

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

**НТУУ  
"КИЇВСЬКИЙ  
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ"**



**МЕХАНІКО-  
МАШИНОБУДІВНИЙ  
ІНСТИТУТ**



**КАФЕДРА  
ТЕХНОЛОГІЇ  
МАШИНО-  
БУДУВАННЯ**



# **ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Методичні вказівки до виконання  
лабораторних робіт**

**КИЇВ  
2011**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

## **ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Методичні вказівки до виконання  
лабораторних робіт**

*Рекомендовано Вченою радою  
Механіко-машинобудівного інституту НТУУ "КПІ"*

КИЇВ  
2011

Технологія машинобудування: [Текст]: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт для бакалаврів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" / Уклад.: Ю.В.Петраков, В.К.Фролов, В.Г.Біланенко - К.: НТУУ «КПІ», 2011. - 72 с. (електронне видання).

*Гриф надано Вченою радою  
Механіко-машинобудівного інституту НТУУ "КПІ"  
(Протокол №11 від 29.06.2011р.)*

Навчальне видання

## **ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Методичні вказівки**

**до виконання лабораторних робіт**

Укладачі: *Петраков Юрій Володимирович*, д-р техн.наук, проф.  
*Фролов Володимир Костянтинович*, канд.техн.наук, доц.  
*Біланенко Віктор Григорович*, канд.техн.наук, доц.

Відповідальний редактор *Ю.М.Малафєєв*, канд.техн.наук, доц.

Рецензент *О.В.Шевченко*, д-р.техн.наук, проф.

*За редакцією укладачів*

# Лабораторна робота № 1

## Методи вивчення витрат робочого часу спостереженням

**Мета роботи.** Сформувати практичні навички вивчення витрат робочого часу спостереженням.

### **Завдання роботи:**

1. Вивчити методи нормування витрат робочого часу в машинобудуванні
2. Засвоїти методику організації та проведення хронометражу і фотографії робочого дня виконавця.
3. Організувати і провести в лабораторних умовах хронометраж токарної операції.
4. За експериментальними даними виконати аналіз витрат робочого часу по фотографії робочого дня виконавця

## Методика виконання роботи

### Хронометраж

Для проведення хронометражу технологічної операції необхідно підготувати технічного фахівця і робітника, який виконує задану операцію.

Попередня технічна підготовка фахівця включає:

- 1) вивчення змісту операції;
- 2) перетворення елементів технологічної операції (робочий хід, допоміжний хід, технологічний перехід, допоміжний перехід) до відповідного комплекс дій робітника, необхідних для реалізації даного елемента;
- 3) визначення умовних фіксажних точок, які можна прийняти за початок і закінчення відповідних дій;
- 4) вивчення робочого місця і інструктування робочого про проведення хронометражу, про необхідність суворо дотримуватися технологічні режими роботи, використання контрольно - вимірювальних засобів.

Залежно від типу виробництва, виду робіт, необхідної точності встановлення норми часу визначається мінімальне число спостережень, що може досить достовірно характеризувати операцію. Для фіксування експериментальних даних готується хронометражних карта.

Після практичного виконання хронометражу проводиться аналіз експериментальних даних і на їх основі встановлюється обґрунтована норма часу.

## **Фотографія робочого дня виконавця**

Підготовка до проведення фотографії робочого дня виконавця включає

- а) вивчення змісту технологічної операції;
- б) встановлення сукупності дій робочого для реалізації окремих елементів технологічної операції.

Робочий про проведення фотографії робочого дня виконавця інформується на початку зміни.

Результати спостережень записуються в карту спостережень. В процесі спостережень технічний фахівець не втручається в робочий процес, за винятком тих випадків, коли робітник виконує роботу не відповідну даної технологічної операції.

Після завершення робочої зміни проводиться аналіз дій робітника і встановлення їх відповідності окремим складовим норми часу - підготовчо - завершальна робота, основна робота, допоміжна робота, робота з обслуговування робочого місця, витрати часу на відпочинок і особисті потреби. Дані заносяться в таблицю. І виконується їх аналіз з метою встановлення непродуктивних витрат. На основі аналізу встановлюються шляхи і можливості скорочення непродуктивних витрат і розраховується відсоток можливого підвищення продуктивності праці.

## Лабораторна робота № 2

### Дослідження точності установки заготовок та інструменту по лімбу та жорстким упорам на токарних верстатах

**Мета роботи.** Експериментальними методами визначити точність установки заготовок та інструменту на токарних верстатах.

**Завдання роботи:**

1. Вивчити конструкції токарних патронів.
2. Вивчити методи підвищення точності установки заготовок в токарних патронах.
3. Експериментальними методами встановити точність установки заготовок в стандартному універсальному самоцентруються спірально-рейковому патроні і розрізної пружною втулці.
4. Статистичними методами аналізу порівняти точність установки в патроні і втулці.
5. Експериментальним методом встановити точність установки інструменту в заданому положенні по лімбу.
6. Встановити максимальну похибку обробки, яка виникає при токарній обробці в заданих умовах

### Методика виконання роботи

Задана точність механічної обробки в машинобудуванні може бути досягнута двома методами:

- метод пробних ходів і промірів;
- метод автоматичного забезпечення розмірів на налаштованих верстатах.

У даній лабораторній роботі будемо вивчати елементарні похибки обробки, які виникають при реалізації методу автоматичного забезпечення розмірів на налаштованих верстатах.

На жаль, теоретичними методами визначити зазначені елементарні похибки досить важко і тому необхідно використовувати експериментальні методи.

Похибка базування виникає в тих випадках, коли технологічна та вимірювальна бази не збігаються. Для визначення цих баз необхідно уважно вивчити конструкцію шпindelного вузла з встановленим токарним патроном.

Вимірювальною базою буде вісь обертання шпindelя в підшипникових опорах.

Технологічною базою буде вісь обертання заготовки, встановленої в опорних поверхнях кулачків.

Зазначені бази не збігаються в наслідок кінцевої точності виготовлення допоміжних конструкторських баз шпинделя і основний конструкторської бази патрона.

Елементарні похибки установки заготовок та інструменту по фізичній природі є випадковими величинами, тому для їх вивчення використовується теоретико-ймовірнісні методи. Для експериментального вивчення цих похибок необхідно використовувати метод великих вибірок ( $N = 50$ ). При використанні даного методу необхідно виміряти похибку установки партії заготовок. Результати випробування занести в табл. 2.1.

Після проведення випробувань за визначенням похибки установки в патроні необхідно виготовити розрізну пружну втулку і повторювати аналогічні випробування для визначення похибки установки у втулці (табл. 2.2.). При практичному використанні втулки, необхідно дотримуватися таких умов: установку заготовок у втулці проводити в зоні пружного деформування втулки, не допускати повного звільнення втулки і її повороту в кулачках.

Для оцінки точності установки інструменту по лімбу необхідно здійснити наладку шляхом встановлення інструменту в задане положення, яке контролюється індикатором типу МІГ - 1. При досягненні заданого положення інструмента встановлюються нульові показання по ноніусу гвинтової пари переміщення інструменту і нульові показання індикатора. Після цього руйнується вихідна налагодження шляхом довільного переміщення інструменту, а потім відновлюється задане положення інструмента переміщенням гвинтової пари до нульового положення ноніуса. Величина відхилення контролюється індикаторної голівкою. Результати експериментальних даних заносяться в табл. 2.3.

### **Обладнання та оснащення.**

Точність установки оброблюваних заготовок визначається для токарно-гвинторізного верстата моделі 1К62 або 16К20, оснащеного трикулачковим самоцентрівним спірально - рейковим патроном, а також токарно-револьверного верстата моделі 1341 з цанговим патроном.

В експерименті використовуються спеціальні точно виготовлені та термооброблені заготовки  $\varnothing 20 \dots 30$  мм. Вимірювання величини радіального биття здійснюється індикатором годинникового типу 1МІГ (ТУ-2-034-305-71).

Види патронів:

- Кулачкові;
- Цангові;
- Повідкові;
- Мембранні;

Кулачкові патрони по конструкції діляться:

- 3 незалежним переміщенням кулачків;
- Самоцентрувальні.

### Протоколи випробувань.

**Таблиця 2.1.**

**Рекомендований попередній натяг розрізних втулок.**

Номінальний діаметр	Матеріал втулки	
базової поверхні оброблюваної заготовки d, мм	Чавун	Сталь
до 50	$\Delta = 0,01 * d$	-
От 50 до 200	$\Delta = (0,01 \dots 0,015) * d$	$\Delta = 0,01$

**Таблиця 2.2.**

№з / п	Величина похибки, мкм	№з / п	Величина похибки, мкм	№з / п	Величина похибки, мкм	№з / п	Величина похибки, мкм

**Таблиця 2.3.**

Номер експерименту	Показання індикатору	Номер експерименту	Показання індикатору



## Лабораторна робота № 3

### Вивчення пружно – жорсткісних характеристик елементів технологічної системи

**Мета роботи:** Вивчити експериментальні методи визначення пружно-жорсткісних характеристик елементів технологічної системи.

**Завдання роботи:**

1. Вивчити загальне визначення жорсткості і встановити умови для визначення статичної, в усталеному режимі, і динамічної жорсткості.

2. Вивчити аналітичні методи визначення жорсткості окремих елементів та технологічної системи в цілому.

3. Розробити технологічні рекомендації по зменшенню похибок, які виникають в результаті пружних деформацій.

4. Експериментальним шляхом встановити жорсткість шпиндельного вузла супорта і задньої бабки заданого токарного верстата.

#### Методика виконання роботи

Під жорсткістю  $j$  технологічної системи розуміють здатність системи чинити опір дії сил, які деформують її складові елементи. Для кількісного визначення жорсткості, проф. Соколовським А. П. запропонована залежність виду

$$j = \Delta P_y / \Delta y, \quad (3.1)$$

Під дією нормальної складової сили різання  $P_y$  пружно деформуються елементи верстата - шпиндельний вузол,  $y_{ст}$ ; пристосування - токарний патрон,  $y_{пр}$ ; інструмент спільно з різцетримачем, револьверною головкою або інший інструментальної оснащенням -  $y''$  і заготовкою -  $y_з$ . Сума зазначених пружних переміщень може бути визначена за формулою :

$$y = y_{ст} + y_{пр} + y'' + y_з \quad (3.2)$$

При цьому слід враховувати особливості реальної технологічної системи, до якої відносяться: наявність зазорів у вузлах переміщення інструменту, пристосування для установки заготовки, що направляють переміщення супорта, а також не повністю пружний характер деформацій елементів системи під дією зовнішніх сил.

$$j_{ст} = \Delta P_{y_{ст}} / \Delta y_{ст}, \quad (3.3)$$

При цьому в напрямку дії складової сили різання  $P_y$  впливають статичної силою. Якщо процес різання не здійснюється і нормальна

складова сили різання  $P_y$  дорівнює нулю, то можна визначити статичну жорсткість окремих елементів системи. За допомогою спеціальних динамометрів стиснення або впливом вантажів відомої маси. Відповідні переміщення в напрямку дії сили вимірюються стандартними вимірювальними засобами - індикаторними головками типу МІГ. Статична жорсткість характеризує здатність системи до опору статичному деформації і визначається пружними властивостями її елементів, напрямки, а також точок прикладання навантаження. Якщо в процесі різання нормальна складова сила різання  $P_y$  залишається постійною в часі  $P_y = \text{const}$ , то можна визначити жорсткість елементів системи в установленому режимі різання:

$$j_{yp} = \Delta P_y / \Delta u_{yp}, \quad (3.4)$$

Жорсткість системи у встановленому режимі роботи представляє собою характеристику системи,  $\Delta P_y / \Delta j_{yp}$ , залежну від навантаження, пружних і демпфуючих властивостей елементів технологічної системи.

$$j_d = \Delta P_y / \Delta u_d \quad (3.5)$$

Загальні жорсткість технологічної системи визначається з використанням спеціальних систем навантаження - електричні, електромеханічні, гідравлічні, то можна визначити динамічну жорсткість технологічної системи. Якщо нормальна складова сила різання  $P_y$  змінюється в часі (іншої конструкції вібратори, які забезпечують заданий закон зміни сили в часі в напрямку нормальної складової  $P_y$  і контролем переміщення елементів технологічної системи - визначення передавальних функцій). Найбільш часто, для визначення пружно - характеристик жорсткості елементів технологічної системи користуються експериментальними методами визначення жорсткості в сталому режимі різання. Розроблено кілька способів експериментального визначення пружно - характеристик жорсткості системи: ступеневої обточування; реального навантаження; обточування із зустрічними робочими ходами; порівняння заданої і фактичної глибини різання. Найбільш надійним і точним є метод ступеневої обточування, експериментальна реалізація якого здійснюється наступним чином: при заданій схемі установки заготовки і постійних елементах режиму різання  $v$  і  $s$  обточується ступінчастий вал. При нормальній складової сили різання  $P_y$ , створюється за рахунок зміни глибини різання при переході інструменту із ступеня діаметром  $d$  на щабель діаметром  $D$ ,  $D > d$ . Вихідна глибина різання на щаблі діаметром  $d$  становить  $t_0 = 0,1 \dots 0,2$  і при переході на щабель діаметром  $D$  отримує приріст  $t = Dd / 2$ . Приріст нормальної складової сили різання  $P_y$  слід визначити розрахунковим шляхом за відомими формулами:

$$P_y = C_{Py} * t^{X_{Py}} * S^{Y_{Py}} * v^{n_{Py}} * K_{Py}, \quad [H] \quad (3.6)$$

При обробці сталі твердосплавним різцем з певним кутом,  $C_{Py} = 3400$  при,  $S_{Py} = 2430$ ,  $X_{Py} = 0,9$   $Y_{Py} = 0,6$   $n_{Py} = -0,3$  Вплив фізико - механічних характеристик матеріалу враховується за формулою  $K_{Py} = K_m = ((v / 750)^{0,75})$  Величина пружних переміщень елементів технологічної системи визначається експериментальним шляхом. для цього вимірюються діаметри обробленої поверхні, які сформовані після обточування вихідних поверхонь діаметром  $d$  і  $D$ , відповідно  $d'$  і  $D'$ :

$$y = (D' - d') / 2 \quad (3.7)$$

Для визначення жорсткості передньої бабки, інструменту спільно з різцетримачем і супортом, а також задньої бабки необхідно використовувати рівняння для визначення жорсткості верстата при обробці заготовки, встановленої в патроні і на задньому центрі.

$$1/j_{ст} = 1/j_{суп} + (1 - x / L)^2 * 1/j_{пб} + (x / L)^2 * 1/j_{зб},$$

де  $j_{суп}$ ,  $j_{пб}$ ,  $j_{зб}$  - відповідно жорсткість супорта, передньої і задньої бабок;  $L$ -довжина оброблюваної заготовки;  $x$  - відстань від передньої бабки до розглянутого перерізу. Експериментальні дослідження проводяться при трьох значеннях, а саме:  $x = L$ , біля задньої бабки;  $x = L / 2$ , і  $x = 0$  у передній бабки. Відповідно складають систему трьох рівнянь, вирішивши яку визначають жорсткість окремих елементів технологічної системи  $j_{суп}$ ,  $j_{пб}$ ,  $j_{зб}$ .

### **Обладнання та оснащення роботи**

Токарно - гвинторізний верстат моделі 1К62 або 16К20. Ступенева заготовка зі сталі 45 ГОСТ 5.1546-72. Прохідні токарні різці, оснащені пластинками твердого сплаву Т15К6. Зразковий динамометр стискання ДОСМ-3-02 ГОСТ 5.1546 - 72 Індикатор годинникового типу, ГОСТ 577-68.

## Лабораторна робота № 4

### Дослідження закономірностей зношування різців при обточуванні

**Мета роботи** - експериментальними дослідженнями встановити закономірності зношування різців при поздовжньому обточуванні та визначити параметри математичної моделі, яка відтворює вплив швидкості різання на період стійкості інструмента

#### **Завдання роботи:**

1. Дослідити вплив швидкості різання на інтенсивність зношування різців.
2. Визначити показник степеня  $z$  та коефіцієнт пропорціональності  $C$  у формулі залежності періоду стійкості від швидкості різання для конкретних умов оброблення, які прийнято у дослідках.

#### **Обладнання, прилади, інструменти та матеріали**

Токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62 або 16К20, універсально-заточувальний верстат моделі 3А64Д.

Прилади; інструментальний оптичний мікроскоп.

Інструменти: різець прохідний з пластиною твердого сплаву марки Т5К10 або ВК8; штангенциркуль; лінійка масштабна металічна; універсальний кутомір та кутомір на стояку.

Оброблюваний матеріал: циліндрична заготовка з нержавіючої сталі або чавуну.

#### **Основні методичні вказівки до виконання роботи**

Здатність різального інструменту в заданих умовах процесу різання виконувати роботу різання та забезпечувати при цьому встановлені характеристики якості обробленої поверхні називається роботоздатністю.

Дослідженнями процесів оброблення різанням встановлено три основні причини втрати роботоздатності лезових різальних інструментів, а саме: крихке руйнування, пластичне деформування та зношування тертям.

Крихке руйнування спостерігається за умов оброблення, коли в різальному клині інструменту утворюються напруження, величина яких перевищує границю міцності інструментального матеріалу. Найчастіше крихке руйнування може відбуватись за умов чорнового оброблення, що характеризується значною величиною сили різання. Крихке руйнування супроводжується відділенням значних об'ємів інструментальних матеріалів, що визначає непродуктивне використання різальних

інструментів.

Пластичне деформування різального клину спостерігається за умов одночасної дії сили різання та теплоти, що обумовлює зміну форми леза інструмента. Такий вид втрати роботоздатності інструменту є також неефективним.

Пластичне деформування контактних поверхонь різальної частини інструменту визначається підвищенням контактних температур за рахунок зростання параметрів різання, а також нерівномірним всебічним стисненням поверхонь інструменту, що в підсумку підвищує пластичність інструментального матеріалу. В процесі різання слід використовувати такі режими різання, які забезпечують виключення таких відмов різальних інструментів, як крихке руйнування та пластичне деформування, так як відновлення різальних властивостей інструменту після таких відмов шляхом його загострювання супроводжується значними витратами інструментальних матеріалів, а за деяких умов руйнування відновлення різальних властивостей є взагалі неможливими.

Найбільш поширеним видом втрати роботоздатності лезових різальних інструментів є зношування тертям. Зношування – це процес руйнування та відокремлення матеріалу з поверхні твердого тіла та накопичення залишкових деформацій в умовах тертя, що проявляється в зміні розмірів та форми робочого леза. Зносостійкість - властивість матеріалу інструменту чинити опір процесу зношування в заданих умовах тертя, що вимірюється величиною оберненою швидкості зношування або інтенсивності зношування.

Зношування тертям, за домінуючими при цьому фізичними процесами, поділяються: на абразивно-механічне, адгезійне, дифузійне, хімічне, окислювальне та інші, які, в-першу чергу, визначаються фізичними умовами оброблення. При цьому який-небудь з означених механізмів зношування може переважати. Незалежно від умов процесів оброблення завжди спостерігається зношування різальних кромки інструментів.

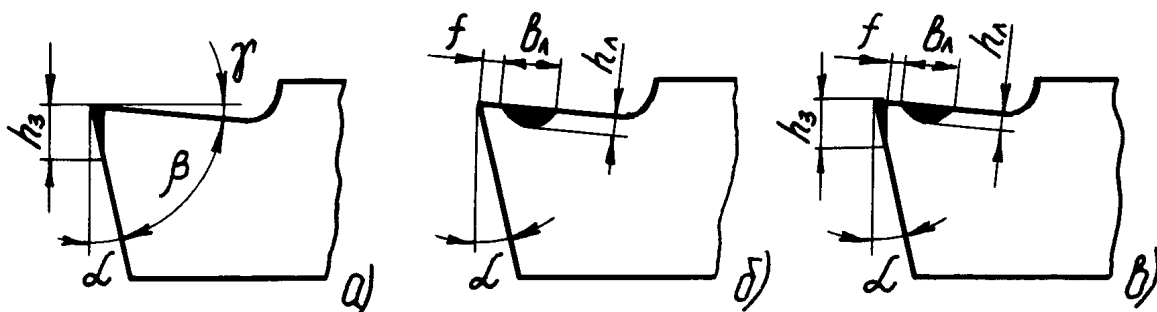


Рис.4.1. Схеми зношування різальних інструментів

Однак, у залежності від цих умов та характеристик оброблюваного та інструментального матеріалів інструмент може зношуватись переважно

по задній або передній поверхнях.

В окремих випадках передня та задня поверхні одночасно зношуються до граничних величин зносу. Переважне зношування задніх поверхонь інструментів найчастіше спостерігається при роботі з малою товщиною зрізаного шару ( $a < 0,2$  мм), особливо в умовах завершального оброблення крихких матеріалів, чавуну, титанових сплавів, термооброблених сталей та сплавів, а також нержавіючих сталей аустенітного класу при цьому на задній поверхні утворюється площинка зносу.

Передня поверхня лезових різальних інструментів зношується переважно при точінні пластичних матеріалів з великою товщиною зрізаного шару ( $a > 0,5$  мм), що відповідає умовам чорнового оброблення з великою площею зрізаного шару. В такому разі стружка чинить великий тиск на передню поверхню інструмента, а на ділянці контакту виникає значна контактна температура, що обумовлює поступове руйнування передньої поверхні та утворення лунки зносу, яку характеризують глибиною лунки  $h_d$ , шириною  $b_d$  та відстанню до різальної кромки  $f$ .

При обробленні неметалічних матеріалів (гетинаксу, текстоліту, склопластиків) з низькою теплопровідністю та високою абразивною здатністю зношування інструмента відбувається завдяки збільшенню радіуса  $r$  округлення різальної кромки.

Період часу на протязі якого зберігається роботоздатність різального інструменту називається періодом стійкості. Важлива експлуатаційна характеристика різального інструмента - зносостійкість. Для підвищення зносостійкості робочих поверхонь інструменту розроблено шаруваті багатогранні змінні пластини з нанесенням зносостійких покриттів на інструментальний матеріал, який має високу границю міцності, наприклад, BK8, TT7K12 та інші. В якості зносостійких покриттів застосовуються нітрид титану  $TiN$ , карбід титану  $TiC$ , карбонітриду титану  $Ti\{CN\}$ , оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . На сучасному етапі розроблено технологічні процеси нанесення багатошарових покриттів, а саме  $TiN-Ti\{CN\}-TiC$ ;  $TiN-Ti\{CN\}-TiN$ ;  $TiN-Ti\{CN\}-Al_2O_3$  та інші, але їх загальна товщина не повинна перевищувати 10мкм, що виключає їх руйнування в процесі роботи.

Внаслідок зношування інструмента на задній поверхні утворюється площинка зносу постійної або змінної ширини. Особливість зношування передньої поверхні - утворення лунки, глибиною  $h_d$  шириною  $b_d$  на певній відстані  $f$  від головної різальної кромки. З часом зношування ширина та глибина лунки збільшуються, а радіус її кривизни та відстань від кромки зменшуються. При одночасному зношуванні передньої та задньої поверхонь інструмента міцність різального клину втрачається швидше через зменшення відстані між лункою та головною різальною кромкою.

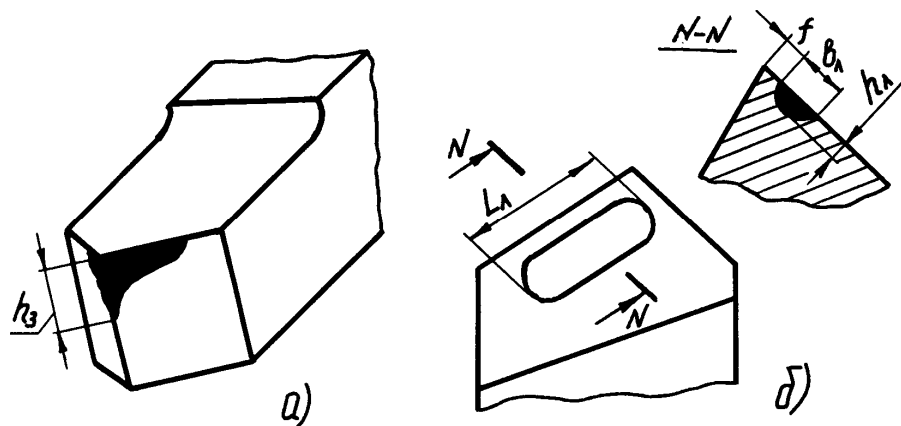


Рис.4.2. Види зносу уздовж різальних кромок: а - по задній поверхні; б - по передній поверхнях

Кількісна характеристика зносу інструмента - **висота зношеної площинки по задній поверхні  $h_3$** . Додаткова міра зносу інструментів, які зношуються переважно по передній поверхні - **глибина  $h_п$  та ширина  $b_п$  лунки**. Графічне зображення закономірностей зношування інструментів з часом його роботи називають **кривою зношування**.

Типова крива зношування для інструментів, що зношуються переважно по задній та передній поверхнях, може бути розділена на три ділянки: **припрацювання П, нормального Н та руйнівного Р зношування** (рис.4.3).

На першій ділянці відбувається припрацювання інструмента у відповідності до заданих умов оброблення, під час якого поверхні зношуються значно швидше, ніж на другій ділянці. Інтенсивність початкового зношування визначається перш за все видом та якістю загострювання та доведення робочих поверхонь інструмента. Ділянка нормального зношування характеризується меншою інтенсивністю і визначає найбільшу частину періоду стійкості інструменту. Величина зносу, що відповідає точці перегину **М** кривої зношування і характеризується різким зростанням інтенсивності зношування, яке називають катастрофічним зношуванням. В цій зоні зношування може відбуватися перехід від зношування тертям до крихкого руйнування, що є недопустимим.

Для визначення періоду стійкості необхідно визначити критерій зношування інструменту. Критерій зношування – це ознака чи їх сукупність, що при даних умовах оброблення визначають втрату роботоздатності різального інструменту. За характером втрати роботоздатності критерії зношування поділяють на фізичні та технологічні. Фізичний критерій зношування – це момент часу на кривій зношування, який визначає різку зміну інтенсивності зношування та обумовлює можливість переходу від зношування тертям до крихкого руйнування. Додатковими ознаками фізичного критерію зношування є

значне зростання складових сили різання а відповідно і потужності оброблення. Технологічний критерій зношування – це момент часу, що визначає вихід характеристик якості оброблюваної поверхні за допустимі межі, наприклад, за точністю оброблення або параметром шорсткості. Окрім цього, при зношуванні інструменту можуть виникати надмірні вібрації та нагрівання заготовки. Цей критерій використовують, головним чином, при дослідженнях та експлуатації інструментів, які використовуються для завершального оброблення.

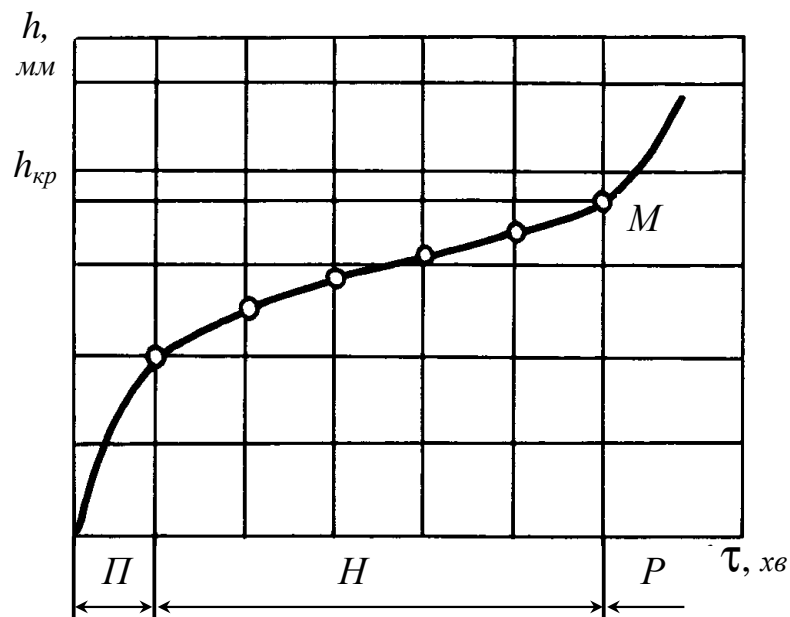


Рис.4.3. Узагальнена типова крива зношування лезових різальних інструментів

**Оптимальним** називають такий критерій зношування, при досягненні якого загальний період стійкості різального інструменту  $T_{заг}$  досягає максимуму

$$T_{заг} = T \times (i + 1), \quad (4.1)$$

де  $T$  - період стійкості інструменту;  $i$  - число загострювань, допустимих інструментом, або число різальних вершин змінної багатогранної пластини.

#### **Методика встановлення дослідної залежності, що характеризує вплив швидкості різання на період стійкості інструменту**

Через значну складність фізичних явищ, які супроводжують зношування різальних інструментів, немає можливості аналітично встановити залежності періоду стійкості від основних керованих технологічних факторів (виду інструментального матеріалу, типу



інструмента, геометричних параметрів його різальної частини, елементів режиму різання, наявності та властивостей змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ). Це обумовлює широке використання експериментальних методів встановлення закономірностей впливу різних факторів на процеси зношування інструмента. Дослідженнями процесів оброблення лезовими різальними інструментами встановлено визначальний вплив швидкості різання на стійкість інструмента, що відображається найбільш поширеною залежністю періоду стійкості інструменту від швидкості різання (4.2)

$$T = C / V^z, \quad (4.2)$$

де **C** - коефіцієнт пропорціональності, який враховує вплив всіх інших факторів на період стійкості інструменту за винятком швидкості різання; **z** - показник степеня, який визначає вплив швидкості різання на період стійкості. В технічній літературі його називають показником відносної швидкості. Коефіцієнт пропорціональності **C** та показник степеня **z** в цій роботі визначаємо за результатами експериментальних досліджень закономірностей зношування токарних різців.

Для прийнятих значень швидкості різання **V** (не менше трьох значень) при незмінних значеннях решти факторів (геометричних параметрів інструмента, глибини різання та подачі) досліджуємо закономірності зношування різального інструменту та встановлюємо залежність висоти площинки зносу **h<sub>z</sub>** по задній поверхні від часу роботи інструмента. Результати дослідження заносимо до протоколу (табл.4.1).

### Умови проведення досліджень

Верстат	_____
Матеріал різця	_____
Геометричні параметри різця:	_____
γ	_____
α	_____
φ	_____
φ <sub>1</sub>	_____
λ	_____
г <sub>в</sub>	_____
Розміри державки ( <b>B × H</b> )	_____
Матеріал інструмента	_____
Матеріал заготовки	_____
Механічні властивості заготовки:	_____
σ <sub>в</sub> , МПа	_____
НВ	_____

## ПРОТОКОЛ дослідження закономірностей зношування різця

Таблиця 4.1

№ дослід у	Діаметр р обточу вання, D, мм	Режим різання				Тривалість роботи різця		Знос по задній поверх ні h <sub>3</sub> ,мм
		h, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	L, мм	τ, хв	

Опрацювання дослідних даних починають з побудови кривих зношування для усіх швидкостей різання, які були використані в досліді роботи при різних швидкостях різання (рис.5.10). Для прийнятого критерію зношування інструмента  $h_3$ , визначаємо періоди стійкості  $T_i$  для усіх швидкостей різання  $V_i$ , які використовуємо для побудови графіка  $T = f(V)$ .

Найпростіше така залежність представляється у подвійних логарифмічних координатах. Якщо про логарифмувати формулу (4.2), отримаємо залежність

$$\lg T = \lg C - z \cdot \lg V. \quad (4.3)$$

Позначивши  $y = \lg T$ ;  $b = \lg C$  та  $x = \lg V$ , одержимо рівняння прямої (звичайно за умови, що  $C$  та  $z$  не змінюються)

$$y = b - zx. \quad (4.4)$$

Тому показник степеня  $z$  визначаємо з графіка залежності  $T = f(V)$  (рис.5.11). Його величина дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі абсцис

$$z = k \cdot \operatorname{tga}, \quad (4.5)$$

де  $k = M_V / M_T$  - відношення модуля осі абсцис до модуля осі ординат.

Значення коефіцієнта  $C$  розраховується з урахуванням величини  $z$ :

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^k (T_i \cdot V_i^z) / N. \quad (4.4)$$

Визначене значення показника степеня слід порівняти з даними, які приводяться в довідниках для сталі X18H10T або чавуну HB190. Розглянутому методу встановлення залежності  $T = f(V)$  властиві такі

недоліки: значна трудомісткість проведення дослідних випробувань, оскільки для підвищення точності визначення параметрів математичної моделі необхідно досліджувати достатню кількість різних значень швидкості різання  $V$ , що обумовлює значну трудомісткість виконання досліджень, а враховуючи необхідність періодичної зупинки процесу оброблення та вимірювання величини зносу, дослідження необхідно виконувати на спеціальних зразках, що створює труднощі його використання в виробничих умовах.

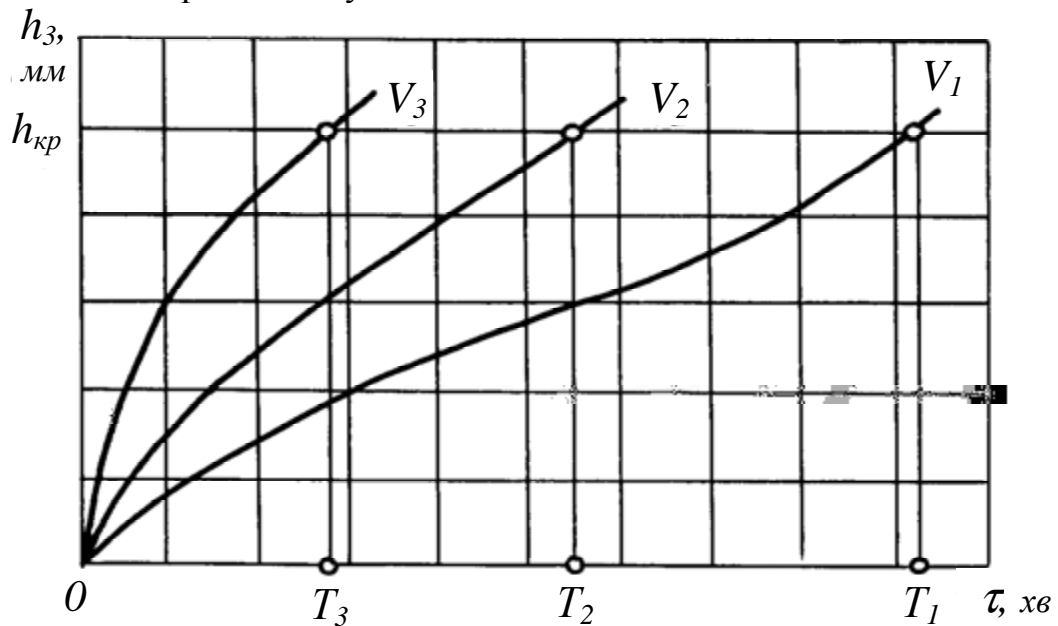


Рис.4.4. Графіки залежності зношування різця від часу його роботи

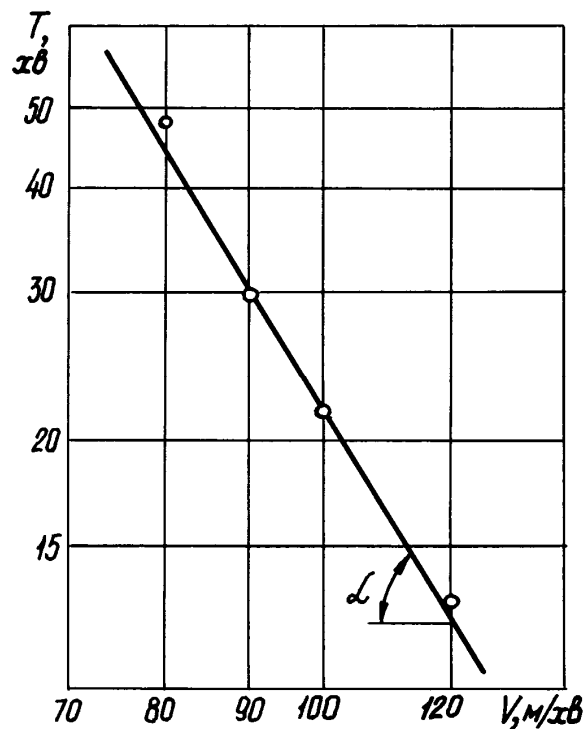


Рис.4.5. Графік залежності періоду стійкості інструменту від швидкості різання

Тому в теорії різання розроблені інші методи дослідних випробувань інструментів, серед яких, в першу чергу, необхідно назвати методи прискорених досліджень закономірностей зношування, які мають як свої переваги так і недоліки.

### **Послідовність виконання роботи**

Виміряти геометричні параметри різальної частини інструмента та визначити якість його загострювання.

При постійній глибині різання ( $h = \text{const}$ ) та подачі ( $S = \text{const}$ ) для кількох значень швидкості різання  $V$  встановити залежність висоти площинки зносу  $h_z$  від часу різання для кожної швидкості різання. За результатами дослідження скласти протокол випробувань (див.табл.5.1).

За результатами досліджень для кожної швидкості різання побудувати криві зношування (див.рис.5.10).

Встановити значення критерію зношування інструменту та за кривими зношування визначити періоди стійкості для кожного значення швидкості різання.

Побудувати у подвійних логарифмічних координатах графік залежності періоду стійкості інструмента від швидкості різання.

Для заданих конкретних умов процесу оброблення визначити значення показника степеня  $z$  і коефіцієнта пропорційності  $C$  та записати одержану математичну модель.

З застосуванням стандартних математичних моделей розрахувати величину швидкості різання, яка допускається різальними властивостями інструментального матеріалу для заданих умов оброблення та періодів стійкості, що були встановлені в результаті експериментальних досліджень.

Скласти звіт про виконану роботу і сформулювати змістовні висновки.

## Лабораторна робота № 5

### Температурні деформації різального інструменту

#### Загальні відомості про температурні деформації технологічної оброблюючої системи (ТОС)

В процесі обробки деталей на металорізальних верстатах в ТОС виділяється значна кількість теплоти. Джерелами теплоти є: процес різання (теплота різання), тертя сполучених деталей і вузлів верстата (теплота тертя), нагрівання електро-і гідроапаратури. Виділятимуться теплота сприймається навколишнім середовищем і частково елементами самої ТОС, що призводить до зміни лінійних розмірів окремих деталей і вузлів ТОС з та їх просторової орієнтації.

Величина зміни лінійного розміру або просторової орієнтації окремої деталі або вузла ТОС, в результаті нагрівання, називається температурної деформацією цієї деталі або вузла.

Температурні деформації елементів ТОС впливають на точність виготовляється виробу. Так, наприклад, неоднаковий нагрівання підшипників шпинделя призводить до зміни положення його осі обертання (вісь обертання шпинделя стає не паралельної напрямних верстата), в результаті чого оброблена поверхня буде мати відхилення від циліндричності.

У певний момент часу кількість теплоти, що сприймається елементами ТОС, стане дорівнює кількості теплоти, що віддається ними навколишнього середовища, тобто настане тепловий баланс ТОС. Починаючи з цього часу температура, а значить і температурні деформації елементів ТОС будуть постійними.

Відповідно до вищевикладеного розрізняють два типи процесів механічної обробки: стаціонарні і нестаціонарні.

Стаціонарним процесом механічної обробки називається такий процес, при котів температурні деформації елементів ТОС змінюються в часі.

Вплив технологічних факторів на температурні деформації різального інструменту

Найбільша кількість теплоти, що виділяється ТОС, припадає на процес різання. Кількість теплоти різання залежить від швидкості різання і тангенціальною складовою сили різання [1], ккал / хв:

$$Q = P_r V / 427 \quad (5.1)$$

Виділятимуться теплота різання поглинається стружкою  $Q_c$ , деталлю  $Q_d$ , інструментом  $Q_{ин}$ , і навколишнім середовищем  $Q_{oc}$ .

Рівняння теплового балансу процесу різання матиме вигляд:

$$Q = \frac{F_d V}{427} = Q_c + Q_d + Q_{ин} + Q_{oc} \quad (5.2)$$

Експериментальні дані [1] показують, що при точінні з швидкостями різання  $V = 30 \dots 40$  м / хв теплота різання розподіляється наступним чином:  $Q_c = 30 \dots 70\%$ ;  $Q_d = 30 \dots 70\%$ ;  $Q_{ин} = 3\%$ ;  $Q_{oc} = 1 \dots 2\%$ . У міру підвищення швидкості різання частка теплоти, що сприймається інструментом, зменшується, а частка теплоти, що сприймається стружкою, зростає. Так при швидкості різання  $V = 400 \dots 500$  м / хв -  $Q_{ин} = 1\%$ ;  $Q_c = 97 \dots 98\%$ .

При аналізі впливу технологічних факторів на температурні деформації різального інструменту необхідно враховувати їх вплив на обидві частини рівняння теплового балансу.

### Вплив швидкості різання

Підвищення швидкості різання приводить до зростання теплоти різання (5.2) і в той ж час призводить до зменшення частки теплоти, що сприймається інструментом. Тому в міру збільшення швидкості різання температурні деформації різального інструменту можуть збільшуватися або зменшуватися.

### Вплив подачі

Вплив подачі на температурні деформації різального інструменту обумовлено її впливом на тангенціальну складову сили різання

$$F_z = C_{p_z} \cdot S^{0.75} \cdot t \quad (5.3)$$

І на довжину контакту стружки з передньою поверхнею інструменту  $L$  [2]:

$$L = 1,45 (\xi_{\alpha} (1 + \tan \gamma) - 1 / \cos \gamma) \cdot S \cdot \sin \varphi \quad (5.4)$$

Де - коефіцієнт усадки стружки.

Відомо, що збільшення подачі призводить до збільшення коефіцієнта усадки стружки, тобто сприяє зростанню теплоти різання і частки тепла, що сприймається інструментом. Це збільшує температурні деформації інструменту.

## Вплив глибини різання

Вплив глибини різання на температурні деформації різального інструменту пов'язано з її впливом на складову сили різання  $P_z$  (5.3) і на ширину контакту стружки з передньою поверхнею.

Ширина контакту стружки з передньою поверхнею описується рівнянням

$$b = t / \sin \varphi \quad (5.5)$$

Таким чином вплив глибини різання на температурні деформації різального інструменту аналогічно впливу подачі.

## Вплив температурних деформацій ріжучого інструменту на точність обробки

Температурні деформації різального інструменту приводять до появи двох видів похибок: похибки виготовляється розміру і похибки форми.

На початку обробки деталі ріжучий інструмент займає положення, відповідне його налагоджувальних розмірів. У міру роботи інструмент нагрівається до тих пір поки не встановиться тепловий баланс. За цей час величина температурних деформацій досягне значення  $\varepsilon_{td}$  та інструмент займе положення, яке буде зберігатися і при далі робота.

Таким чином в початковий період обробки деталі буде формуватись конусність, кут якої дорівнює

$$X = \arctg\left(\frac{\varepsilon_{td}}{L_1}\right), \quad (5.6)$$

А потім похибка розміру

$$\Delta D = 2 \varepsilon_{td} \quad (5.7)$$

В залежності від співвідношення часу роботи різця до встановлення теплового балансу  $T_1$ , часу перерви в роботі інструменту  $T_2$ , часу, необхідного для охолодження інструменту  $T_3$  і часу обробки заготовки  $T_e$  закономірність зміни діаметра деталі від часу може бути описана різними графіками.

## Визначення температурних деформацій ріжучого інструменту

Температурну деформацію ріжучого інструменту Акумуляторний визначають експериментально за допомогою мікронного індикатора. Після припинення роботи інструмент підводиться до індикатора, встановленому разом з індикаторної стійкою на столі або станині верстата. Відзначається

час, що минув з моменту закінчення роботи інструменту до початку зміни  $t_j$  хвилин після закінчення роботи  $I_j$  можна визначити за формулою

$$y_j = |P_0 - Z_j|. \quad (5.8)$$

Температурна деформація ріжучого інструменту, відповідна моменту закінчення роботи  $\tau = 0$ , дорівнює коефіцієнту  $A$ .

### Обладнання та оснащення роботи

Лабораторна робота виконується на токарно-гвинторізному верстаті мод.16К20. Температурні деформації інструменту вимірюються за допомогою мікронного індикатора, закріпленого на магнітній стійці. Звіт часу роботи інструменту та часу його охолодження проводиться за допомогою секундоміра.

### Оброблення результатів експериментів

Після проведення необхідних планом експерименту досліджень, за даними таблиці проводять обробку результатів. Температурні деформації інструменту в  $i$ -м досвіді визначаються графічно або з системи нормальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m \cdot \ln A - \alpha \sum_{j=1}^m \tau_j &= \sum_{j=1}^m \ln y_j \\ (\ln A) \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j - \alpha \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j^2 &= \sum_{j=1}^m (\tau_j) \cdot \ln y_j \end{aligned} \right\} (5.9)$$

Закономірність впливу досліджуваного фактора на температурні деформації інструменту визначаються за допомогою методу найменших квадратів.

Якщо шукана математична модель постулюється у вигляді

$$A = dX^k \quad (5.10)$$

Де  $X$ -позначення досліджуваного фактора, то система нормальних рівнянь має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} n \cdot \log C - k \sum_{i=1}^n \log x_i &= \sum_{i=1}^n \log A_i \\ (\log C) \cdot \sum_{i=1}^n \log x_i - k \cdot \sum_{i=1}^n (\log x_i)^2 &= \sum_{i=1}^n (\log x_i \cdot \log A_i) \end{aligned} \right\} (5.11)$$

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичну частину роботи.
2. Розробити план дослідження впливу заданого викладачем технологічного фактора на температурні деформації інструмента, тобто визначити умови проведення дослідів.



3. Провести дослідження відповідно до розробленого плану. Результати досліджень занести в таблицю.

4. Визначити значення температурних деформацій інструмента при часу охолодження різця  $\tau_j$  за формулою (5.8) в кожному досвіді і результати занести в табл. 5.1.

5. Скласти систему рівняння (5.9) і вирішити її відносно  $A$  та  $\lambda$ . Записати значення температурних деформацій  $A$  в таблицю.

6. Скласти систему рівнянь (5.11) і вирішити її відносно  $C$  і  $K$ .

7. Записати формулу впливу досліджуваного технологічного фактора на температурні деформації.

8. Зробити висновки по роботі.

## Лабораторна робота № 6

### Дослідження точності установки заготовок на токарних верстатах

**Цілі і завдання роботи** - вивчити конструктивні особливості самоцентруються пристроїв, що використовуються для установки заготовок на токарних верстатах; ознайомитися з методами підвищення точності установки (центрування) заготовок в трикулачковому самоцентрівному спірально-рейковому патроні; експериментальними методами встановити точність центрування заготовок при заданій схемі установки; за результатами досліджень встановити максимальну величину неспіввісності послідовно оброблюваних поверхонь ступеневої валу.

#### Теоретичні відомості

Задана точність механічної обробки може бути досягнута двома різними методами: методом пробних ходів і промірів, і методом автоматичного отримання розмірів на налаштованих верстатах.

Необхідна точність оброблюваних деталей в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва досягається індивідуальними вивірками положення заготовки на верстаті і послідовним уточненням положення інструмента щодо заготовки при реалізації пробних ходів і промірів. Така налагодження верстата повторюється при обробці кожної наступної заготовки. Тому даний метод характеризується великими витратами допоміжного часу, а забезпечувана їм точність суттєво залежить від кваліфікації робітника.

В умовах серійного і масового виробництв точність обробки забезпечується методом автоматичного отримання розмірів на попередньо налаштованому верстаті. Установку заготовок здійснюють без вивірки в спеціальні пристосування на заздалегідь обрані базові поверхні. При великій партії заготовок цей метод більш продуктивний, так як обробка ведеться за один прохід, а витрати часу на попередню наладку верстата розкладаються на всю партію заготовок. Точність обробки в цьому випадку залежить від кваліфікації наладчика, що виробляє наладку і підналадку верстата.

Кожен з розглянутих методів досягнення заданої точності неминуче супроводжується похибками. Однією з причин, що викликають похибки виконаного розміру і відхилення взаємного положення поверхонь оброблюваної заготовки, є похибка її установки на верстаті.

Установкою називається процес базування і закріплення заготовки або виробу.

Похибкою установки називають відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при установці від запланованого і визначають як сумарне поле розсіювання виконуваного розміру за формулою:

$$\epsilon_{\gamma} = \sqrt{\epsilon_{\delta}^2 + \epsilon_{\xi}^2 + \epsilon_{\text{пр}}^2}$$

Де  $\epsilon_{\delta}$ - похибка базування;  $\epsilon_{\xi}$ - похибка закріплення;  $\epsilon_{\text{пр}}$ - похибка пристосування.

Похибкою базування називається відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при базуванні від запланованого. Похибка базування має місце при не суміщенні вимірювальної та технологічної баз заготовки.

Похибкою закріплення називається різниця граничних відстаней вимірювальної бази щодо встановленого на розмір інструмента в результаті зсуву оброблюваних заготовок під дією сил закріплення. Зсув вимірювальної бази заготовки відбувається в результаті деформації ланок ланцюга (заготівля, настановні елементи і корпус пристосування), через яку передається затискна сила. Для партії заготовок ця похибка може бути приведена до нуля, якщо величина зміщення хоч і велика, але постійна, так як може бути врахована попередньою наладкою верстата.

Похибка пристосування визначається помилками виготовлення і збірки його настановних елементів, їх зносом, а також помилками установки і фіксації пристосування на верстаті. У масовому виробництві при одноразовому незмінному закріпленні пристосування його похибка епр доводиться попередньою наладкою до певного мінімуму і враховується в процесі налагодження інструменту на заданий розмір.

При обробці деталей типу тіл обертання їх базування здійснюється за зовнішнім і внутрішнім циліндричним поверхнях з використанням самоцентруються пристроїв. Самоцентруються називається пристрій, опорні поверхні якого рухливі і пов'язані між собою так, що можуть одночасно і з рівним переміщенням зближуватися до осі пристрою або віддалятися від неї. Опорні поверхні самоцентруються пристроїв можуть бути виконані на кулачках, або у вигляді суцільної циліндричної поверхні тонкостінної втулки, пружно деформується при дії сил затиску.

Для переміщення опорних поверхонь в радіальному напрямку використовуються різні механізми, серед яких найбільшого поширення набули спірально-рейкові, важільні, клинові і гвинтові механізми, а також механізми з гідропластом. На їх основі створені різні варіанти самоцентруються патронів: трикулачні, двухкулачковие, цангові, гідропластние та інші, які широко використовуються для установки заготовок на токарних, токарно-револьверних і шліфувальних верстатах.

Найбільшого поширення в умовах одиничного і серійного виробництв отримали універсальні трикулачні самоцентруються спіральні-рейкові патрони з конічною зубчастою передачею, які дозволяють обробляти деталі з досить великим діапазоном діаметрів і прості в експлуатації. Початкова точність установки деталей в цих патронах становить приблизно 0,1 мм. Проте в процесі їх експлуатації точність установки швидко знижується до 0,2 ... 0,4 мм. Це викликано тим, що радіус кривизни на різних ділянках спіралі диска є змінним, а тому контакт із зубами кулачків відбувається по вузьких майданчиків. Під дією сили закріплення в зоні контакту виникають великі питомі тиску, які призводять до інтенсивного зносу виступів на кулачках і втрати точності.

У виробничих умовах для підвищення точності установки патронів широко застосовується розточування або шліфування затискних поверхонь кулачків на максимальний розмір заготовки з оброблюваної партії. Обробка кулачків в цих випадках проводиться в навантаженому стані і є досить трудомісткою операцією. Однак точність установки при цьому підвищується до  $\epsilon_y = 0,01 \dots 0,02$  мм.

Іншим способом підвищення точності самоцентруються патронів є застосування розрізаних втулок, які розраховуються під діаметр зовнішньої базової поверхні оброблюваної заготовки. Оптимальна величина попереднього натягу  $\Delta$  втулки (різниця ширини прорізується паза і товщини прокладки) повинна відповідати умовам надійного утримання втулки в патроні при звільненні оброблюваної заготовки і не викликати в небезпечному перерізі напруг, що перевищують допустимі для даного матеріалу. Рекомендовані значення величини  $\Delta$  наведені в табл. 6.1.

**Таблиця 6.1**

**Рекомендований попередній натяг розрізаних втулок**

Номинальний діаметр базової поверхні оброблюваної заготовки d, мм	Матеріал втулки	
	Чавун	Сталь
До 50	$\Delta=0,01 d$	$\Delta=0,01$
От 50 до 200	$\Delta=(0,01 \dots 0,015)d$	

Положення розрізної втулки в кулачках патрона має бути незмінним як при розточуванні втулки, так при закріпленні в ній оброблюваної заготовки. Враховуючи можливість довільного зміщення втулки в кулачках патрона, на втулці слід робити позначку, що дозволяє, при необхідності, відновити її положення. Закріплення втулки при її розточуванні необхідно здійснювати приблизно з таким же зусиллям, як і при закріпленні оброблюваної деталі. Закріплення втулки для

розточування і оброблюваних заготовок при обробці слід проводити через одну і ту ж малу шестерню патрона.

Зі збільшенням зазору між настановної поверхнею втулки і базовою поверхнею деталі похибка збільшується. Оптимальним є зазор близько 0,1 мм (Н9). Точність установки в патронах за допомогою розрізних втулок може становити  $\epsilon_y = 0,03 \dots 0,05$  мм. При установці партії заготовок об'ємом 80-120 штук в одній і тій же розрізній втулці точність установки знижується. Це обумовлено пластичним деформуванням поверхонь втулки в місцях контакту з затискними кулачками, які призводять до зміщення втулки.

Поряд зі спірально-рейковими патронами у виробництві застосовуються універсальні трикулачкові рейкові передачі з гвинтовою передачею, які забезпечують точність установки оброблюваних заготовок  $\epsilon_y = 0,05 \dots 0,10$  мм. Особливістю таких патронів є те, що зубчасті рейки і кулачки можуть бути виготовлені достатньо точно при високій твердості контактних поверхонь. Підвищення точності виготовлення визначає зниження питомих тисків та інтенсивності зношування робочих поверхонь. Рейкові патрони з гвинтовою передачею більш довговічні, дозволяють створювати великі зусилля закріплення. Однак вони менш універсальні, так як діапазон розмірів закріплених заготовок коливається в незначних межах. Для зміни діапазону потрібно перестановка кулачків щодо рейок або заміна накладних кулачків.

Для установки і закріплення заготовок на токарних і токарно-револьверних верстатах широко застосовуються цангові патрони. Перевага їх у тому, що вони не деформують базові поверхні і забезпечують більш високу точність установки ( $\epsilon_y = 0,03 \dots 0,05$  мм). Однак вони також не універсальні і при переході на новий діаметр базової поверхні заготовки вимагають заміни цанг.

### **Обладнання та оснащення роботи**

Точність установки оброблюваних заготовок визначається для токарно-гвинторізного верстата моделі 1К62, або 16К20, оснащеного трикулачковим самоцентрівним спірально-рейковим патроном, а також токарно-револьверного верстата моделі 1341 з цанговим затиском.

В експериментах використовуються спеціальні точно виготовлені та термооброблені заготовки  $\phi 20 \dots 30$  мм. Вимірювання величини радіального биття здійснюється індикатором годинникового типу 1 МІГ ТУ-2-034-305-71.

### **Порядок виконання роботи**

Обробку заготовок на токарних верстатах часто ведуть за кілька установок, що призводить до неспіввісності оброблених

поверхонь. Величина неспіввісності визначається точністю установки базових поверхонь у токарних патронах і залежить від дії великого числа незалежних один від одного випадкових факторів. Тому, найбільш часто, точність установки для конкретного верстата встановлюють експериментальними методами з використанням статичного методу великих вибірок.

Експериментальна заготівля багаторазово закріплюється в трикулачні патроні і кожен раз вимірюється величина похибки установки її поверхонь. Число вимірювань встановлюється в межах  $50 \leq N \leq 100$ , що імітує установку партії деталей заданого обсягу. Результати вимірювань заносяться в протокол випробувань (табл. 2.2).

**Таблиця 6.2**  
**Протокол випробувань**

Номер п/п	Величина похибки, мкм	Номер п/п	Величина похибки, мкм	Номер п/п	Величина похибки, мкм	Номер п/п	Величина похибки, мкм

Статистична обробка експериментальних даних зводиться до побудови емпіричного і теоретичного законів розподілу, а також визначення їх основних характеристик. Детальний виклад алгоритму статистичного аналізу наведено в методичних вказівках.

В ході лабораторної роботи необхідно виконати наступні етапи:

Вивчити конструкції самоцентрівних патронів, використовуваних для установки оброблюваних заготовок на токарних і шліфувальних верстатах;

Виконати ескіз самоцентрівного патрона, використовуваного на заданому токарному або токарно-револьверні верстаті;

Експериментальним методом встановити точність установки для заданого самоцентрівного патрона;

Експериментальним шляхом оцінити можливість підвищення точності установки заготовок в трикулачковому самоцентрівному спірально-рейковому патроні.

## Лабораторна робота № 7

### Настройка верстатів по пробним деталям та по еталону

#### Частина 1

**Мета роботи:** Вивчити метод настройки верстата по пробним деталям; дослідити точність настройки верстата на даний розмір; визначити технологічні можливості даного методу установки верстатів.

#### Теоретичні відомості

Налаштування верстата може проводитися для окремої деталі і для партії деталей. В останньому випадку розміри деталей виходять автоматично і залежать від положення різального інструменту і упорів верстата щодо настроювальних баз оброблюваної деталі.

Є два методи налаштування верстатів: по пробним деталям і по еталону.

Метод настройки верстата по пробним деталям передбачає попередню установку ріжучого інструменту і упорів на необхідний настроювальний розмір за допомогою вимірювального інструмента і подальшу коригування їх положення за результатами вимірювання пробних деталей, оброблених на налаштованому верстаті.

Величина настроєчного розміру обчислюється:

1. Для зовнішнього розміру:  $D_H = D_{HM} + 3\sigma + 0,5\delta_H$

2. Для внутрішнього розміру:  $D_H = D_{HB} - 3\sigma - 0,5\delta_H$

Де  $D_{HM}$ ;  $D_{HB}$  - відповідно найменший і найбільший граничні розміри оброблюваної поверхні;  $\sigma$  - середнє квадратичне відхилення, що характеризує точність даного методу обробки (при розрахунках можна прийняти:  $\sigma = 0,1\delta$ );  $\delta$  - допуск на витримує розмір деталі;  $\delta_H$  - допуск на настройку:

$$\delta_H = 2K \sqrt{\Delta_{изм}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{расч}^2}$$

$\Delta_{изм}$  - похибка вимірювання пробних деталей, що залежить від точності вимірювального інструмента ( $\Delta_{изм} = 0,5 C$ );  $C$  - ціна поділки вимірювального приладу;  $\Delta_{рег}$  - похибка регулювання положення різального інструменту або упору, що залежить від конструкції регулювального пристрою і точності використовуваних вимірників;  $\Delta_{расч}$  - похибка методу розрахунку величини настроєчного розміру.

$$\Delta_{расч} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

n - Кількість пробних деталей (n = 5 ... 10); K - коефіцієнт відносного розсіювання, що характеризує відхилення законів розподілу похибок від нормального закону (K = 1 ... 1,2).

**Таблиця 7.1**  
**Похибка регулювання положення інструмента при налагодженні верстата**

Метод регулювання положення інструмента Δрег, мкм	Δрег, мкм
За лімба з ціною поділки, мм: 0,03 0,05 1,0-0,5	10...30 15...30 30...70
За індикаторним упором з ціною поділки, мм: 0,01 0,002	10...15 3...5
За жорстким упором	20...50
За еталону: При підводі різця поперечним гвинтом Контроль за паперовим щупом Контроль по металевому щупу	20...30 10...20 7...10

Налаштування вважається правильною, якщо:

$$D_H - \delta_n \leq D_{ср} \leq D_H + \delta_n,$$

Де D<sub>ср</sub> - середній розмір пробних деталей, оброблених на налаштованому верстаті.

Якщо зазначена умова не виконується, виробляють доналадку верстата.

Для оцінки точності настройки верстата користуються залежністю:

$$t = \frac{1}{S} |D_H - \bar{D}| \sqrt{n} \leq t_{\alpha}$$

де t; t<sub>α</sub> - розрахункове та табличне значення критерію Стьюдента: α = 0,05 від числа ступенів свободи, S = середньоквадратичне відхилення:

Якщо умова виконана - точність настройки достатня.

При настройці - токарно-револьверного верстата необхідно пам'ятати, що задній барабан з упорів використовується для автоматичного відхилення поздовжньої подачі револьверного супорта, а передній - для обмеження ручного переміщення револьверного супорта.



Налаштування по пробним деталям трудомістка і частина пробних деталей йде в шлюб. Тому вона використовується для налаштування верстатів при обробці дрібних деталей простої конфігурації.

### **Обладнання та оснащення**

Токарно-гвинторізний верстат 1К62 або токарно-револьверний 1341. Мікрометри та індикатори годинникового типу.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з устаткуванням і вимірювальним інструментом;
2. Вивчити техніку безпеки при виконанні роботи;
3. Вивчити особливості методу налаштування верстата по пробним деталям;
4. Визначити величину настроєчного розміру для налаштування верстата по пробним деталям;
5. Налаштувати верстат на обчислену величину настроєчного розміру;
6. Обробити партію пробних деталей;
7. Виміряти отримані деталі. Результати вимірювань звести в таблицю 7.2:
8. Оцінити якість і точність настройки;
9. Зробити висновки по роботі.

### **Виконання роботи:**

#### **Таблиця 7.2**

#### **Результати вимірювань**

№ п/п	1	2	3	4	5

### **Частина 2**

**Мета:** Вивчити метод настройки верстата по еталону; дослідити точність настройки верстата на даний розмір; визначити технологічні можливості даного методу установки верстатів.

### **Теоретичні відомості**

Цей метод настройки передбачає установку ріжучого інструменту і упорів за заздалегідь виготовленому еталону, який являє собою прототип деталі, що обробляється на даному верстаті. Налаштування виконується в

статистиці і не враховує ні жорсткості реальної технологічної системи, ні якості виготовлення еталона.

Тому для реалізації настройки верстата по еталону необхідно за даними робочого креслення визначити розміри еталона.

$$D'_{\text{э}} = 0,5(D_{\text{нб}} + D_{\text{нм}})$$

Де  $D'_{\text{э}}$  - розрахунковий розмір еталона;  $D_{\text{нб}}$  - найбільший,  $D_{\text{нм}}$  - найменший розміри деталі по робочому кресленню. Потім розмір еталона коригується:

$$D_{\text{э}} = D'_{\text{э}} - \Delta_{\text{попр}}$$

Де  $\Delta_{\text{попр}}$  - величина поправки, що враховує стан ТОС.

$$\Delta_{\text{попр}} = \bar{D} - D_{\text{н}}$$

$\bar{D}$  - Середнє арифметичне значення оброблюваного розміру за результатами вимірювання  $n$  деталей, виготовлених при налаштуванні верстата на розмір

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{n}$$

$D_{\text{н}}$  - настроювальний розмір, який визначається за такими залежностями:

$$\text{Для зовнішньої поверхні} - D_{\text{н}} = D_{\text{нм}} + 3S$$

$$\text{Для внутрішньої поверхні} - D_{\text{н}} = D_{\text{нм}} + 3S$$

$S$  - Середнє квадратичне відхилення, що характеризує дійсну точність обробки на даному верстаті:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

Допуск на остаточний розмір еталона встановлюється з умови:

$$\delta_{\text{эт}} = (0,1 \dots 0,15) \delta$$

Де  $\delta$  - допуск на оброблюваний розмір.

При настройці по еталону необхідне положення різального інструменту в осьовому і радіальному напрямку визначають зіткненням

його ріжучих кромки з відповідними поверхнями еталону. Надійність контакту контролюють за допомогою щупів.

Похибка настройки в цьому випадку визначають за формулою:

$$\Delta_H = K \sqrt{\Delta_{изгэт}^2 + \Delta_{устин}^2}$$

Дізг пов - похибка виготовлення еталона, яка може коливатися в межах 10 ... 20 мкм; Дуст ін - похибка установки по щупу (табл. 7.3);

K - коефіцієнт, що враховує відхилення закону розподілу похибок від нормального (K = 1 ... 1,2).

Налаштування за еталон менш трудомістка, що гарантує більш повне використання обладнання за часом. Вона дає більш стабільну і надійну, виключає витрата пробних заготовок. При цьому не вимагає наладчиків високої кваліфікації.

### Обладнання та оснащення

Токарно-гвинторізний верстат 1К62 або токарно-револьверний 1341. Мікрометри та індикатори годинникового типу.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з устаткуванням і вимірювальним інструментом;
2. Вивчити техніку безпеки при виконанні роботи;
3. Вивчити особливості методу налаштування верстата по еталону;
4. Визначити розрахунковий розмір еталона за даними робочого креслення;
5. Виготовити еталон методом пробний ходів і промірів;
6. Налаштувати верстат на партію пробних деталей по еталону;
7. Обробити партію пробних деталей;
8. Виміряти деталі і занести дані в таблицю 7.3;
9. Визначити величину поправки і розмір еталона;
10. Налаштувати верстат по еталону і обробити партію деталей;
11. Оцінити якість настройки;
12. Зробити виводь по роботі.

### Виконання роботи

**Таблиця 7.3**

**Результати вимірювань**

№ п/п	1	2	3	4	5	6

## Лабораторна робота № 8

### Аналіз точності характеристик деталі на двох суміжних операціях

**Мета роботи:** проаналізувати точність деталей на двох суміжних операціях, виявити вплив на точність оброблення явищ технологічної спадковості.

#### Теоретичні відомості

При механічній обробці спостерігається поступова зміна розмірів і форми заготовки з метою їх наближення до заданих розмірах. При цьому на кожній операції вихідні показники якості наближаються до заданих або необхідним значенням.

Про зміну точності на кожній операції можна судити по кривих розподілу похибок отриманого в результаті вимірі великого числа деталей, оброблених на даній операції, або за статистичними характеристиками цих розподілів  $\bar{x}$  і  $\sigma$ .

Характеристики розподілів, отримані не попередньої операції, називають вхідним якістю і позначають через, а аналогічні характеристики розподілів на виконуваної операції - вихідним якістю ( $\bar{y}$  и  $\sigma_y$ ).

Зв'язок між похибкою обробленої деталі і похибкою заготовки виражається залежністю:

$$\Delta_D = C \cdot \Delta_Z \quad (1)$$

Де  $C$  - коефіцієнт, що залежить від режимів обробки, фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу і жорсткості ТОС:

$$C = \frac{C^y H B^y S^y}{y_B}$$

З рівняння (1) випливає, що похибка заготовки копіюється на обробленої деталі і тим більше, чим більше величина  $C$ . Однак  $C$  і  $\Delta_D$  - змінні, випадкові величини, меду якими не може бути функціональною зв'язку і, очевидно, цей зв'язок може бути тільки кореляційної.

Для визначення наявності кореляційного зв'язку необхідно обчислити величину коефіцієнта кореляції  $r_{xy}$ :

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Де СХВ - величина коваріації x і y:

$$C_{xy} = \frac{\sum (x_1 - \bar{x})(y_1 - \bar{y})}{n-1}$$

Де  $\bar{y}$  - середні значення спостережуваних параметрів якості:

$$\bar{x} = \sum \frac{x}{n}; \quad \bar{y} = \sum \frac{y}{n};$$

$\sigma_x$  і  $\sigma_y$  - середні квадратичні відхилення досліджуваних величин:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum \frac{(x_1 - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad \sigma_y = \sqrt{\sum \frac{(y_1 - \bar{y})^2}{n-1}};$$

Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює «1», то досліджувані величини x і y пов'язні точною прямолінійною зв'язком види:

$$y = a + bx$$

Якщо коефіцієнт  $r_{xy} = 0$ , то між x і y не існує прямолінійною зв'язку. Чим ближче значення  $r_{xy} = k \pm 1$ , тим точніше і тісніше прямолінійна кореляційний зв'язок між x і y.

Для перевірки значущості коефіцієнта кореляції можна скористатися залежністю:

$$t = |r_{xy}| \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

Якщо t більше табличного значення знайденого при рівні значущості 0,05 і числі ступенів вільності  $t = \eta - 2$ , то гіпотеза про значущість  $r_{xy}$  підтверджується. Тоді рівняння регресії можна записати наступним чином:

$$y = \bar{y} + r_{xy} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (x - \bar{x})$$

У цьому рівнянні величина  $b = r_{xy} \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$  показує, яка частина похибки входу переноситься на похибка виходу і називається передатною характеристикою процесу.

Останнє рівняння можна використовувати для практичних завдань, пов'язаних зі зміною показників точності на вході і досягненням необхідної точності на виході.

У першій частині роботи потрібно освоїти методику оцінки сумарної похибки обробки по заданому параметру і визначити закон підсумовування елементарних похибок.

Друга частина роботи передбачає експериментальну оцінку сумарної похибки обробки для заданої тих операції. Обробляють партію деталей, проводять вимірювання заданого розміру. Результати вимірювань заносять таблицю:

**Таблиця 8.1**  
**Результати вимірювань**

Номер деталі	Контролюємий параметр	Номер деталі	Контролюємий параметр

Розраховують коефіцієнт кореляції і перевіряють його значущість.

Співвідношення розрахункового значень сумарної похибки обробки та експериментального характеризує ступінь обґрунтованості розробленої теоретичної розрахункової схеми. У разі суттєвих відмінностей необхідно виконати аналіз причин, що визначають ці розбіжності. Крім того розробити пропозиції, що дозволяють підвищити точність обробки для даної операції.

## Лабораторна робота № 9

### Вивчення впливу технологічних факторів процесу обробки на параметри шорсткості оброблюваної поверхні

**Мета роботи:** Ознайомитися з впливом параметрів шорсткості поверхні деталі на її експлуатаційні показники.

**Завдання роботи:**

1. Ознайомитися з параметрами шорсткості, що встановлюються ГОСТ 25142 - 82;
2. Ознайомитися з пристроєм і принципом роботи профілографа - профілометра моделі 201;
3. Встановити математичні моделі, що відображають вплив заданого елемента режиму різання на параметри шорсткості.

#### Методика виконання роботи.

Діючий нині ГОСТ 25142 - 82 "Шорсткість поверхні" відповідає СТ РЕВ 1156 - 78 і передбачає нормування трьох груп параметрів: пов'язаних з висотними властивостями нерівностей, з властивостями нерівностей в напрямку довжини профілю і з формою нерівності профілю.

Успішне практичне використання нового стандарту в значній мірі пов'язане з метрологічним забезпеченням контролю нормованих параметрів шорсткості. У нашій країні і за кордоном розроблені різноманітні вимірювальні прилади, але найбільш поширене вимір і запис нерівностей поверхні щупів методом. Сутність його полягає в тому, що щупом служить гострозаточенням голка, що проводиться в поступальне переміщення по певній трасі відносно поверхні. Вісь голки розполагають по нормалі до поверхні. Під час руху обмацує головки щодо контролюємої поверхні голка починає коливатися щодо головки, повторюючи за розміром і формою огинаємо профіль поверхні. Механічні коливання голки перетворюються в подібні їм електричні коливання за допомогою електромеханічного перетворювача того чи іншого типу. Отриманий з перетворювача корисний сигнал підсилюють, а потім вимірюють його параметри, подібні параметрам нерівностей контрольованої поверхні, або записують профіль в обраних вертикальному і горизонтальному масштабах.

Щупів електромеханічні прилади, призначені для вимірювання параметрів шорсткості поверхні, називають профілометра, а такі ж прилади для запису нерівностей - профілографами. Зазвичай профілографи дозволяють записувати не тільки нерівності, а й вимірювати параметри шорсткості. Тому їх називають профілографами - профілометра.

Індуктивний профілометр моделі 240 призначений для вимірювання параметра шорсткості на прямолінійних трасах поверхні в межах 0,04 - 5 мкм.

Вибір для вимірювання шорсткості западин моделі 261 призначений для запису нерівностей опуклих і увігнутих сферичних і циліндричних поверхонь.

Профілограф - профілометр моделі 201 призначений для вимірювання параметра  $R_a$  шорсткості в межах 0,05 - 20 мкм на прямолінійних трасах поверхонь, а також записів профілограм поверхні.

Профілограф - профілометр моделі 252 призначений для вимірювання параметрів шорсткості  $R_a$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $tr$  і  $K_r$ -і (число кроків) і для запису нерівностей на прямолінійних трасах поверхонь.

Геометричні характеристики обробленої поверхні це замикаючу ланку технологічної системи. Вони визначаються фізико - механічними властивостями оброблюваного та інструментального матеріалів, геометричними параметрами ріжучої частини інструменту і ступенем його зносу, режимом обробки, умовами охолодження зони різання, упруго-жорсткісними і динамічними характеристиками верстата і рядом інших факторів.

Для аналізу характеристик обробленої поверхні використовують два підходи: кінематики - геометричний і імовірнісний.

При кінематики - геометричному методі висоту мікронерівностей обробленої поверхні можна визначити так:

$$R_z = H_p + \Delta H,$$

де  $H_p$  - розрахункова висота нерівностей;

$\Delta H$  можна визначити за формулою

$$\Delta H = \Delta H_u + \Delta H_{пл} + \Delta H_c + \Delta H_{тр} + \Delta H_{нзм} + \Delta H_v$$

$H_v$  - складові відображають фактичне збільшення висоти мікронерівностей в результаті пружного відновлення обробленої поверхні, пластичної деформації в зоні стружкоутворення, зрізання висоти мікронерівностей сходять стружкою, тертя задньої поверхні інструмента по обробленій  $\Delta H_{нзм}$ ,  $\Delta H_{тр}$ ,  $\Delta H_c$ ,  $\Delta H_{пл}$ ,  $\Delta H_u$ ,  $\Delta H_v$  де поверхні, зміни початкового контура ріжучих кромek внаслідок зносу інструменту, а також з - за вібрацій інструменту та оброблюваної поверхні.

Розрахункова висота  $H_p$  залежить від геометричних параметрів інструменту та подачі.

Імовірнісний підхід до аналізу характеристик обробленої поверхні полягає в тому, що процес утворення шорсткості поверхні розглядається як результат дії двох процесів: випадкового і детермірованого. Завдання



такого аналізу: виділити вплив детермірованих факторів методами спектрального аналізу або методики планованого експерименту.

Між параметрами шорсткості поверхні є тісний кореляційний зв'язок. Вона має місце між параметрами  $R_z$ ,  $R_{max}$ ,  $R_p$ ,  $tr$  і  $R_a$ , а також між  $S_m$  і подачею.

Експлуатаційні показники машинобудівної продукції значною мірою пов'язані з якісними характеристиками її робочих поверхонь. Технологічне забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей робочих поверхонь в першу чергу пов'язано з формуванням заданих параметрів мікронерівностей в процесі реалізації технологічних операцій. Незважаючи на винятково малі розміри мікронерівностей, що становлять шорсткість, вони справляють істотний вплив на найрізноманітніші експлуатаційні властивості деталей: тертя і знос; контактні деформації; корозійну стійкість; концентрацію напруг і втомну міцність; вібраційну активність і т.д.

### **Обладнання та оснащення.**

Верстати: токарно-гвинторізний, фрезерний або шліфувальний.

Ріжучий інструмент: різець, торцева фреза або шліфувальний круг, які вибирають в залежності від марки оброблюваного матеріалу.

Вимірювання середньоарифметичної висоти мікронерівностей і записати профілограм здійснюють на профілометра-профілографи мод. 240.

### **Вихідні дані для виконання роботи:**

Режими різання:

$h = 0,5$  мм;  $n = 650$  об. / хв.

#### **Таблиця 9.1**

#### **Залежність базової довжини від параметра $R_a$**

$R_a$ (мкм)	L (мм)
0,006 – 0,02	0,08
0,02 – 0,32	0,25
0,32 – 2,5	0,8
2,5 – 10	2,5
10 - 80	8
80 - 100	25

Користуючись наведеними профілограмами (рис.9.1), необхідно розрахувати за формулами, приведеними в ГОСТ 25142-82 "Шорсткість

поверхні" (додаток 5) параметри шорсткості  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $S_m$  та  $t_p$  для кожної з профілограф та побудувати залежності, що пов'язують ці параметри шорсткості з величиною подачі  $S$ .

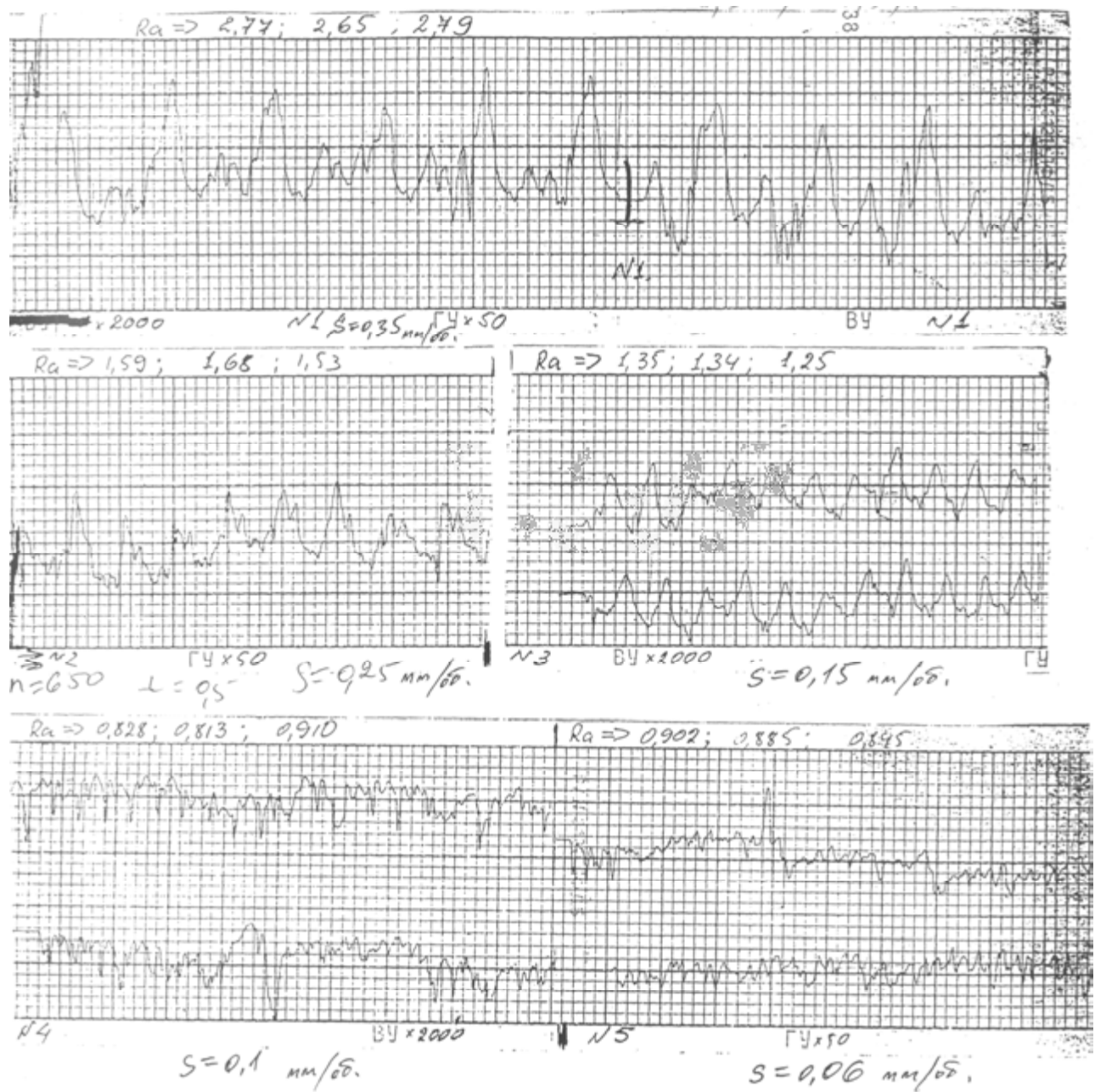


Рис.9.1. Профілограми

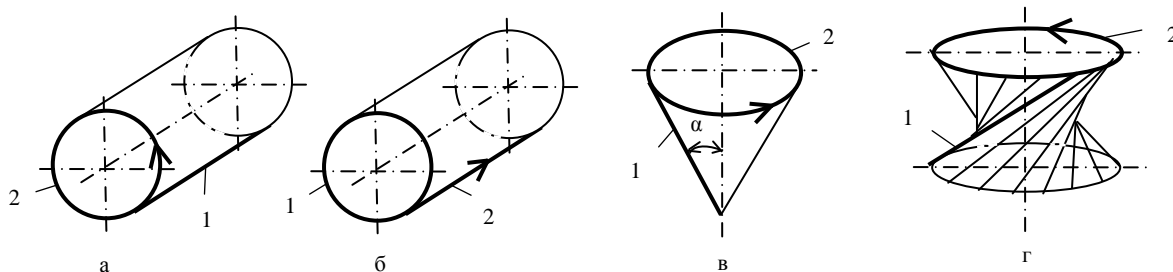
## Лабораторна робота №10

### Синтез обробляючого обладнання на основі аналізу формування поверхонь деталей

**Мета роботи:** вивчити способи формування різних типів поверхонь і їх практичну реалізацію.

#### Теоретична частина

Будь-яка поверхня може бути отримана як слід руху однієї лінії (твірної) по іншій (направляючій). Іноді ці лінії можуть бути взаємозамінними, тобто твірна лінія може бути направляє і навпаки. Наприклад, зовнішня циліндрична поверхня може бути отримана як слід руху твірної 1 (прямої лінії) по направляючій 2 (кола) (рис.1, а) або як слід руху твірної 1 (кола) по направляючій 2 (прямої лінії) (рис.1, б). Отримання зовнішньої конусної поверхні (рис.1, в) можливо тільки при русі твірної 1 (прямої лінії), розташованої під кутом  $\alpha$  до осі конуса, по направляючій 2 (кола). Лінійчата поверхня (рис 1, г) може бути отримана як слід руху твірної 1 (прямої лінії), розташованої під кутом до осі поверхні і не лежить з нею в одній площині, по направляючій 2 (кола).



На практиці можливі різні способи фізичної реалізації направляє і утворює ліній. Так, для отримання зовнішньої циліндричної поверхні за схемою рис.1, а, твірна пряма лінія 1, що належить обробного інструменту, може бути фізично реалізована двома способами: у вигляді однієї ріжучої кромки інструменту (наприклад, широкого різця) або у вигляді сукупності слідів, що залишаються багатьма ріжучими кромками інструмента, що обертається навколо своєї осі (наприклад, циліндричної фрези або шліфувального круга). При цьому напрямна лінія 2 може бути реалізована трьома способами: обертанням циліндра навколо своєї осі при нерухомій в просторі утворює 1, обертанням твірної 1 навколо нерухомого циліндра і спільним обертанням твірної і циліндра відносно один одного. Таким чином, як показав аналіз, існує шість можливих способів отримання зовнішньої циліндричної поверхні за схемою рис.1, а.

Для кожного з цих способів можна сконструювати обробляє обладнання, що має механізми і приводи, здатні реалізовувати відповідні формотворчих руху. При цьому необхідно взяти до уваги наявність на оброблюваної поверхні припуску і передбачити рух, що дозволяє його зрізати. Так, для схеми рис.1, а, цей рух повинен дозволяти зменшувати відстань між твірною 1 і віссю циліндра. Реалізувати його можна трьома способами: переміщенням утворює при нерухомій осі циліндра, переміщенням осі циліндра при нерухомій твірної і спільним зближенням твірної й осі циліндра.


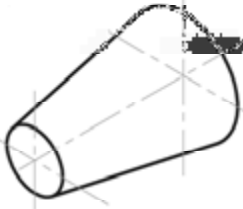
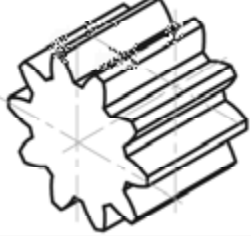
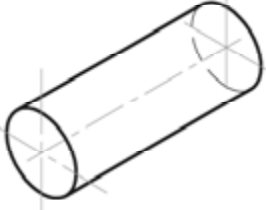
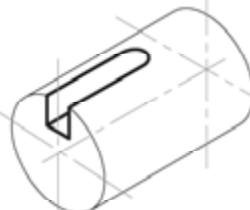
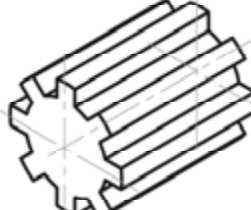
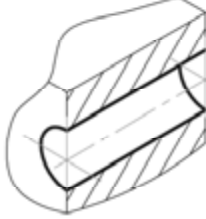
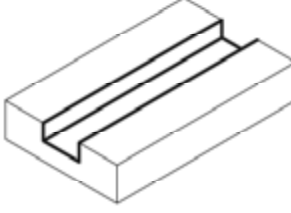
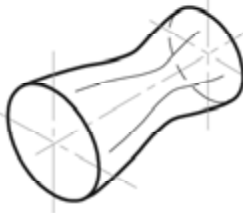
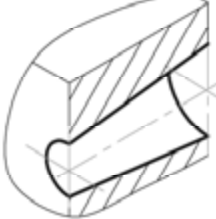
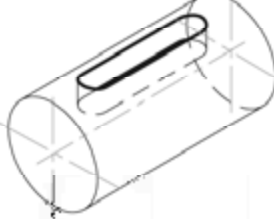
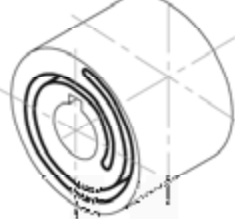
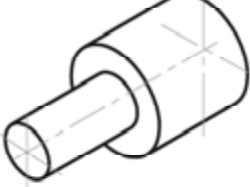


#### **Завдання:**

- для поверхонь, рекомендованих у відповідності з варіантом завдання в табл.10.1, запропонувати можливі способи формоутворення;
- враховуючи задані в табл.10.2 точність, шорсткість і розміри поверхонь, запропонувати можливі способи їх отримання механічною обробкою (маршрути обробки, схеми обладнання із зазначенням рухів різання і допоміжних рухів, інструменти);
- використовуючи комплект уніфікованих верстатних модулів, зібрати обладнання та впевнитися в його технологічних можливостях.


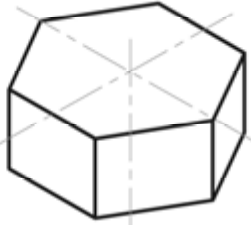
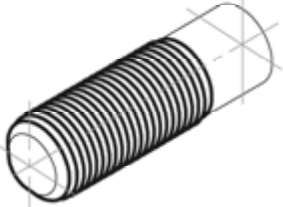
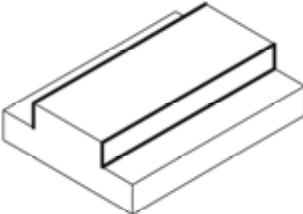
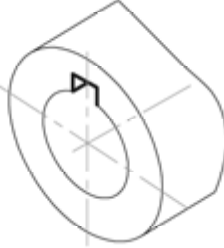
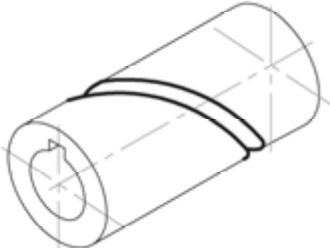
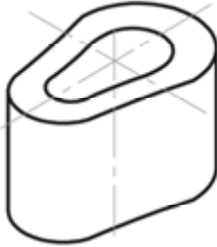
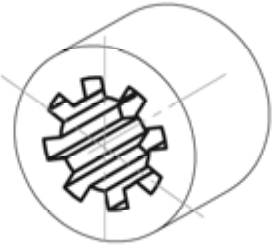
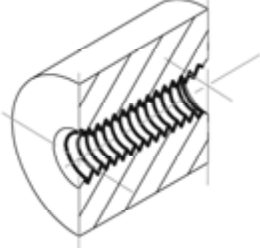
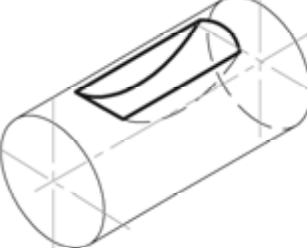
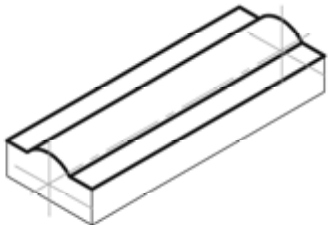
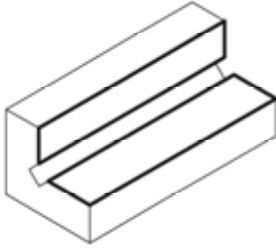

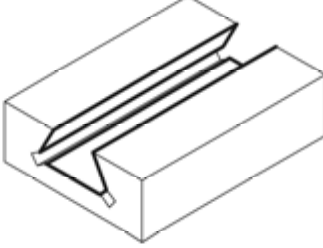
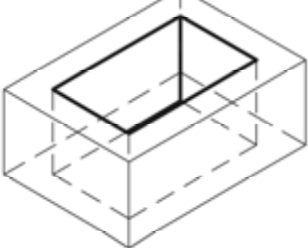
#### **Зміст протоколу:**

- ескізи заданих поверхонь із зазначенням їх точності та якості;
- схеми їх формоутворення;
- маршрути обробки поверхонь;
- схеми обладнання із зазначенням рухів різання і допоміжних рухів;
- ескізи ріжучих інструментів;
- фотографії сконструйованих верстатів.

**Таблица 10.1. Типы поверхностей**

Вторая цифра варианта	<i>Типы поверхностей</i>		
0	<i>Плоская</i>	<i>Коническая наружная</i>	<i>Эвольвентная</i>
			
1	<i>Цилиндрическая наружная гладкая</i>	<i>Паз полукрытый под призматич. шпонку</i>	<i>Наружная шлицевая</i>
			
2	<i>Цилиндрическая внутренняя гладкая</i>	<i>Паз сквозной</i>	<i>Фасонная цилиндрическая</i>
			
3	<i>Коническая внутренняя</i>	<i>Паз закрытый под призматическую шпонку</i>	<i>Фасонная, торцевой закрыт кулачок</i>
			
4	<i>Цилиндрическая наружная ступенчатая</i>	<i>Замкнутый глухой внутренний контур</i>	<i>Фасонная, кулачок распределительного вала</i>
			

**Таблица 10.1. Типы поверхонь (продовження)**

Вторая цифра варианта	<i>Типы поверхностей</i>		
5	<i>Цилиндрическая внутренняя ступенчатая</i>	<i>Замкнутый наружный контур</i>	<i>Резьбовая наружная</i>
			
6	<i>Плоская параллельная</i>	<i>Внутренний шпоночный паз</i>	<i>Фасонная, цилиндрический кулачок</i>
			
7	<i>Фасонная, торцевой открытый кулачок</i>	<i>Внутренняя шлицевая</i>	<i>Резьбовая внутренняя</i>
			
8	<i>Паз закрытый, под сегментную шпонку</i>	<i>Фасонная</i>	<i>Уступ</i>
			
9	<i>Фасонная, лопатка</i>	<i>Фасонная, паз "ласточкин хвост"</i>	<i>Замкнутый сквозной внутр. контур</i>
			

**Таблиця 10.2.****Вихідні дані. Точність, шорсткість і розміри поверхонь**

Перша цифра варіанту	Точність і шорсткість поверхні	Співвідношення довжини L і діаметра D (ширини B) поверхні	Довжина l шпоночно паза, мм
0	IT 6, Ra 0,32...0,63	$L = D (B)$	30
1	IT 7, Ra 0,63...1,25	$L = 2 D (B)$	40
2	IT 8...9, Ra 1,25...2,5	$L = 4 D (B)$	50
3	IT 10...11, Ra 2,5...5	$L = 6 D (B)$	60
4	IT 12...14, Ra 5...20	$L = 10 D (B)$	70
5	IT 6, Ra 0,32...0,63	$L = 15 D (B)$	80
6	IT 7, Ra 0,63...1,25	$L = 1/2 D (B)$	90
7	IT 8...9, Ra 1,25...2,5	$L = 1/4 D (B)$	100
8	IT 10...11, Ra 2,5...5	$L = 1/6 D (B)$	110
9	IT 12...14, Ra 5...20	$L = 1/10 D (B)$	120

## Примітки:

- співвідношення більшого D і меншого d діаметрів  $D / d = 2/1$ ;
- співвідношення довжини l, ширини b і глибини h паза  $l / b / h = 10/1/1$ .

## ДОДАТОК 1

### **АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКІВ ТА ПОБУДОВА КРИВОЇ НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ MICROSOFT EXCEL**

Відомо, що розподіл дійсних розмірів заготовок, оброблених на попередньо настроєних верстатах, дуже часто підпорядковується закону нормального розподілу (закону Гауса). В технології машинобудування цей закон використовується для встановлення надійності спроектованого технологічного процесу в забезпеченні обробки заготовок без браку, розрахунку кількості вірогідного браку при обробці тощо. Побудова кривої нормального розподілу та її аналіз необхідні при виконанні деяких лабораторних робіт з курсу «Технологія машинобудування».

Метод побудови кривої нормального розподілу передбачає достатньо громіздкі розрахунки. Це досить монотонна робота з великою кількістю дій, які неодноразово повторюються, що призводить до появи помилок в розрахунках.

В зв'язку з цим поставлені задачі:

- спрощення розрахунків та скорочення часу на їх виконання;
- повне виключення можливості математичної похибки;
- значне підвищення точності побудови експериментальної та теоретичної кривих розподілу.

Для вирішення вищевказаних задач пропонується виконувати такі розрахунки за допомогою програмного продукту Microsoft Excel. При цьому кінцевий результат отримується після вводу вихідних даних та вводу у вікно для введення формул програмного продукту Microsoft Excel розробленої програми. В сусідньому вікні отримуємо необхідні дані для побудови експериментальної та теоретичної кривих розподілу та самі графіки, що відображають ці криві.

При використанні розробленої програми зникла необхідність в зверненні до допоміжної літератури у вигляді таблиці «Густина вірогідності нормального розподілу  $\varphi(z)$ ». Програма самостійно посилається на таблицю для визначення  $\varphi(z)$ , а також на всі необхідні формули. Експериментальна та теоретична криві нормального розподілу виводяться на екран у вигляді графіка, представленого на рис.1.

Результати розрахунків заносяться до табл.1, загальний вигляд якої представлено нижче.



**Таблиця 1.** Основні результати розрахунків.

№ інтервалу	Середина інтервалу $X$	Експериментальна частота $m$	Теоретична частота $m'$

Алгоритм розробленої програми наведений на рис.2.

В формулах використовувались наступні позначення:

$N$  – кількість значень випадкової величини;

$S$  – середньоквадратичне відхилення;

$\varphi(z_u)$  – густина вірогідності нормального розподілу;

$P'_u$  – теоретична вірогідність;

$m'_u$  – теоретична частота потрапляння заданих значень в певний інтервал.

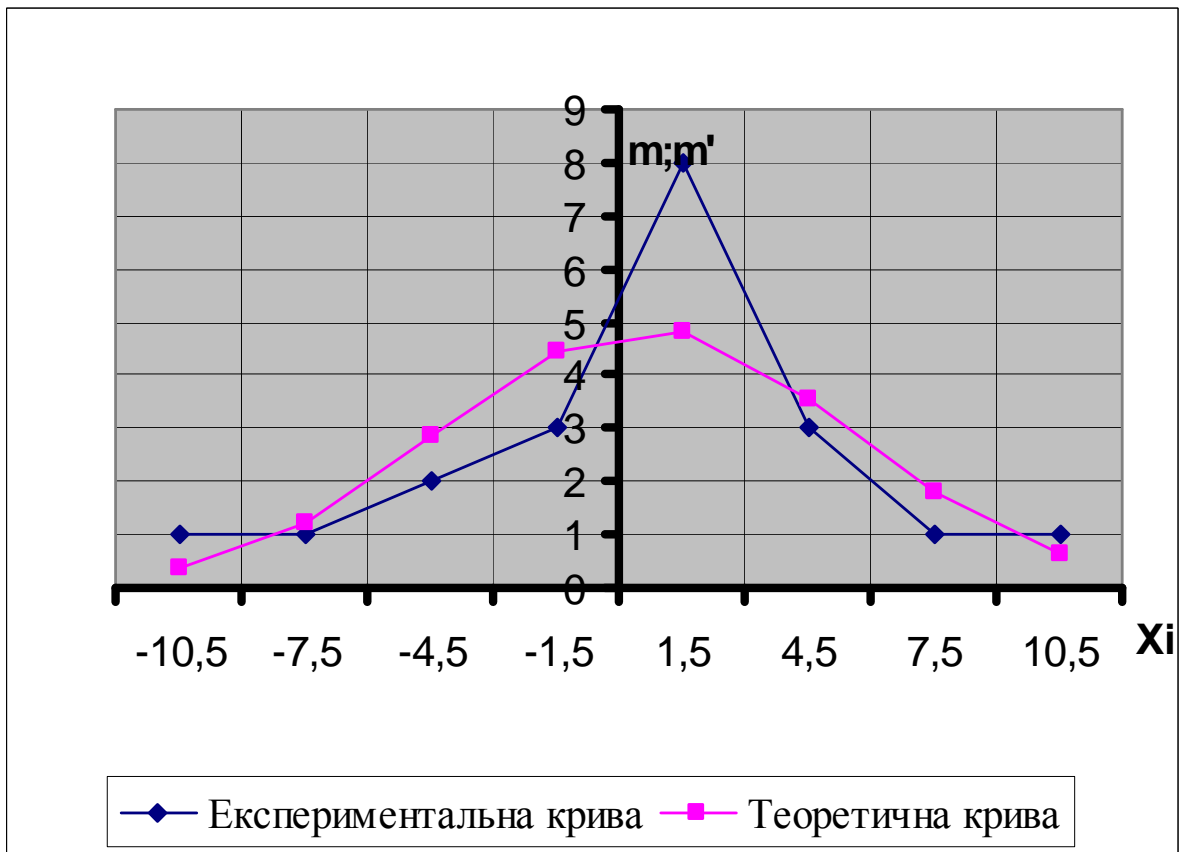


Рис.1. Експериментальна та теоретична криві розподілу випадкової величини



Рис.2. Алгоритм програми

## ДОДАТОК 2

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ГРАФІКУ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН ЗА НОРМАЛЬНИМ ЗАКОНОМ

При дослідженні технічних систем можуть використовуватися теоретичні і експериментальні методи. Кожне з цих напрямків має відносну самостійність, має свої переваги і недоліки. Теоретичні методи дозволяють описувати та пояснювати взаємозв'язок елементів досліджуваної системи або об'єкта на фізичному рівні. Однак при дослідженні технологічних процесів обробки матеріалів таких підхід є неприйнятним через непізнаність фізичної суті процесів. Тому при таких дослідах в переважній більшості випадків використовуються експериментальні методи. У ряді випадків саме результати експериментальних досліджень дають поштовх до теоретичного узагальнення досліджуваного явища. При цьому не слід перебільшувати результати експериментальних досліджень, які справедливі тільки в межах умов проведеного експерименту. Таким чином, теоретичні та експериментальні дослідження доповнюють одне одного і є складовими елементами процесу пізнання навколишнього світу.

Результати експериментальних досліджень потребують певної математичної обробки. В роботі програмними засобами вирішується задача визначення підпорядкування масиву експериментальних даних закону нормально розподілу Гауса.

Процедура обробки експериментальних даних відбувається в середовищі програмного продукту DELPHI. На рис.1 приведено інтерфейс вікна вводу експериментальних даних, на рис.2 – інтерфейс вікна з результатами розрахунків та побудованими графіками.

За допомогою програми визначаються:  $X_{\min}$  - мінімальне значення випадкової величини;  $X_{\max}$  - максимальне значення випадкової величини;  $R_{\text{експ}}$  - експериментальний розмах випадкової величини;  $R_{\text{расч}}$  - розрахунковий розмах випадкової величини;  $K$  - кількість інтервалів;  $h$  - ширина інтервалу;  $\bar{X}$  - середньоарифметичне значення випадкової величини;  $S$  - середньоквадратичне відхилення (дисперсія) випадкової величини;  $6S$  – величина поля розсіювання випадкової величини.

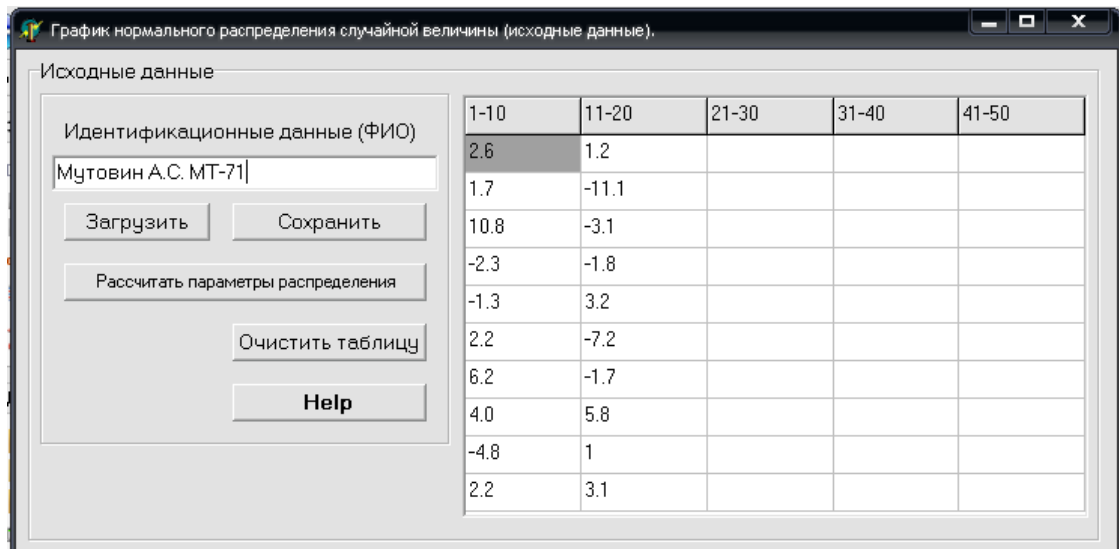


Рис.1. Інтерфейс вікна вводу вихідних даних

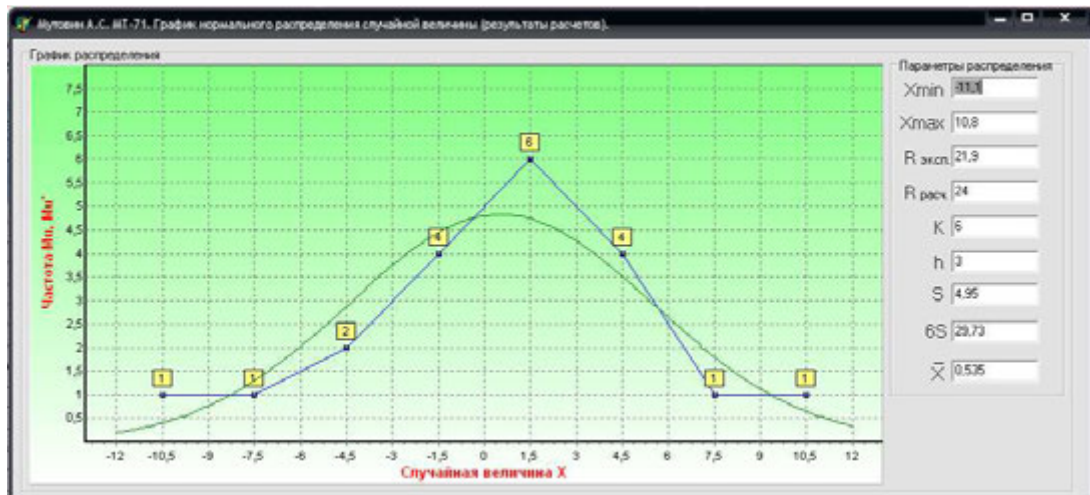


Рис.2. Інтерфейс вікна з результатами розрахунків

В багатьох практичних задачах точний закон розподілу випадкової величини невідомий, тобто є гіпотезою, яка потребує статистичної перевірки. Для перевірки гіпотези необхідно порівняти експериментальний і теоретичний розподіли випадкової величини за допомогою критерію згоди. В даному випадку перевірка гіпотези про закон розподілу виконується за  $\chi^2$  – критерієм Пірсона.

Розроблений програмний продукт може використовуватись для обробки і аналізу експериментальних даних при виконанні лабораторних робіт з дисципліни «Технологія машинобудування».

## ДОДАТОК 3

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЇ ДВОХ ВИБІРОК ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

При дослідженні технологічних процесів металооброблення в переважній більшості випадків використовуються експериментальні методи.

Для аналізу явищ технологічної спадковості виникає необхідність порівняння точності оброблення деталей на суміжних операціях технологічного процесу. Це можливо шляхом розрахунку коефіцієнту кореляції двох вибірок випадкових величин (наприклад, точності розмірів, шорсткості поверхні, глибини залягання поверхневих напружень тощо) до і після виконання певної операції і визначення значущості коефіцієнту кореляції.

Аналіз результатів експериментальних досліджень для виключення похибок в розрахунках і зменшення їх трудомісткості потребує певного програмного забезпечення.

В роботі програмними засобами вирішується задача визначення коефіцієнту кореляції двох вибірок випадкових величин і визначення його значущості.

Процедура оброблення експериментальних даних відбувається в середовищі програмного продукту DELPHI. На рис.1 приведений інтерфейс вікна вводу експериментальних даних, на рис.2 – інтерфейс вікна з результатами розрахунків та побудованим графіком, на рис.3 – фрагмент інтерфейсу вікна "Help" з формулами для розрахунків.

За допомогою програми визначаються: вибірковий коефіцієнт кореляції  $\hat{r}_{xy}$ ; нормоване відхилення  $z$ ; середньоквадратичне відхилення вибіркового коефіцієнту кореляції  $\hat{r}_{xy}$  від його теоретичного значення  $r_{xy} - S_r$ ; перетворене за  $z$ -перетворенням Фішера значення  $\hat{z}$ ; стандартне відхилення  $S_z$ ; коефіцієнт  $t$ . Наприкінці виконується оцінка значущості розрахованого коефіцієнту кореляції.

Розроблений програмний продукт може використовуватись для оброблення і аналізу експериментальних даних при виконанні лабораторних робіт з дисципліни "Технологія машинобудування".

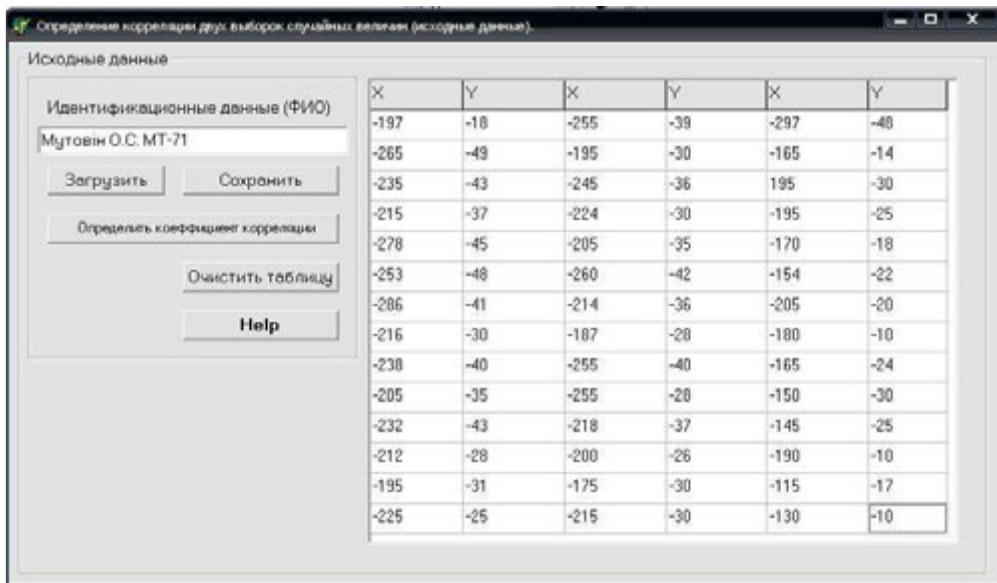


Рис.1. Интерфейс окна ввода выходных данных

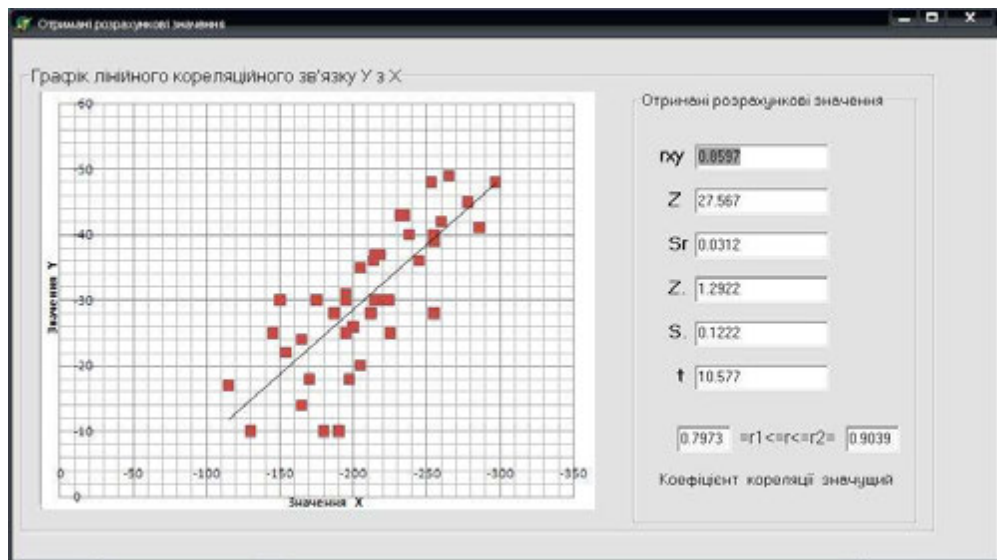


Рис.2. Интерфейс окна с результатами расчетов

Формулы для расчетов

$$r_{xy}^{\wedge} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$z = |r_{xy}^{\wedge}| / S_r = |r_{xy}^{\wedge}| \sqrt{N} / (1 - r_{xy}^{\wedge}) \quad S_r = (1 - r_{xy}^{\wedge 2}) / \sqrt{N}$$

$$\hat{z} = 0.5 \ln \left( \frac{1 + r_{xy}^{\wedge}}{1 - r_{xy}^{\wedge}} \right) \quad S_{\hat{z}} = (N - 3)^{-1/2} \quad t = Z / S_{\hat{z}} \quad z - t_{kp} S_{\hat{z}} \leq \hat{z} \leq z + t_{kp} S_{\hat{z}}$$

Рис.3. Фрагмент интерфейсу окна "Help" з формулами для розрахунків

## ДОДАТОК 4

### **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНО-ЖОРСТКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУЗЛІВ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ DELPHI**

При проектуванні технологічних процесів технологу потрібні відомості про технологічні можливості обладнання (зокрема, досяжна точність обробки при роботі на попередньо налагоджених верстатах). Однією з характеристик обладнання, що напряму впливає на його технологічні можливості, є пружно-жорсткісні характеристики його вузлів. Ці характеристики приводяться в паспортних даних обладнання, але істинні їх значення для конкретного верстату не відповідають паспортним через знос вузлів верстату під час експлуатації.

Така ж мета – визначення пружно-жорсткісних характеристик токарного верстату, порівняння їх з паспортними даними нового обладнання і визначення реального стану верстату поставлена при виконанні однієї з лабораторних робіт з дисципліни «Технологія машинобудування».

Відомо декілька способів експериментального визначення пружних переміщень вузлів токарного верстату в процесі різання: метод ступінчатого обточування; реального навантаження; обточування із зустрічними проходами; порівняння заданої та фактичної глибин різання. Найбільш точним є спосіб ступінчатого різання з подальшим вимірюванням перепаду оброблюваних поверхонь та спосіб, в основі якого лежить порівняння заданої та фактичної глибин різання.

В лабораторній роботі після проведення досліджень та отримання експериментальних даних виконується розрахунок пружно-жорсткісних характеристик елементів даної технологічної системи. Такий розрахунок є досить складним при використанні калькулятора, що призводить до помилок під дією людського фактору, а розробка програми для розрахунків кожним з студентів за умови одноразового користування нею є недоцільною.

В зв'язку з цим поставлені задачі:

- забезпечення наочності процесу виконання лабораторної роботи та процесу отримання вихідних даних за допомогою імітаційної програми;
- спрощення розрахунків та скорочення часу на їх виконання;
- повне виключення можливості математичної похибки;
- значне підвищення точності отриманих після розрахунку даних.

Для вирішення вищевказаних задач пропонується виконувати такі розрахунки за допомогою програмного продукту Delphi, що має наступні переваги: це більш простий варіант при програмуванні; більш надійний та безпечний для результатів при використанні готового програмного продукту; він має більш зручний та комфортний інтерфейс, який можна скомпонувати самостійно, орієнтуючись на споживача та поставлені задачі.

В розробленому програмному продукті кінцевий результат отримується після введення вихідних даних: геометричних параметрів заготовки та різальної частини інструменту, фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, значень елементів режиму обробки та експериментальних даних. Крім того, для виключення можливості обміну результатами розрахунків між користувачами-студентами, передбачено віконце для вводу прізвища студента та номеру групи, заповнення якого є ключем для початку роботи програми.

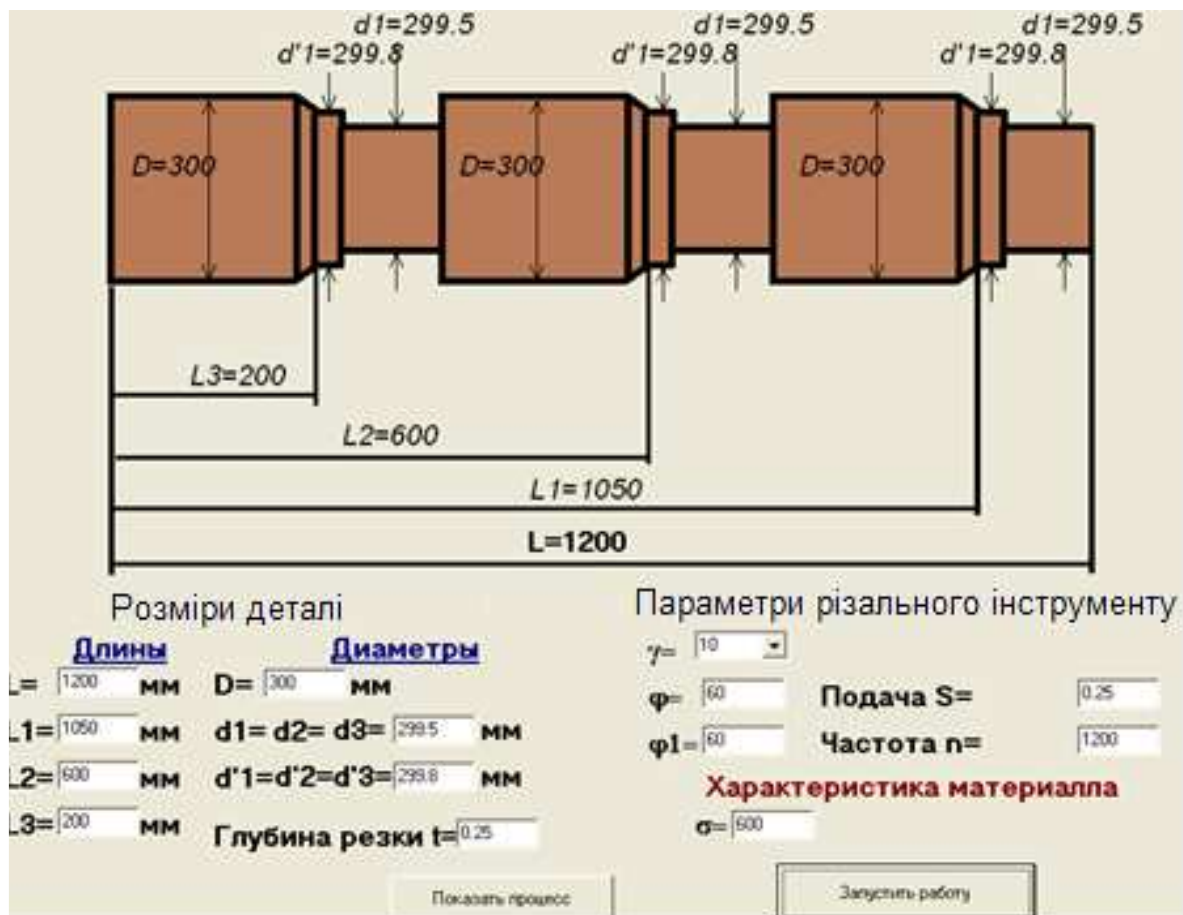


Рис.1. Вікно для введення вихідних даних





Рис.2. Вікно з результатами розрахунків

Алгоритм розрахунку наведено на рис.3.

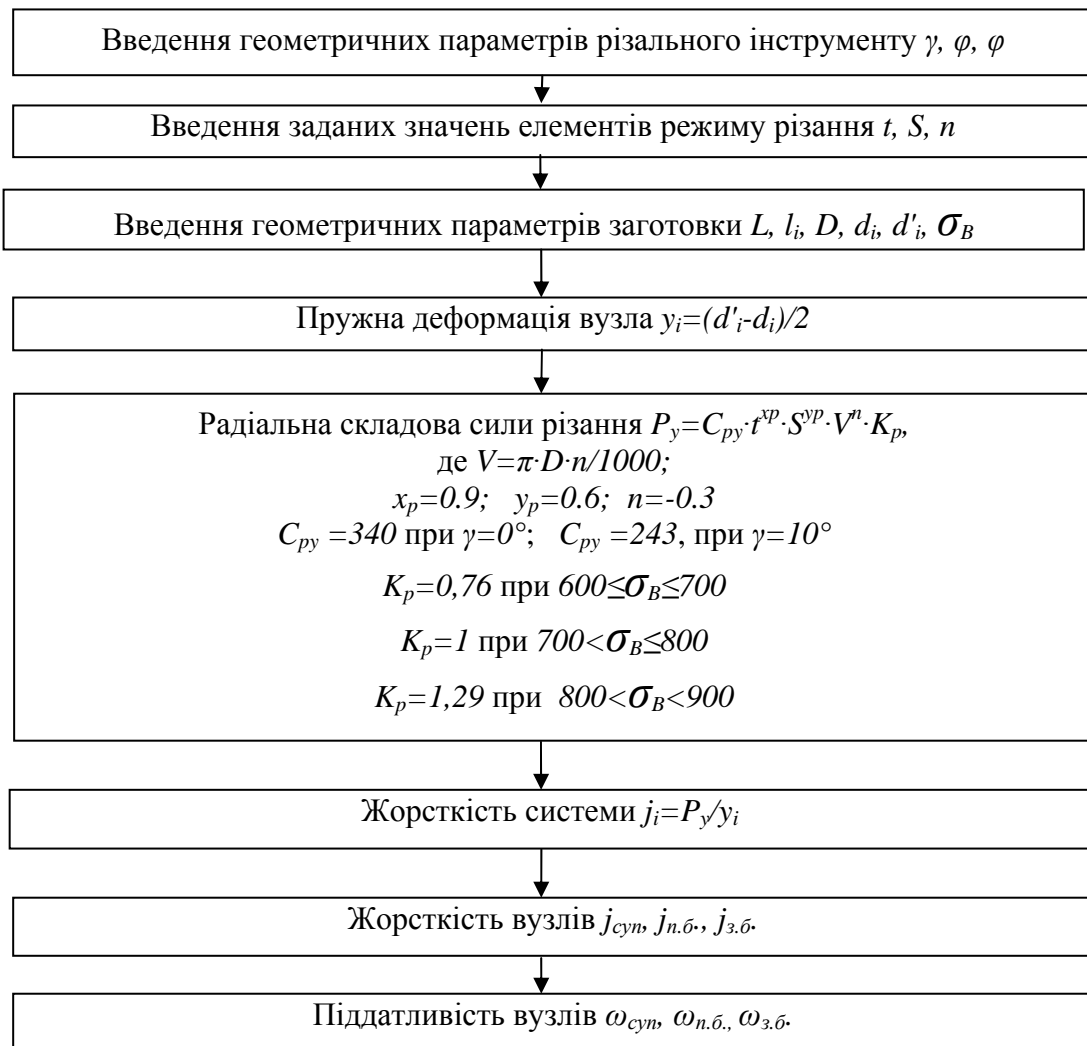


Рис.3. Алгоритм розрахунку

# ДОДАТОК 5

УДК 001.4:62-408.8:006.354

Группа Г00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

## ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

### Термины и определения

Surface roughness.  
Terms and definitions.

**ГОСТ**  
**25142-82**  
**(СТ СЭВ**  
**1156-78)**

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 февраля 1982 г. № 730 срок введения установлен

с 01.01 1983 г.

Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий, относящихся к шероховатости поверхности.

Термины, установленные стандартом, обязательны для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе.

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 1156—78.

Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. Применение терминов-синонимов стандартизованного термина запрещается.

Установленные определения можно, при необходимости, изменять по форме изложения, не допуская нарушения границ понятий.

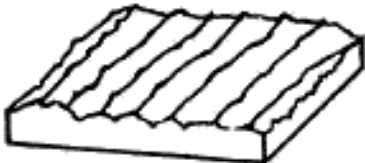

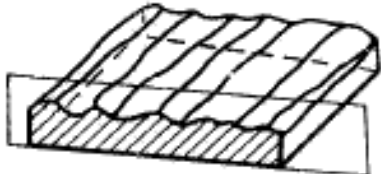
В стандарте приведен алфавитный указатель содержащихся в нем терминов на русском языке и их иностранных эквивалентов на английском (Е) и французском (F) языках.

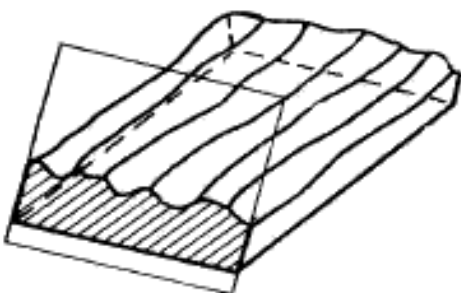


Издание официальное

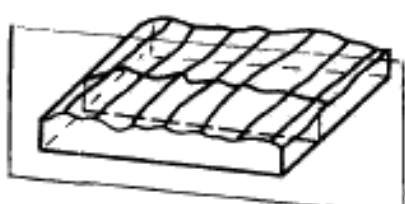
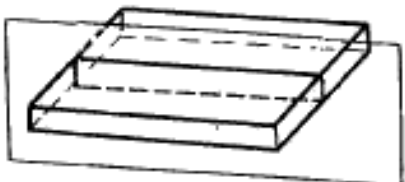
★

Перепечатка воспрещена

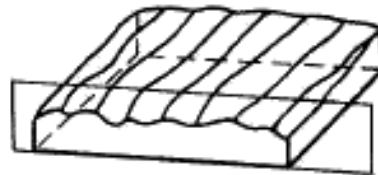
© Издательство стандартов, 1982

Термин	Определение
<b>1. Поверхность, профиль и базы отсчета</b>	
1.1. Реальная поверхность	Поверхность, ограничивающая тело и отделяющая его от окружающей среды (черт. 1)
	
Черт. 1	
1.2. Номинальная поверхность	Поверхность, заданная в технической документации без учета допускаемых отклонений (неровностей) (черт. 2)
	
Черт. 2	
1.3. Базовая линия (поверхность)	Линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности
1.4. Нормальное сечение	Сечение, перпендикулярное базовой поверхности (черт. 3)
	
Черт. 3	

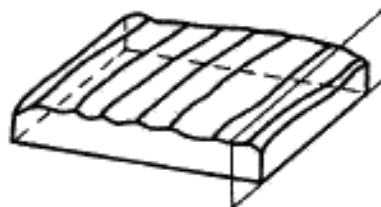
Термин	Определение
1.5. Косое сечение	<p>Сечение, наклонное к базовой поверхности (черт. 4)</p>  <p>Черт. 4</p>
1.6. Эквидистантное сечение	<p>Сечение реальной поверхности поверхностью, имеющей форму номинальной поверхности и расположенной эквидистантно базовой поверхности (черт. 5)</p>  <p>Черт. 5</p>
1.7. Касательное сечение	<p>Эквидистантное сечение, касательное реальной поверхности для случая плоской номинальной поверхности (черт. 6)</p>  <p>Черт. 6</p>

Термин	Определение
1.8. Контурная картина поверхности	Совокупность линий пересечения реальной поверхности эквидистантными сечениями (черт. 7)
	
	
	Черт. 7
1.9. Профиль поверхности	Линия пересечения поверхности с плоскостью
1.10. Реальный профиль	Профиль реальной поверхности (черт. 8)
	
	Черт. 8
1.11. Номинальный профиль	Профиль номинальной поверхности (черт. 9)
	
	Черт. 9

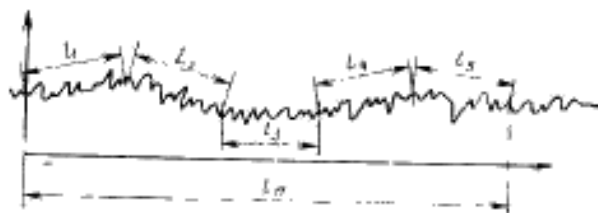
Термин	Определение
1.12. Поперечный профиль	Профиль, получаемый при сечении поверхности плоскостью, перпендикулярной направлению неровностей (черт. 10)
1.13. Продольный профиль	Профиль, получаемый при сечении поверхности плоскостью, параллельной направлению неровностей (черт. 11)
1.14. Периодический профиль	Профиль, который может быть описан периодической функцией
1.15. Случайный профиль	Аперiodический профиль, который описывается случайной функцией
1.16. Базовая длина $l$	Длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности (черт. 12)



Черт. 10

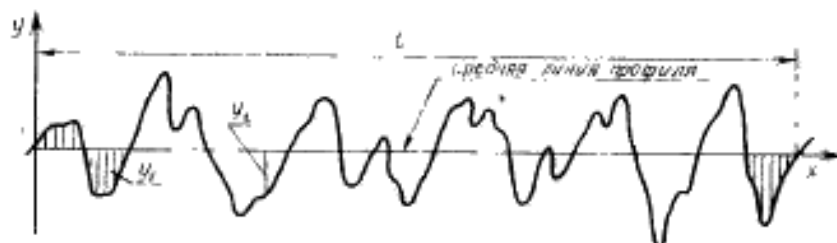


Черт. 11



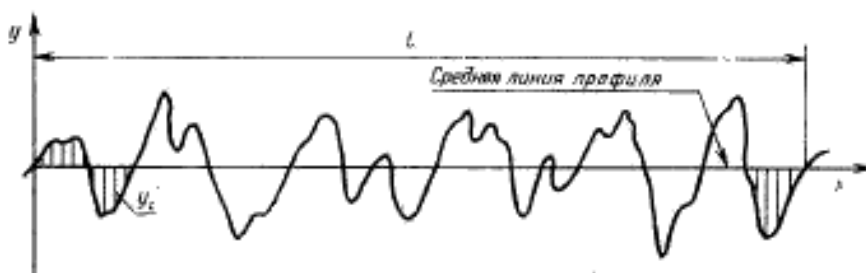
Черт. 12

Термин	Определение
1.17. Длина оценки $L$	Длина, на которой оцениваются значения параметров шероховатости. Она может содержать одну или несколько базовых длин
1.18. Отклонение профиля $y$	Расстояние между точкой профиля и базовой линией (черт. 13)



Черт. 13

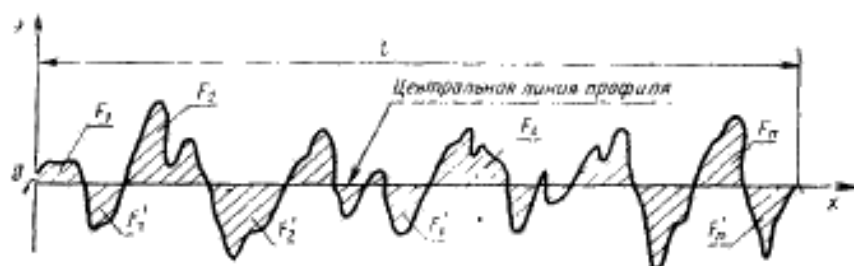
1.19. Средняя профиля линия	Базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально (черт. 14)
-----------------------------	---



Черт. 14

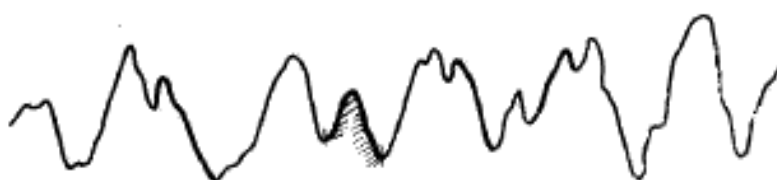
1.20. Центральная профиля линия	Базовая линия, имеющая форму номинального профиля, расположенная эквидистантно общему направлению профиля и делящая профиль так, что в пределах базовой длины суммы площадей, заключенных между этой линией и профилем, по обе ее стороны одинаковы (черт. 15)
---------------------------------	--

Термин	Определение
--------	-------------



Черт. 15

- |                       |         |  |
|-----------------------|---------|--|
| 1.21. Система линии   | средней | Система отсчета, используемая при оценке параметров шероховатости поверхности, в которой в качестве базовой линии используется средняя линия |
| 1.22. Местный профиля | выступ  | Часть профиля, расположенная между двумя соседними минимумами профиля (черт. 16)   |



Черт. 16

- |                       |         |   |
|-----------------------|---------|---|
| 1.23. Местная профиля | впадина | Часть профиля, расположенная между двумя соседними максимумами профиля (черт. 17) |
|-----------------------|---------|---|

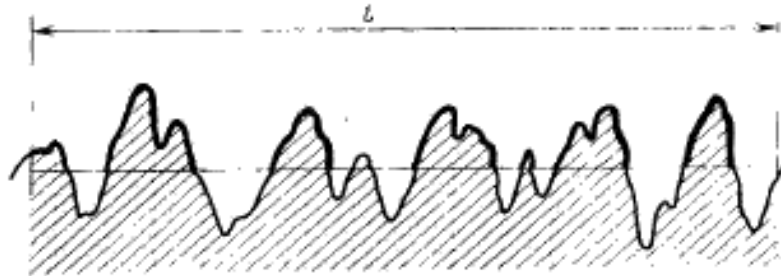


Черт. 17

- |                     |        |  |
|---------------------|--------|--|
| 1.24. Местная ность | неров- | Местный выступ и сопряженная с ним местная впадина |
|---------------------|--------|--|

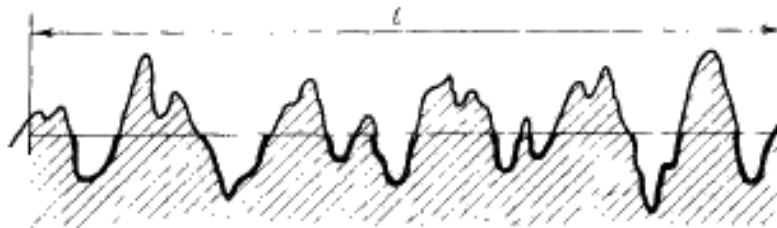


Термин	Определение
1.25. Выступ профиля	Часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией профиля, направленная из тела (черт. 18)



Черт. 18

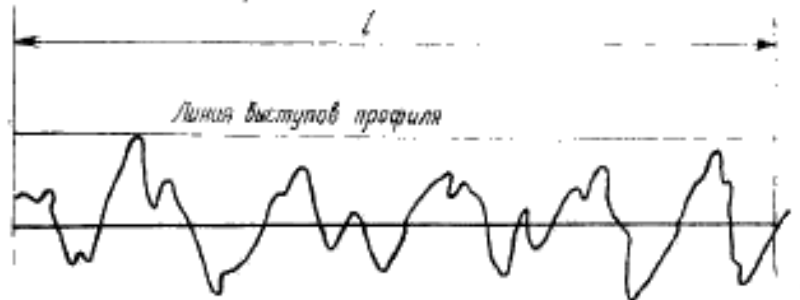
1.26. Впадина профиля	Примечание. Часть профиля, направленная из тела, в начале или конце базовой длины должна всегда рассматриваться как выступ профиля.
	Часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией профиля, направленная в тело (черт. 19)



Черт. 19

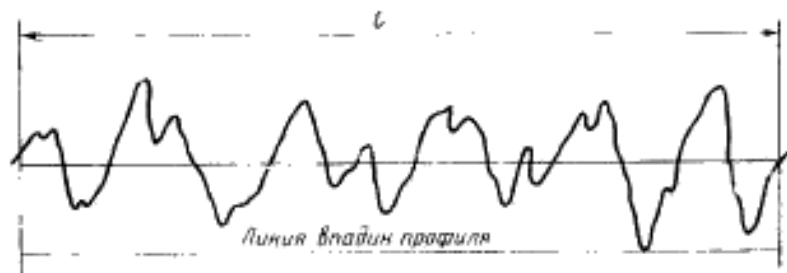
1.27. Неровность профиля	Примечание. Направленная в тело часть профиля в начале или конце базовой длины всегда должна рассматриваться как впадина. Выступ профиля и сопряженная с ним впадина профиля
1.28. Направление неровностей поверхности	Условный рисунок, образованный нормальными проекциями экстремальных точек неровностей поверхности на среднюю поверхность

Термин	Определение
1.29. Шероховатость поверхности	Совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой длины
1.30. Линия выступов профиля	Линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины (черт. 20)



Черт. 20

1.31. Линия впадин профиля	Линия, эквидистантная средней линии, проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины (черт. 21)
----------------------------	--



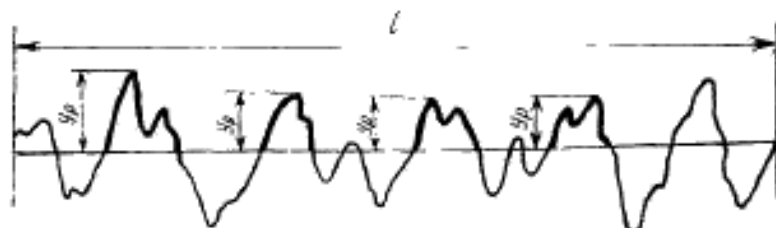
Черт. 21

1.32. Уровень сечения профиля $p$	Расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля
-----------------------------------	--

## 2. Параметры шероховатости, связанные с высотными свойствами неровностей

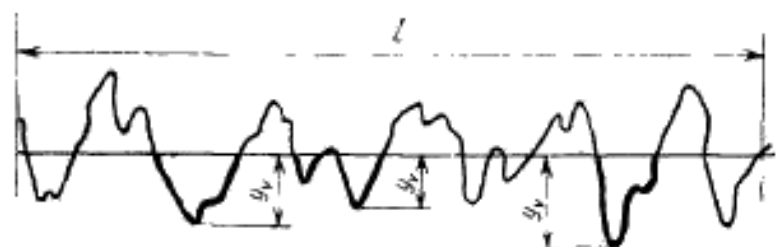
2.1. Высота выступа профиля $y_p$	Расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа профиля (черт. 22)
-----------------------------------	--

Термин	Определение
--------	-------------



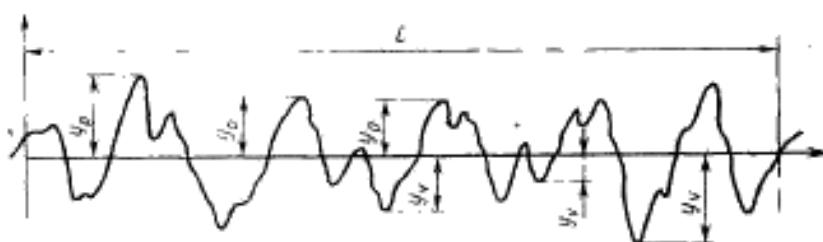
Черт. 22

2.2. Глубина впадины профиля $y_v$	Расстояние от средней линии профиля до нижней точки впадины профиля (черт. 23)
------------------------------------	--



Черт. 23

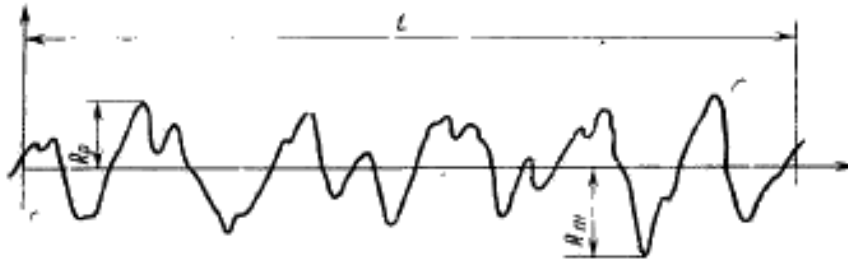
2.3. Высота неровности профиля	Сумма высоты выступа профиля и глубины сопряженной с ним впадины профиля (черт. 24)
--------------------------------	---



Черт. 24

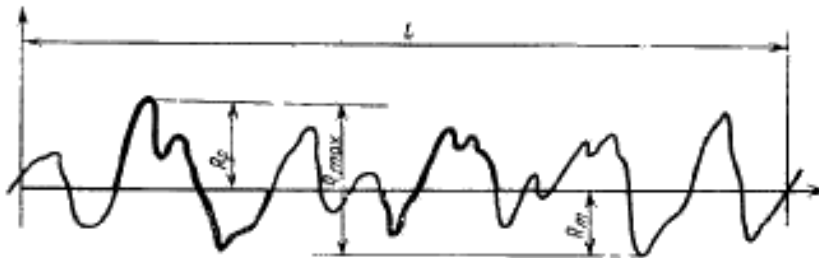
2.4. Высота наибольшего выступа профиля $R_p$	Расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины (черт. 25)
---	---

Термин	Определение
2.5. Глубина наибольшей впадины профиля $R_v$	Расстояние от нижней точки профиля до средней линии в пределах базовой длины (черт. 25)



Черт. 25

2.6. Наибольшая высота неровностей профиля $R_{max}$	Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины (черт. 26)
--	--



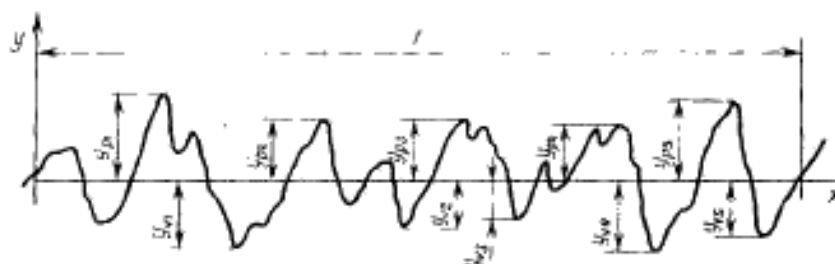
Черт. 26

2.7. Высота неровностей профиля по десяти точкам $R_z$	Сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины (черт. 27)
--	--

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}$$

где  $y_{pi}$  — высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля,  
 $y_{vi}$  — глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

Термин	Определение
--------	-------------



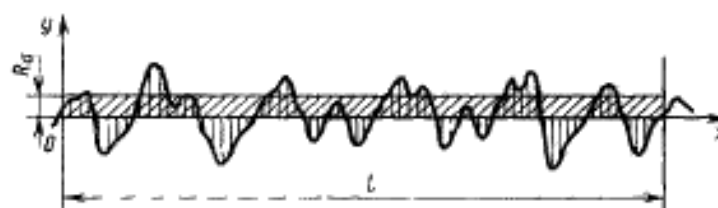
Черт. 27

2.8. Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$

Среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины (черт. 28)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$



Черт. 28

2.9. Среднее квадратическое отклонение профиля  $R_q$

Среднее квадратическое значение отклонений профиля в пределах базовой длины

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}$$

2.10. Среднее значение параметра шероховатости  $\bar{P}$

Среднее значений параметра шероховатости, определенных на всех длинах оценки

$$\bar{P} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{ij}$$

где  $k$  — число единичных длин оценки;

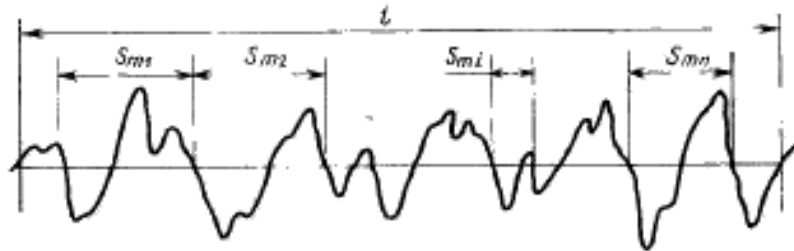
$R_{ij}$  — значение параметра, определенное на одной базовой длине;

$n$  — число базовых длин на единичной длине оценки

Термин	Определение
--------	-------------

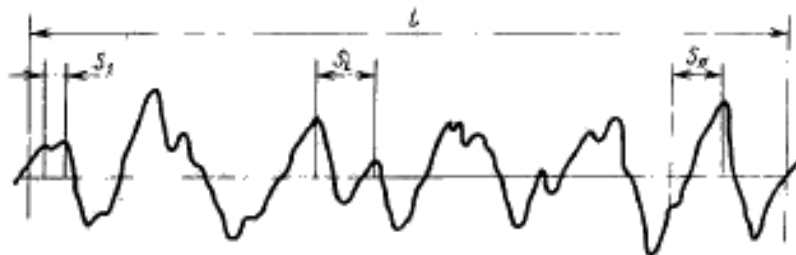
### 3. Параметры шероховатости, связанные со свойствами неровностей в направлении длины профиля

- 3.1. Шаг неровностей профиля | Отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля (черт. 29)



Черт. 29

- 3.2. Средний шаг неровностей профиля  $S_m$  | Среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины
- 3.3. Шаг местных выступов профиля | Отрезок средней линии между проекциями на нее наивысших точек соседних местных выступов профиля (черт. 30)

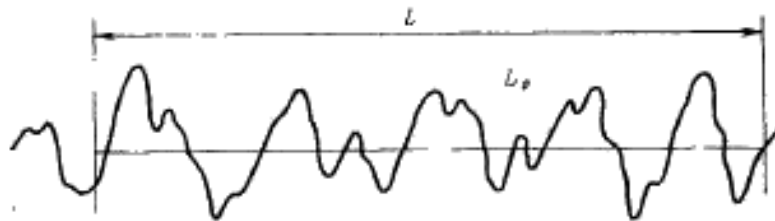


Черт. 30

- 3.4. Средний шаг местных выступов профиля  $S$  | Среднее значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины
- 3.5. Средняя квадратическая длина волны профиля  $\lambda_q$  | Величина, пропорциональная отношению среднего квадратического отклонения профиля  $Rq$  к среднему квадратическому наклону профиля  $\Delta q$

$$\lambda_q = 2\pi \frac{Rq}{\Delta q}$$

Термин	Определение
3.6. Средняя длина волны профиля $\lambda_a$	<p>Величина, пропорциональная отношению среднего арифметического отклонения профиля <math>Ra</math> к среднему арифметическому наклону профиля <math>\Delta a</math></p> $\lambda_a = 2\pi \frac{Ra}{\Delta a}$
3.7. Длина растянутого профиля $L_0$	<p>Длина, получающаяся, если все выступы и впадины профиля в пределах базовой длины вытянуть в прямую линию (черт. 31)</p>



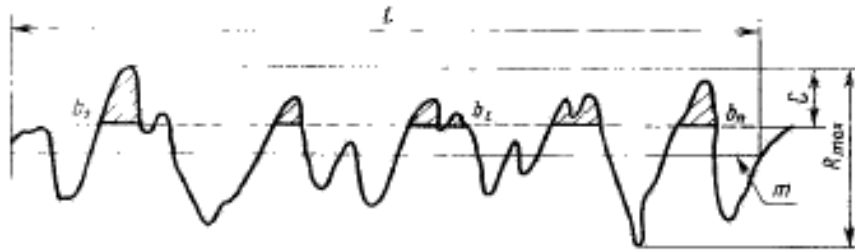
Черт. 31

3.8. Относительная длина профиля $l_0$	<p>Отношение длины <math>L_0</math> профиля к базовой длине <math>l</math></p> $l_0 = \frac{L_0}{l}$
3.9. Плотность выступов профиля $D$	<p>Число выступов профиля на единицу длины</p> $D = \frac{l}{S_m}$

#### 4. Параметры шероховатости, связанные с формой неровностей профиля

4.1. Наклон профиля	<p>Тангенс угла наклона в любой точке профиля в пределах базовой длины</p>
4.2. Средний квадратический наклон профиля $\Delta q$	<p>Среднее квадратическое значение наклона профиля в пределах базовой длины</p> $\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx}$ <p>или</p> $\Delta q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta y}{\Delta x} \right)_i^2}$ <p>где <math>\frac{dy}{dx}</math> — тангенс угла наклона в точке профиля</p>

Термины	Определение
4.3. Средний арифметический наклон профиля $\Delta a$	<p>Среднее арифметическое значение наклонов профиля в пределах базовой длины</p> $\Delta a = \frac{1}{l} \int_0^l \left  \frac{dy}{dx} \right  dx$ <p>или</p> $\Delta a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left  \frac{\Delta y}{\Delta x} \right _i$
4.4. Опорная длина профиля $\eta_p$	<p>Сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линиями, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины (черт. 32)</p> $\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i$



Черт. 32

4.5. Относительная опорная длина профиля $t_p$	<p>Отношение опорной длины профиля к базовой длине</p> $t_p = \frac{\eta_p}{l}$
--	---



Термин	Определение
<p>4.6. Относительная опорная кривая профиля</p>	<p>Графическое изображение зависимости значений относительной опорной длины профиля от уровня сечения профиля (черт. 33)</p> <p>Черт. 33</p>