.

Викладення основного матеріалу дослідження

Під час заточування ріжучих пар стрічковим шліфуванням параметрами, що мають вплив на шорсткість обробленої поверхні, є: зернистість абразивної стрічки; швидкість руху стрічки; зусилля притискання рухомого і нерухомого ножів до стрічки; тривалість контакту деталі зі стрічкою; ступінь зношеності стрічки. Проведення експерименту відбувалося із визначенням швидкості руху стрічки, зусилля притискання ножів до стрічки, часу їх контакту зі стрічкою, які забезпечать шорсткість у межах 9 класу. Для встановлення ступеня впливу керованих режимних параметрів процесу шліфування на якість заточування та визначення їх оптимальних значень, скористаємося методикою проведення багатофакторного експерименту [10].

Залежність параметра шорсткості обробленої поверхні від параметрів (якими можна керувати) процесу шліфування представимо у вигляді рівняння лінійної регресії. Для 3-факторного експерименту воно має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (1)$$

де $y = \lg Ra$ – логарифмічний вираз параметру шорсткості Ra (відгук моделі); x_1, x_2, x_3 – змінні фактори у закодованому вигляді, що відповідають швидкості стрічки V , часу заточування T та зусиллю притискання P_y відповідно; b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти регресії при змінних факторах, що є оцінками їх значущості; $b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коефіцієнти регресії, що враховують значущість взаємного впливу змінних факторів безпосередньо на процес шліфування.

Кодування факторів x_1, x_2, x_3 у рівнянні регресії (1) здійснюється за наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\lg V - \lg V_{\max})}{\lg V_{\max} - \lg V_{\min}} + 1; \\ x_2 &= \frac{2(\lg T - \lg T_{\max})}{\lg T_{\max} - \lg T_{\min}} + 1; \\ x_3 &= \frac{2(\lg P_y - \lg P_{y\max})}{\lg P_{y\max} - \lg P_{y\min}} + 1. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Розрахунок коефіцієнтів регресії b_0, b_1, b_2, b_3 у рівнянні (1) відбувався з урахуванням знаку ($\pm$) при змінних факторах:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i; \\ b_j &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} \bar{Y}_i, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $\bar{Y}_i$ – середнє значення логарифму шорсткості (три паралельні досліді).

Оцінка вагомості коефіцієнтів регресії здійснюється за допомогою t -критерію Стюдента. Коефіцієнт регресії b_j буде статично значимий при умові:

$$b_j \geq \pm t_{T(p, f_y)} S_{b_j}, \quad (4)$$

де $t_{T(p, f_y)}$ – табличне значення критерію Стюдента; S_{b_j} – середньоквадратичне відхилення коефіцієнтів регресії.

При рівні довірчої ймовірності $p = 0,95$ і числі ступенів вільності дисперсії адекватності $f_y = N(k-1) = 8(3-1) = 16$ табличне значення критерію Стюдента становить $t_{T(0,95; 16)} = 2,12$ [10].

Середньоквадратичне відхилення коефіцієнтів регресії визначається

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{S_{y_j}^2}{N}}, \quad (5)$$

де $S_{y_j}^2$ – оцінка середнього значення дисперсії відтворюваності:

$$S_{y_j}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (6)$$

де S_i^2 – дисперсія відтворюваності паралельних дослідів.

Рівні варіювання режимних параметрів стрічкового шліфування подано в таблиці 1.

Виходячи з норм часу заточування рухомого і нерухомого ножів (15...20 і 25...40 с відповідно) приймемо крайні значення часу заточування від 10 до 16 с для рухомого ножа і від 15 до 25 с для нерухомого ножа, з метою скоротити трудомісткість заточування. Прийняті крайні значення швидкості стрічки 1...2 м/с. Рівні варіювання зусилля притискання ножів до поверхні стрічки (виходячи із забезпечення мінімально можливого навантаження на руку слюсаря-заточувальника) – 10...20 Н.

Таблиця 1

Рівні варіювання

Рівень	Швидкість стрічки		Час заточування			Сила притискання	
			T, с		x_2	P , Н	x_3
	V , м/с	x_1	ніж рухомий	ніж нерухомий			
Основний	1,5	0	13	20	0	15	0
Верхній	2,0	+1	16	25	+1	20	+1
Нижній	1,0	−1	10	15	−1	10	−1

У ході проведення експериментів нами враховувалася різниця в площі робочих поверхонь ножів. Досліди для рухомого та нерухомого ножів проводилися окремо, але на однакових значеннях параметрів швидкості стрічки і зусилля притискання. Це робилося з метою пошуку значень режимних параметрів, придатних для них двох, що має в майбутньому полегшити експлуатацію верстату.

Згідно із методикою проведення повного факторного експерименту з трьома змінними на двох рівнях, було проведено вісім незалежних дослідів ($N = 2^3$). Кожен з дослідів відповідав граничній точці експерименту.

У таблиці 2 наведена матриця плану проведення експерименту. Рядки відповідають проведеним дослідом, а стовпці X_j – параметрам незалежного і взаємного впливу. Знаку (+) відповідає максимальне значення параметра в експерименті, а знаку (–) мінімальне значення.

Для достовірності по кожному незалежному досліді проводилося не менше 3 паралельних дослідів із визначенням кожен раз параметра шорсткості, обчисленням його середнього арифметичного значення. При побудові рівняння регресії в логарифмічних координатах необхідно представляти отримані експериментально значення шорсткості R_a як логарифм їх значень із символом y_{ik} , а середнє значення логарифмів як y_l .

Таблиця 2

Матриця плану експерименту $N = 2^3$

№ досліду, N	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	–	+	+	–	–	+	–
3	+	+	–	+	–	+	–	–
4	+	–	–	+	+	–	–	+
5	+	+	+	–	+	–	–	–
6	+	–	+	–	–	+	–	+
7	+	+	–	–	–	–	+	+
8	+	–	–	–	+	+	+	–

Оцінка відтворюваності паралельних дослідів у логарифмічному виразі здійснювалася за G-критерієм Кохрена. Для прийнятих в експерименті умов дослідів: $p = 0,95$; $N = 8$; $f_i = k - 1 = 3 - 1 = 2$. Табличне значення критерію Кохрена за [10] становить: $G_7(0,95; 8; 2) = 0,516$. Також було визначено розрахункове значення G_p -критерію Кохрена визначається.

Для визначення шорсткості оброблених робочих поверхонь ножів використовувався профілограф-профілометр. Виміри проводилися за поверхнями ріжучих пар до і після їх заточування на стрічковому точильному верстаті.

Для вимірювання відхилень мікротвердості робочих поверхонь ріжучих пар від номінальних значень, характеристик для сталі У9, використовувався твердомір. Вимірювання проводилися до і після заточування, за шкалою HRA. Твердість замірялася біля основи і на кінцях зубців. Основною характеристикою абразивних стрічок є їх зернистість. Цей параметр більшою мірою визначає чистоту обробленої поверхні, оскільки саме від розміру основної фракції зерен у зв'язі стрічки залежить висота мікронерівностей, що залишаються ними на поверхні деталі у процесі шліфування. Встановлено, що найбільша стійкість різальних пар досягається при їх заточуванні із використанням абразиву P240 (ISO 6344/FEPA) із середнім розміром абразивних частинок 60 мкм.

Під час знаходження оптимальних значень режиму заточування ріжучих пар стрічковим шліфуванням необхідно визначитися зі значенням вихідного показника, що буде відповідати необхідним експлуатаційним характеристикам процесу, що досліджується. Значення шорсткості прийнято 0,2 мкм, що є кращим у ряді значень за 9 класом. Досягнення цього значення буде вважатися необхідним для призначення режиму шліфування, якому відповідають цілі експерименту. Результати виміру шорсткості робочих поверхонь нерухомого ножа, отримані в ході експерименту, представлені у таблиці 3. Досліди проводилися згідно зі складеним планом експерименту. За трьома паралельними дослідом знайдено середнє значення шорсткості $\overline{Ra_l}$.

Спираючись на результати проведеного експерименту, розрахуємо значення коефіцієнтів регресії для наступної підстановки їх у рівняння (1). Розрахунок коефіцієнтів проводився за формулою (2).

Середнє значення дисперсії відтворюваності становить:

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{8}(33,51 + 26,14 + 11,08 + 8,06 + 15,56 + 6,48 + 9,01 + 22,23) \cdot 10^{-4} = 16,51 \cdot 10^{-4}.$$

Середньоквадратичне відхилення коефіцієнтів регресії:

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{16,51 \cdot 10^{-4}}{8}} = 1,436 \cdot 10^{-2}.$$

Таблиця 3

Результати експерименту та їх обробка (нерухомий ніж)

№ досліджу	$\overline{Ra}_l$	$\overline{y}_l$	$\widehat{y}_l$	$(\overline{y}_l - \widehat{y}_l)^2 \cdot 10^{-4}$	$S_l^2 \cdot 10^{-4}$
1	0,15	-0,8239	-0,8212	0,0729	33,51
2	0,48	-0,3187	-0,319	0,0009	26,14
3	0,35	-0,4559	-0,4534	0,0625	11,08
4	0,62	-0,2076	-0,208	0,0016	8,06
5	0,29	-0,5376	-0,538	0,0016	15,56
6	0,40	-0,3979	-0,3955	0,0576	6,48
7	0,51	-0,2924	-0,2918	0,0036	9,01
8	0,70	-0,1549	-0,155	0,0001	22,23

Статистично значущі коефіцієнти регресії (таблиця 4) повинні задовольняти умові $b_j \geq \pm 2,12 \cdot 1,436 \cdot 10^{-2} = \pm 0,0304$.

Таблиця 4

Результати розрахунку коефіцієнтів регресії

b_0	b_1	b_2	b_3	b_1b_2	b_1b_3	b_2b_3	$b_1b_2b_3$
0,3987	-0,1287	-0,121	-0,053	0,0325	-0,0595	0,0317	-0,0013

Як ми бачимо, статистично значущими є усі коефіцієнти, окрім $b_1b_2b_3$. Враховуючи оцінку вагомості коефіцієнтів рівняння регресії (1) набуде вигляду:

$$y = 0,3987 - 0,1287x_1 - 0,121x_2 - 0,053x_3 + 0,0325x_1x_2 - 0,0595x_1x_3 + 0,0317x_2x_3. \quad (7)$$

Перевірка адекватності отриманої залежності (7) експериментально отриманим значенням шорсткості поверхні при стрічковому шліфуванні здійснювалася за F-критерієм Фішера. Його розрахункові значення повинні бути більше (дорівнювати) табличного значення при прийнятих умовах експерименту. При узятих в експерименті відомих $p = 0,95$, $f_y = 16$ і новій умові – числі ступенів вільності дисперсії адекватності, визначається, як $f_{ao} = N - (k + 1) = 8 - (3 + 1) = 4$, табличне значення критерію Фішера склало: $F(0,95; 4; 16) = 3,01$ [10].

Розрахункові значення F-критерію Фішера становить 328,9. Воно більше за табличне значення. Це свідчить про адекватність моделі і слугує підставою для її прийняття у якості робочої саме для опису залежності параметра шорсткості у факторному просторі, що досліджувався.

Підставляючи у вираз (2) для x_1 , x_2 та x_3 максимальне і мінімальне значення відповідних їм параметрів V , T , і P_y , отримуємо вирази в декодованому вигляді. Після підстановки їх у (7) і проведення обчислень, маємо вираз рівняння регресії у декодованому вигляді для нерухомого ножа:

$$Ra_z = 1,12 - 0,02 \cdot V - 0,0365 \cdot T - 0,003 \cdot P_y + 0,001 \cdot V \cdot T - 0,015 \cdot V \cdot P_y + 0,0009 \cdot T \cdot P_y. \quad (8)$$

При підстановці в рівняння (8) значень факторів за основним рівнем варіювання $V = 1,5$ м/с, $T = 20$ с і $P_y = 15$ Н маємо розрахункові значення шорсткості поверхні – 0,277 мкм. Експериментальне значення при цих значеннях факторів склало 0,29 мкм, що лежить у межах 5 % похибки експерименту. Аналогічно проведено визначення рівняння регресії для рухомого ножа, а також серія експериментів (таблиця 5).

$$Ra_n = 2,036 - 0,3558 \cdot V - 0,0971 \cdot T - 0,0385 \cdot P_y + 0,015 \cdot V \cdot T - 0,0065 \cdot V \cdot P_y + 0,00258 \cdot T \cdot P_y. \quad (9)$$

За виразами (8) та (9) було визначено оптимальні значення режимів стрічкового шліфування різальної пари на верстаті: швидкість стрічки 1,7 м/с; сила притискання до стрічки 18 Н; час заточування нерухомого ножа 19 с; час заточування рухомого ножа 12 с.

Таблиця 5

Результати експерименту та їх обробка (рухомий ніж)

№ досліджу	$\overline{Ra}_i$	$\overline{y}_i$	$\hat{y}_i$	$(\overline{y}_i - \hat{y}_i)^2 \cdot 10^{-4}$	$S_i^2 \cdot 10^{-4}$
1	2	3	4	5	6
1	0,17	-0,7269	-0,7212	0,0623	35,48
2	0,45	-0,2878	-0,2738	0,0009	23,11
3	0,30	-0,4019	-0,4022	0,0625	9,88
4	0,58	-0,2371	-0,2386	0,0016	9,76
5	0,32	-0,4879	-0,4843	0,0016	14,31
6	0,44	-0,3979	-0,3955	0,0576	8,68
7	0,51	-0,2924	-0,2918	0,0036	10,27
8	0,82	-0,1451	-0,1435	0,0001	25,44

Вимірювання мікротвердості робочих поверхонь ножів засвідчило, що за визначених оптимальних режимах обробки вона залишається незмінною. Припали поверхонь, термічне відпускання внаслідок дії високих температур обробки у зоні контакту деталі зі стрічкою відсутні.

Висновки

Запропоновано методику реалізації трифакторного експерименту із визначення функціональної залежності шорсткості оброблених поверхонь ріжучої пари від технологічних параметрів впливу. Встановлено значення параметрів заточування ріжучих пар на верстаті, що відповідають оптимальному режиму роботи (див. вище). Під оптимальним розуміється режим роботи, що забезпечує: значення шорсткості R_{a_a} робочих поверхонь ножів у межах 9 класу чистоти обробки (0,16...0,32 мкм); тривалість заточування, що не перевищує нормованого значення 20 с рухомого для ножа і 40 с для нерухомого ножа; збереження твердості робочих поверхонь ріжучої пари на рівні HRA 84, як показника відсутності припалів.

Список використаної літератури

1. Фролов Є. А., Кравченко С. І., Попов С. В., Гнітько С. М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава: НУПП, 2019. 204 с.
2. Коробко Б. О., Фролов Є. А., Попов С. В., Ясько С. Г. Прогресивні технології у машинобудуванні. Навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей закладів вищої освіти. Полтава: НУПП, 2020. 168 с.
3. Попов С.В. Дослідження точності оброблення циліндра різцем із твердого сплаву. Науковий вісник. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. Вип. 15, том 1. С. 105–113. URL: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-25-1-12> (дата звернення 24.08.2025).
4. Скоркін А. О. Дослідження процесу стрічкового шліфування на еластичній основі. Машинобудування. 2016. № 17. С. 87–93.
5. Hamdi, A., Aliouane, T., Bouzid, D. Technological parameters of belt grinding process of hard steel. Mechanics and Mechanical Engineering. 2017. Vol. 21, No. 4. P. 843–853.
6. Tran Thi V. N., Nguyen Lam K., Nguyen Van C. Research on calculation of grinding surface roughness. EUREKA: Physics and Engineering. 2022. No. 1. P. 85–92. URL: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001832> (дата звернення 24.08.2025).
7. Khare S. K., Agarwal S. Predictive modeling of surface roughness in grinding. Procedia CIRP. 2015. Vol. 31. P. 375–380. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.061> (дата звернення 24.08.2025).
8. Trung D. D., Son N. H. An experimental study on prediction of surface roughness in grinding. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2020. Vol. 10, No. 1. P. 47–58.
9. Liu M., Gong Y., Sun J., Zhao Y., Sun Y. Experimental and numerical study on surface generated mechanism of robotic belt grinding process considering the dynamic deformation of elastic contact wheel. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. Vol. 119, No. 1–2. P. 267–284. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09067-6> (дата звернення 24.08.2025).
10. Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю. Математичне моделювання процесів і систем: Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 351 с.

References

1. Frolov, Ye. A., Kravchenko, S. I., Popov, S. V., & Hnitko, S. M. (2019). Technological support of product quality in mechanical engineering. Poltava: NUPP [in Ukrainian].
2. Korobko, B. O., Frolov, Ye. A., Popov, S. V., & Yasko, S. H. (2020). Progressive technologies in mechanical engineering. Poltava: NUPP [in Ukrainian].

3. Popov, S. V. (2025). Study of the accuracy of cylinder machining with a carbide tool. *Naukovyi visnyk*, 15(1), 105–113 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-25-1-12>
4. Skorkin, A. O. (2016). Study of the belt grinding process on an elastic base. *Mashynobuduvannia*, 17, 87–93 [in Ukrainian].
5. Hamdi, A., Aliouane, T., & Bouzid, D. (2017). Technological parameters of belt grinding process of hard steel. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 21(4), 843–853.
6. Tran Thi, V. N., Nguyen Lam, K., & Nguyen Van, C. (2022). Research on calculation of grinding surface roughness. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 85–92. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001832>
7. Khare, S. K., & Agarwal, S. (2015). Predictive modeling of surface roughness in grinding. *Procedia CIRP*, 31, 375–380. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.061>
8. Trung, D. D., Son, N. H. (2020). An experimental study on prediction of surface roughness in grinding. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 10 (1), 47–58.
9. Liu, M., Gong, Y., Sun, J., Zhao, Y., & Sun, Y. (2022). Experimental and numerical study on surface generated mechanism of robotic belt grinding process considering the dynamic deformation of elastic contact wheel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1–2), 267–284. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09067-6>
10. Zhuchenko, A. I., Ladiieva, L. R., Pirhach, M. S., & Zhurakovskiy, Ya. Yu. (2021). *Mathematical modeling of processes and systems: Textbook*. Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute [in Ukrainian].

Дата першого надходження рукопису до видання: 25.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025

ВІСНИК

Херсонського національного технічного університету

Відповідальний за випуск	головний редактор Литвиненко В. І. д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук, заслужений діяч науки і техніки України
Комп'ютерна верстка	Клименко Т. О.
Відповідальний секретар	Лур'є І. А. к.т.н., доцент, начальник навчально-методичного відділу, доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України
з питань телебачення і радіомовлення № 1541 від 09.05.2024 року. Ідентифікатор медіа: R30-04565.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Херсонський національний технічний університет
(вул. Інститутська, буд. 11, м. Хмельницький, 29016, olena.chepelyuk@kntu.net.ua, тел. +38 (0382) 77-35-65).

Періодичність виходу: 4 рази на рік.

Підписано до друку 28.11.2025.

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman. Папір офсет. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 45,11. Замов. № 1125/879. Наклад 100 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.