

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**  
Кафедра «Металорізальні верстати, метрологія та сертифікація»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №6**  
**З ДИСЦИПЛІНИ**  
**«МЕТОДИ ФОРМОУТВОРЕННЯ»**  
Для спеціальностей: 131 Прикладна механіка  
133 Галузеве машинобудування

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**  
Кафедра «Металорізальні верстати, метрологія та сертифікація»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 6**  
**З ДИСЦІПЛІНИ**  
**«МЕТОДИ ФОРМОУТВОРЕННЯ»**

Для спеціальностей: 131 Прикладна механіка

133 Галузеве машинобудування

Затверджено на засіданні кафедри  
«Металорізальні верстати,  
метрологія та сертифікація»  
Протокол № 9 від 29.06.21 р.

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 6 «Дослідження впливу режимів обробки на сили різання при точінні» з дисципліни «Методи формоутворення» для студентів з спеціальності 131 Прикладна механіка та 133 Галузеве машинобудування денної та заочної форм навчання / Укладачі: В.П. Гугнін, Г.М. Голобородько, Л.М. Перпері – Одеса, 2021 – 10 с.

Укладачі: В.П. Гугнін, канд. техн. наук, доц.,  
Г.М. Голобородько, канд. техн. наук, доц.,  
Л.М. Перпері, канд. техн. наук, доц.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### ТЕМА: ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ НА СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ

Врізанню різального інструменту в шар що зрізається і переміщенню його уздовж заготовки перешкоджають сили опору. Рівнодіюча сил, що діють на лезо інструменту, називається силою різання. Вона є однією з найважливіших характеристик механічної обробки і визначає енергетичні витрати, що витрачаються на процес різання. Виникнення сили різання обумовлено необхідністю деформування зрізаного шару, його руйнування, додаткового деформування утворюваної стружки при її вигині і дробленні, подолання сили різання на лезах інструменту. Процес різання може відбуватися тільки в разі подолання сили різання з боку, наприклад, металорізального верстата.

Положення сили різання розглядається в просторовій декартовій системі координат, напрямком осей якої пов'язується з елементами технологічної системи. Проекції сили різання на координатні осі називають її складовими і позначається  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ . Сила різання і її положення в просторі залежать від геометричних параметрів інструменту і режимів різання. Тому при розрахунках доцільно використовувати не саму силу, а її складові. Тоді при зміні геометричних параметрів і режимів різання зміниться тільки розмір складових, а положення їх в просторі буде постійним. За складовими сили різання проводять розрахунки на міцність і жорсткість деталей і вузлів металорізальних верстатів, різальних інструментів, оброблюваних заготовок, а також необхідних зусиль закріплення заготовок в верстатних пристосуваннях та ін.. Від сили різання залежать зносостійкість інструменту, характеристики якості обробленої поверхні і потужність, що витрачається на процес різання.

Мета роботи – проаналізувати розмір і напрямком складових сили різання при точінні і вивчити конструкцію і принцип дії тензометричного динамометра; оволодіти методикою вимірювання і математичної обробки дослідних даних за складовими сили різання; дослідити вплив елементів режиму різання на складові сили різання і крутний момент.

В роботі розглянуті сили різання при токарній обробці.

## 1 СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ

### 1.1 Складові сили різання

Сила різання являє собою рівнодіючу нормальних сил і сил тертя, що діють на леза різця. Крапку програми цієї сили прийнято розміщувати на вершині різця. При цьому різець встановлюється таким чином, що його вершина знаходиться на висоті осі обертання заготовки, а геометрична вісь державки перпендикулярна до цієї осі (рис.1).

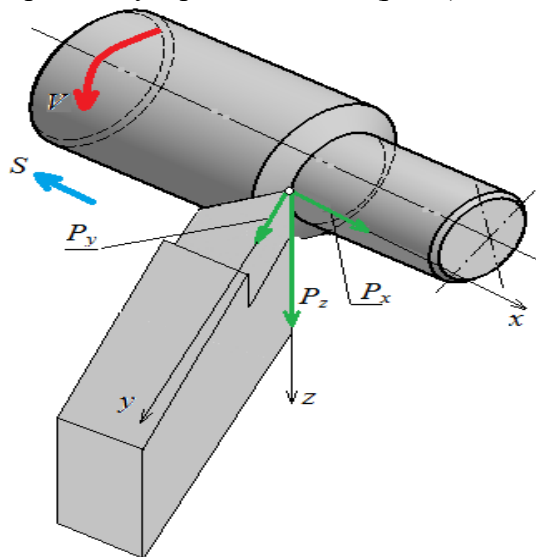


Рисунок 1 – Складові сили різання при токарній обробці

Для зручності розрахунків силу різання розкладають на складові по осях системи координат, початок якої співпадає з вершиною різця. При цьому вісь  $X$  розташована паралельно осі заготовки, вісь  $Y$  - перпендикулярно до неї (вона збігається з геометричною віссю різця), а вісь  $Z$  - вертикально вниз, співпадає з вектором швидкості різання. Таким чином, осі  $X$  і  $Y$  лежать в горизонтальній площині, а вісь  $Z$  - у вертикальній. Проекціям сили різання привласнюють найменування:  $P_x$  - осьова,  $P_y$  - радіальна,  $P_z$  - вертикальна (головна) складові сили різання [1, 2]

Аналогічна система сил прикладена і до заготовки. Ці сили є реакціями раніше розглянутих сил і повинні бути протилежні за напрямком.

Складова  $P_x$  сили різання перешкоджає переміщенню супорта і згинає державку різця в горизонтальній площині. Що стосується її реакції, то вона прагне зрушити заготовку уздовж її осі. За складовою  $P_x$  розраховують на міцність механізм подачі верстата і опори шпинделя.

Складова  $P_y$  сили різання відштовхує різець від заготовки, а її реакція згинає заготовку в горизонтальній площині. Похибка обробки валів малої жорсткості розраховують з використанням цієї складової сили різання. Складова  $P_z$  сили різання згинає різець у вертикальній площині, а її реакція створює момент опору різанню. За цією силою розраховують на міцність державку різця і різальну пластину, а також визначають потужність, необхідну для здійснення процесу різання. За складовими  $P_x$  і  $P_z$  сили різання розраховують затискні механізми верстатних пристосувань [1 – 3].

Складові  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  сили різання не однакові. Значення складової  $P_z$  визначається головним чином розміром нормальних сил, що діють на різець, тоді як розмір сил  $P_x$  і  $P_y$  залежить від сил тертя по передній поверхні різця. Співвідношення між цими силами залежить від оброблюваного матеріалу і режимів різання. Найбільшою є складова  $P_z$  сили різання. Вона незначно (на 10 ... 15%) відрізняється від сили різання і визначає характер процесів, що протікають в зоні стружкоутворення. [1 – 4].

## 1.2 Вплив технологічних факторів на складові сили різання

Формули для розрахунку складових сили різання наведені в довідковій літературі. У цих формулах фактори, що впливають на розмір сил, можуть враховуватися як безпосередньо, так і опосередковано, за допомогою поправочних коефіцієнтів. Так, при зовнішньому поздовжньому точінні, розточуванні, відрізання, прорізання пазів і фасонному точінні складові сили різання розраховують за формулою [1, 2, 6]:

$$P_{x,y,z} = 10C_p t^{x_p} S_0^{y_p} V^{z_p} K_p, H$$

Постійна  $C_p$  і показники ступеня  $x_p$ ,  $y_p$ ,  $z_p$  вибираються для конкретних умов обробки за таблицями. Поправочний коефіцієнт  $K_p$ , що представляє собою добуток ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{M_p} K_{\gamma_p} K_{\varphi_p} K_{\lambda_p} K_{r_p} K_{\omega_p} K_{h_p},$$

що враховують фактичні умови різання. Кожен з представлених коефіцієнтів встановлює, якою мірою впливають на розмір сили різання реально існуючі особливості обробки. Наприклад, коефіцієнт  $K_{M_p}$  враховує ступінь впливу на силу міцності або твердості оброблюваного матеріалу, коефіцієнти  $K_{\gamma_p}$ ,  $K_{\varphi_p}$ ,  $K_{\lambda_p}$ ,  $K_{r_p}$  – геометричних параметрів інструменту,  $K_{\omega_p}$  - марки застосовуваної мастильно-охолоджувального технологічного середовища (МОТС), а коефіцієнт  $K_{h_p}$  - ступеня зношеності задньої поверхні різця.

Основні фактори, що впливають на силу різання: - глибина різання і подача, що встановлюються на верстаті, а також властивості оброблюваного матеріалу. У першій формулі безпосередньо враховується вплив лише елементів режиму різання ( $V$ ,  $S_0$ ,  $t$ ). Що стосується інших технологічних факторів (властивостей оброблюваного матеріалу, геометричних параметрів

різального інструменту, конструкції інструменту та ін.), то їх вплив на силу різання враховується опосередковано[6].

Збільшення глибини різання і подачі супроводжується зростанням площі перетину зрізаного шару. Це неминуче призводить до зростання всіх складових сили різання. Однак ступінь впливу цих двох факторів на силу різання неоднакова. Вона залежить від того, яка форма перетину зрізаного шару утворюється в процесі різання – пряма або зворотна. При різанні з прямим перетином зрізаного шару глибина різання більше впливає на силу різання, ніж подача. В першій формулі ця обставина підтверджується нерівністю показників ступеня:  $x_p > y_p$ . У міру зменшення відношення  $\frac{t}{s_0}$  вплив глибини різання на сили падає, а подача - зростає. При  $\frac{t}{s_0} > \sin^2\varphi$  (Різання зі зворотним перетином зрізаного шару) показник ступеня при подачі в може виявитися ближче, ніж при глибині різання, що свідчить про переважне вплив подачі на силу різання [1 – 4].

Залежність швидкості різання на силу різання визначається двома умовами:

- 1) тим, наскільки схильний оброблюваний матеріал до утворення наросту;
- 2) маркою інструментального матеріалу, використовуваного для оснащення різальної частини інструменту.

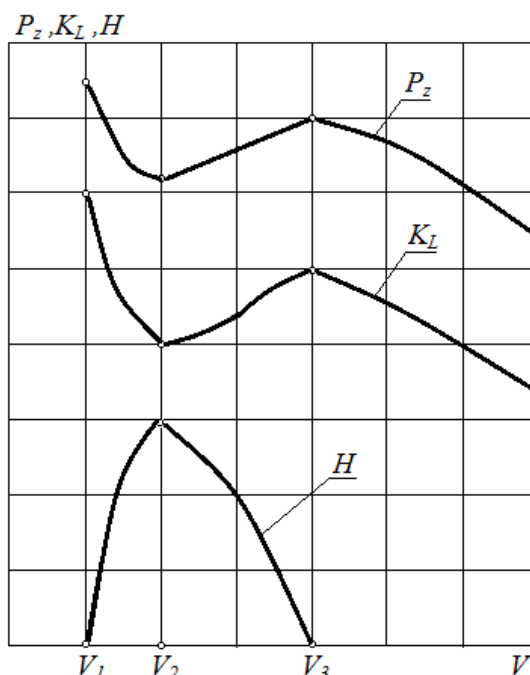


Рисунок 2 – Вплив швидкості різання на висоту наросту  $H$ , коефіцієнта усадки стружки  $K_L$  і силу  $P_z$

При обробці інструментами з твердих сплавів зі швидкістю різання, що перевищує 80 м/хв, вплив матеріалу на сили різання стає незначним. При подальшому збільшенні швидкості різання до 400м/хв для будь-яких матеріалів швидкість різання практично перестає впливати на складові сили різання (показник ступеня  $z_p \rightarrow 0$ ), тому у формулах для  $P_z$  впливом швидкості нехтують. Якщо використовується інструмент з швидкорізальної сталі, розмір складових сили різання більше, ніж при обробці інструментами з твердих сплавів, але на них істотно впливають швидкості різання [1].

Якщо обробці різанням піддаються матеріали, не схильні до утворення наросту, то зі збільшенням швидкості різання сила різання монотонно убуває. Зовсім інший характер залежності сили різання від швидкості різання при обробці матеріалів, схильних до наростуутворення. У цьому випадку залежність  $P_z = f(V)$  не є монотонною (рис.2), причому характер її зміни збігається з закономірністю зміни усадки стружки. В інтервалі швидкості різання від  $V_1$  до  $V_2$  виникає нарост і відбувається подальше збільшення його висоти. При цьому збільшується фактичний передній кут. Це полегшує процес різання і знижує усадку стружки. Сила різання  $P_z$  зменшується і досягає мінімального значення при швидкості різання  $V_2$ , відповідної

найбільшій висоті наросту. При подальшому збільшенні швидкості різання відбувається поступове зменшення висоти наросту. Фактичний передній кут зменшується і деформація стружки зростає, що призводить до зростання складових сили різання. При швидкості різання  $V_3$  наріст зникає, передній кут ставиться рівним інструментальному, а сила різання стає максимальною. При різанні зі швидкістю, що перевищує  $V_3$ , залежність  $P_z = f(V)$  стає монотонною, як і при обробці матеріалів, несхильних до наростуоутворення. При подальшому збільшенні швидкості різання сили  $P_z$  знову зменшуються, оскільки знижуються сили тертя на передній поверхні різця [1, 2, 3].

Механічні властивості оброблюваного матеріалу складно і суперечливо впливають на розмір складових сил різання. З одного боку, зі зростанням міцності і твердості матеріалу збільшується кут зсуву, знижується усадка стружки і відносний зсув. У зв'язку з цим зменшуються як робота деформації, так і стружкоутворення, і як наслідок - сили різання. З іншого боку, зі зростанням міцності матеріалу заготовки ростуть напруги на зсув на умовній площині зсуву, що в свою чергу призводить до збільшення роботи по утворенню стружки, а також сил різання. Тому з ростом міцності сили різання можуть як збільшуватися, так і знижуватися в залежності від того, який з конкурентних чинників надає переважний вплив. Таким чином, за значенням міцності оброблюваного матеріалу однозначно судити про розмір сил, що виникають при механічній обробці неможливо. При цьому необхідно враховувати ще й особливості процесу різання.

З геометричних параметрів інструменту помітний вплив на складові сили різання надають передній кут  $\gamma$ , головний кут в плані  $\varphi$  і радіус при вершині  $r$ . Так, зі зменшенням переднього кута  $\gamma$  та ускладнюється процес різання і збільшується робота затрачувана на деформування та стружкоутворення. У зв'язку з цим зростають всі складові сили різання. Найбільш інтенсивно зростає осьова складова  $P_x$ . При зменшенні кута нахилу передньої поверхні  $\lambda$  на кожен радіус головна складова  $P_z$  збільшується на 1...2% [1, 2, 3].

Головний кут в плані  $\varphi$  визначає розмір відношення ширини до товщини зрізаного шару  $\frac{b}{a}$  та положення головної різальної крайки щодо руху подачі. Від цих факторів залежить як розмір складових сили різання, так і співвідношення між складовими сили різання. При використанні різців без перехідної ріжучої кромки зі збільшенням кута  $\varphi$  головна складова сили різання безперервно знижується, так як зменшується відношення  $\frac{b}{a}$ . Якщо різець має перехідну радіусну ріжучу кромку, то при збільшенні кута  $\varphi$  до  $60^\circ$  сила  $P_z$  зменшується, а потім починає зростати.

Збільшення радіусу при вершині різця сприяє подовженню перехідної різальної крайки і зменшує кути в різних її точках, що призводить до погіршення умов стружкоутворення у вершині різця. В наслідок цього сили  $P_z$  і  $P_y$  при збільшенні радіуса зростають, а сила  $P_x$  зменшується.

При зносі ріжучого інструменту змінюється форма його передньої і задньої поверхонь, збільшується радіус заокруглення кромки і притупляється різальна крайка. Це буде впливати на розміри складової сили різання. Якщо інструмент зношується тільки по задній поверхні, то всі складові сили різання будуть безупинно збільшуватися, в основному її горизонтальні складові  $P_x$  та  $P_y$ . При одночасному зносі передньої і задньої поверхонь інструменту в початковий період зношування сили різання залишаються майже незмінними. При подальшому зношуванні всі складові сили різання починають зростати [1, 2].

Встановлено, що МОТС полегшують процес різання, покращують умови стружкоутворення, знижують тертя по поверхнях інструменту і, як наслідок, деформацію стружки. Сила різання при цьому зменшується, головним чином її горизонтальні проекції ( $P_x$ ,  $P_y$ ), оскільки вони суттєво залежать від сил тертя. Однак ефективність МОТС, як показує практика, визначається товщиною шару, що зрізається (подачею) і швидкістю різання. Зі збільшенням цих параметрів зростають нормальні тиски і температура на передній поверхні інструменту. При цьому з'являється можливість руйнування мастильних плівок і виникнення ділянок сухого тертя між стружкою і поверхнею інструменту. Все це знижує ефект від застосування МОТС і вплив їх на силу різання [1, 2].

## 2 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ СКЛАДОВИХ СИЛИ РІЗАННЯ

Формули для розрахунку складових сили різання отримані на підставі обробки експериментальних даних. Прилади, використовувані для вимірювання сил різання, називають динамометрами. Якщо динамометр призначений для вимірювання тільки однієї складової сили різання, його називають однокомпонентним, двох складових - двокомпонентним, трьох складових - трикомпонентним. Для підвищення точності вимірювання динамометри повинні мати достатню статичну жорсткість, малу інерційність і незначну чутливість до температурних коливань. Крім того, у динамометрів не допускається взаємний вплив складових сили різання. Існують динамометри різного конструктивного виконання, які в значній мірі задовольняють названим вимогам. Вимірювальними елементами в цих динамометрах можуть служити тензоелектричні, індуктивні і ємнісні датчики. Принцип дії цих динамометрів засновано на вимірюванні пружних деформацій, значення яких пропорційно діючій силі різання. При вимірі складових сили різання на динамометри встановлюють на інструмент (токарна обробка, розточування) або оброблювану заготовку (свердління, фрезерування, стругання, протягування) [1; 2].

В роботі для вимірювання зусиль різання застосовується універсальний динамометр (УДМ) з тензоелектричеськіми датчиками. Він може одночасно вимірювати три складові сили різання  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ . Залежно від максимального розміру головної складової сили різання, яка може бути виміряна, випускаються динамометри різної чутливості - УДМ 100, УДМ 600 і УДМ 1200, розраховані на граничну силу  $P_z$  відповідно в 100, 600 і 1200 кгс. Показання динамометра не залежить від точки прикладання сили різання, що дозволяє використовувати різці, що мають різну форму і виліт [4].

Динамометр складається з державки, укріпленої в корпусі за допомогою опор. Держак виконана у вигляді квадратної пластини з круглим фланцем у верхній частині, в якій закріплюються змінні пристосування для установки ріжучого інструменту. По кутах квадрата державка спирається на 16 збірних опор. Кожна опора динамометра складається з тонкостінної втулки і двох опорних ніжок, що утворюють два пружних шарніра. Така конструкція забезпечує велику жорсткість опори в напрямку її осі і малу - в напрямку, перпендикулярному до осі в співвідношенні 100:1. Вертикальні і горизонтальні опори розраховані на різні навантаження. Опори укладені в напрямних втулках і мають попередній натяг, кілька перевищує (приблизно на 10%) половину максимально допустимої для опор навантаження [4].

Натяг в опорах регулюється гайками для регулювання. При попередньому натягу усуваються всі зазори і контактні деформації в стиках деталей динамометра. На кожному опорі строго уздовж твірної втулки наклеєні датові датчики опору з номінальним опором 100 Ом. Провід від кожного датчика виведені на панель, розташовану в нижній частині корпусу, і з'єднані в вимірювальні мости. Провід від діагоналей вимірювальних мостів виведені через штепсельної вилки до підсилювача [4].

Під дією сил різання деформується в основному опори як найменш жорсткі деталі динамометра, наприклад при навантаженні динамометра силою  $P_z$  деформується вертикальні опори. Датчики, наклеєні на ці опори, з'єднані так, що сигнал вимірювальної мостової схеми пропорційний алгебраїчній сумі деформацій всіх верхніх і нижніх вертикальних опор. При такому включенні тензометричних датчиків показання динамометра не залежить від точки прикладання сили різання. Сигнал, що надходить з мостової схеми, посилюється електронним підсилювачем, а потім передається на паралельно з'єднаний мікроамперметр, за допомогою якого реєструється показання динамометра. Його робота при вимірюванні сил  $P_x$  та  $P_y$  аналогічна. Перед початком роботи бруківка схема налаштовується балансувальними опорами "грубо" і "точно" таким чином, щоб стрілка мікроамперметра показувала "0" [4].



## 3 ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

### 3.1 Опис лабораторного стенду

Для дослідження впливу технологічних факторів на складові сили різання на кафедрі металорізальних верстатів, метрології та сертифікації було розроблено симулятор для імітації процесу вимірювань на промисловому обладнанні за допомогою програмного комплексу National Instruments LabVIEW [5]. В розробленому на кафедрі віртуальному приладі були використані залежності складових сили різання від режимів різання та оброблюваних матеріалів [6]:

$$P_{x,y,z} = 10C_p t^{x_p} S_0^{y_p} V^{z_p} m, H$$

де  $C_p, x_p, y_p, z_p$  – постійна та показники ступеня вибираються для конкретних умов обробки за таблицями [6];

$m$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки.

Лицьова панель віртуального стенда для вивчення залежності сил різання від режимів обробки та марок оброблюваних матеріалів представлена на рисунку 2 [5].



Рисунок 2 – Лицьова панель віртуального стенду

При проведенні лабораторної роботи на віртуальному стенді можна варіювати наступні параметри: частоту обертання шпинделю  $n, хв^{-1}$ , подачу супорту верстата  $s мм/об$ , глибину різання  $t, мм$ , діаметр оброблюваної деталі  $d, мм$ , та матеріал оброблюваної деталі. Результати вимірювань складових сили різання  $P_x, P_y, P_z$  можна зчитувати зі стенду будь яким з нижче наведених способів:

- 1) за кривими осцилограм;
- 2) за шкалами приладів, що відображують зміну величин складових стрілками;
- 3) за індикатором цифрового приладу.

### 3.2 Послідовність виконання роботи

Завдання: Дослідити як оброблюваний матеріал та режими різання впливають на складові сили різання при зовнішньому точінні.

Дослідження 1. Вплив оброблюваного матеріалу на величини складових сили різання при точінні.

Дослідити вплив оброблюваного матеріалу на величини складових сили різання при точінні шляхом зміни марок оброблюваного матеріалу при рівних інших мовах: точіння зовнішніх циліндричних поверхонь однакового діаметру з різних матеріалів при однакових умовах різання:  $n = const \text{ хв}^{-1}$ ;  $s = const \text{ мм/об}$ ;  $t = const \text{ мм}$ . Результати дослідження занести у таблицю 1. Зробити висновок.

Таблиця 1

Оброблюваний матеріал	Складові сили різання, $H$		
	$P_Z$	$P_Y$	$P_X$

Дослідження 2. Вплив частоти обертання шпинделю на величини складових сили різання при точінні.

Дослідити вплив частоти обертання шпинделю на величини складових сили різання при точінні зовнішньої циліндричної поверхні однакового діаметру з конструкційної вуглецевої сталі при рівних умовах різання:  $s = const \text{ мм/об}$ ;  $t = const \text{ мм}$  з варіюванням частоти обертання шпинделю  $n \neq const \text{ хв}^{-1}$ . Результати дослідження занести у таблицю 2. Після проведення експерименту побудувати графік залежності складових сили різання від частоти обертання. (Будуємо графік: по осі  $x - n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ , по осі  $y - P_Z, P_Y, P_X, H$ ). Зробити висновок.

Таблиця 2

Частота обертання шпинделю $n, \text{ хв}^{-1}$	Складові сили різання, $H$		
	$P_Z$	$P_Y$	$P_X$

Дослідження 3. Вплив подачі на величини складових сили різання при точінні.

Дослідити вплив подачі на величини складових сили різання при точінні зовнішньої циліндричної поверхні однакового діаметру з конструкційної вуглецевої сталі при рівних умовах різання:  $n = const \text{ хв}^{-1}$ ;  $t = const \text{ мм}$  з варіюванням подачі  $s \neq const \text{ мм/об}$ . Результати дослідження занести у таблицю 3. Після проведення експерименту побудувати графік залежності складових сили різання від подачі. (Будуємо графік: по осі  $x - s$ ,  $\text{мм/об}$ , по осі  $y - P_Z, P_Y, P_X, H$ ). Зробити висновок.

Таблиця 3

подача $s, \text{ мм/об}$	Складові сили різання, $H$		
	$P_Z$	$P_Y$	$P_X$

Дослідження 4. Вплив глибини різання на величини складових сили різання при точінні  
 Дослідити вплив глибини різання на величини складових сили різання при точінні зовнішньої циліндричної поверхні однакового діаметру з конструкційної вуглецевої сталі при рівних умовах різання:  $s = const$  мм/об;  $n = const$  хв<sup>-1</sup> з варіюванням  $t \neq const$  мм. Результати дослідження занести у таблицю 4. Після проведення експерименту побудувати графік залежності складових сили різання від глибини різання. (Будуємо графік: по осі  $x - t$ , мм, по осі  $y - P_z, P_y, P_x, H$ ). Зробити висновок.

Таблиця – 4

Глибина різання $t$ , мм	Складові сили різання, $H$		
	$P_z$	$P_y$	$P_x$

#### 4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Що являє собою сила різання і які джерела її виникнення?
- 2 З якою метою сила різання розкладається на складові  $P_x, P_y, P_z$  ?
- 3 Як впливають на складові сили різання наступні технологічні чинники: глибина різання, подача, швидкість різання?
- 4 Як впливають на складові сили різання наступні технологічні чинники: геометричні параметри різця і його знос?
- 6 Як впливають на складові сили різання застосування МОТС?

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ–2000, 2010. – 422 с.
2. Матюха П.Г. Теорія різання. Навчальний посібник для ВНЗ / П.Г. Матюха. – Донецьк: ДонНТУ, 2005, 259 с
3. Методологія визначення параметрів і умов механічної обробки матеріалів: Навч. посібник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ – Р.П. Дідик, Ю.В. Ткачов, В.Г. Олійниченко та ін.. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005, 164 с.
4. Слободяник П. Т., Тонконогий В.М., Мироненко С.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Теорія обробки матеріалів» для студентів фахів 7.090.258, 7.090.211, 7.090.214, 7.090.207, 7.090.220. Одеса, ОНПУ. 2003, 44 с.
5. Гугнін В. П. Застосування технологій National Instruments при проведенні лабораторних занять. Шляхи реалізації кредитно-модульної системи організації навчального процесу і тестових форм контролю знань студентів: Матеріали семінару науково-метод. семінару. Випуск 5: Організація навчального процесу і тестування. Одеса: Астропринт, 2011. С. 33–35.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х томах т. 1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сусллова. – М.: Машиностроение, 2001, 912 с.