

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт з дисципліни  
"Проектування технологічних процесів виробництва  
електричних та електронних апаратів"  
для студентів всіх форм навчання спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(освітня програма «Електричні та електронні апарати»)

**2024**

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Проектування технологічних процесів виробництва електричних та електронних апаратів" для студентів всіх форм навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (освітня програма «Електричні та електронні апарати»). Укл.: В. В. Василевський. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 42 с.

Укладач: В.В. Василевський, доцент, к.т.н.

Рецензент: О. В. Близняков, доцент, к. т. н.

Відповідальний за випуск: В.В. Василевський, доцент, к.т.н.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
“Електричні і електронні апарати”.  
Протокол № 9  
від 12 лютого 2024 р.

Рекомендовано до видання  
НМК ЕТФ.  
Протокол № 6  
від 22 лютого 2024 р.

**ЗМІСТ**

Лабораторна робота №1 Визначення типу виробництва.....	4
Лабораторна робота №2 Розрахунок розміру партії деталей в серійному виробництві.....	8
Лабораторна робота №3 Визначення показників технологічності конструкції деталей.....	12
Лабораторна робота №4 Обґрунтування маршруту обробки елементарних поверхонь деталі.....	18
Лабораторна робота №5 Визначення режиму різання при свердлінні, зенкеруванні та розгортці .....	21
Лабораторна робота №6 Визначення надійності технологічних систем за параметрами точності.....	34
Лабораторна робота №7 Визначення основних параметрів складального конвеєру .....	38
Перелік джерел посилання.....	42

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

тривалість лабораторного заняття – 4 години

### 1.1 Мета роботи

Отримання практичних навичок визначення типу виробництва за його характеристикою – коефіцієнтом закріплення операцій.

### 1.2 Загальні відомості

Вибір того чи іншого технологічного процесу залежить від типу виробництва. Залежно від виробничої програми та характеру продукції, що виготовляється, розрізняють три типи виробництва – одиничне, серійне і масове. Тип виробництва може бути визначений двома основними методами – табличним та шляхом розрахунку коефіцієнта закріплення операцій ( $K_{зо}$ ).

Табличний метод використовують, як правило, на початковій стадії проектування технологічного процесу, коли ще невідомі норми часу на виконання окремих технологічних операцій. Для використання табличного методу необхідно знати обсяг випуску виробів  $N_p$  та один із додаткових показників – масу виробу  $M$ , працемісткість складання або розміри виробу. Наприклад, при масі виробу  $M < 10$  кг, та річному обсягу випуску  $N_p = 5000-50000$  шт. визначений тип виробництва великосерійний (Табл. 1.1) [1].

Таблиця 1.1 – Залежність типу виробництва від  $N_p$  та  $M$

Тип виробництва	Річний обсяг випуску виробів $N_p$ , шт.		
	важкі $M > 100$ кг	середні $10 < M < 100$ кг	легкі $M < 10$ кг
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійне	5 – 100	10 – 200	<b>100 – 500</b>
Середньосерійне	100 – 300	200 – 500	<b>500 – 5000</b>
<b>Великосерійне</b>	<b>300 – 1000</b>	<b>500 – 5000</b>	<b>5000 – 50000</b>
Масове	понад 1000	понад 5000	понад 50000

Якщо на початку проектування технолог має в якості базового існуючий заводський технологічний процес з відомими нормами часу, то ці норми можна використати для визначення  $K_{30}$  на цьому етапі проектування. Згідно з ДСТУ 2974-95 коефіцієнт закріплення операцій визначається як відношення числа всіх різних технологічних операцій, які виконано чи належить виконати протягом місяця, до числа робочих місць. Таким чином  $K_{30}$  характеризує кількість різних технологічних операцій, які приходяться в середньому на одно робоче місце підрозділу в місяць.

### 1.3 Порядок виконання роботи

Умовна кількість однотипних операцій  $\Pi_{oi}$ , що виконуються на одному верстаті протягом місяця за умови роботи в одну зміну визначається за виразом:

$$\Pi_{oi} = \frac{\eta_n}{\eta_3},$$

де  $\eta_n$  – запланований коефіцієнт завантаження верстату всіма закріпленими за ним однотипними операціями,  $\eta_n = 0,8$ ;

$\eta_3$  – коефіцієнт завантаження верстату однією, заданою для проектування операцією.

$$\eta_3 = \frac{T_{шт-к} \cdot N_M}{60 \cdot F_M \cdot K_B},$$

де  $K_B$  – коефіцієнт виконання норм,  $K_B = 1,3$ ;

$T_{шт-к}$  – штучно-калькуляційний час, необхідний для виконання операцій, хв.;

$N_M$  – місячна програма випуску даної деталі при роботі в одну зміну, шт.

$$N_M = \frac{N_p}{2 \cdot 12} = \frac{N_p}{24},$$

де  $N_p$  – річний об'єм випуску заданої деталі, шт. / р.  
 $F_M$  – місячний фонд роботи обладнання в одну зміну, год.

$$F_M = \frac{4055}{2 \cdot 12} = 169 \text{ год.}$$

Сумарна кількість різноманітних операцій за місяць по ділянці із урахуванням на одного змінного майстра:

$$\sum \Pi_{O_i} = \Pi_{O_1} + \Pi_{O_2} + \Pi_{O_3} + \dots + \Pi_{O_n},$$

де  $1, 2, \dots, n$  – номери робочих місць.  
 Кількість працівників на один верстат, завантажений до  $\eta_n = 0,8$  при роботі в одну зміну визначається за формулою:

$$P_{я_i} = \frac{N_i \cdot T_i}{K_B \cdot \Phi \cdot 60} = \frac{\Pi_{oi} \cdot N_M \cdot T_{шт-к_i}}{K_B \cdot \Phi \cdot 60},$$

де  $N_i = \Pi_{oi} \cdot N_M$  – приведений об'єм випуску деталей, шт./місяць;  
 $T_i = T_{шт-к_i}$  – штучно-калькуляційний час на виконання заданої операції, хвилин;  
 $\Phi$  – місячний фонд часу працівника при 22 робочих днях в місяці, год.

$$\Phi = 22 \cdot 8 = 176 \text{ год.}$$

Явочна кількість працівників ділянки при роботі в одну зміну визначається складанням значень  $P_{я_i}$ :

$$\sum P_{я_i} = P_{я_1} + P_{я_2} + P_{я_3} + \dots + P_{я_n}.$$

Значення коефіцієнту закріплення операцій визначається з виразу:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum P_{O_i}}{\sum P_{я_i}} = \frac{K_e \cdot \Phi \cdot \sum P_{O_i}}{\sum N_i \cdot T_i}$$

Значення:  $K_{з.о.} \leq 1$  відповідає масовому виробництву;  
 $1 \leq K_{з.о.} \leq 10$  – великосерійному;  
 $10 \leq K_{з.о.} \leq 20$  – середньосерійному;  
 $20 \leq K_{з.о.} \leq 40$  – дрібносерійному;  
 $K_{з.о.} > 40$  – одиничному.

Варіанти для виконання роботи наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для розрахунку

№ Варіанту	№ деталей	Кількість операцій	$T_{шт-к}$ на операцію №, хв							$N_p$
			6	5	8	7	9	-	-	
1	1	5	6	5	8	7	9	-	3000	
	2	5	4	7	10	11	5	-	10000	
2	3	4	3	7	8	5	-	-	2000	
	4	4	5	8	9	6	-	-	8000	
3	5	5	7	15	12	10	8	-	1000	
	6	5	6	7	8	5	6	-	9000	
4	7	6	3	4	3	5	2	4	12000	
	8	6	6	7	7	5	6	4	2000	
5	9	5	5	6	7	6	7	-	5000	
	10	5	6	8	9	6	7	-	15000	
6	11	4	3	4	6	5	-	-	7000	
	12	4	5	6	7	8	-	-	1500	
7	13	5	3	4	5	4	6	-	3500	
	14	5	7	6	8	5	7	-	8000	
8	15	6	6	7	5	8	5	4	1500	
	16	6	8	9	10	7	6	9	5000	
9	17	5	8	6	5	7	7	-	15000	
	18	5	9	8	6	5	7	-	6000	
10	19	4	4	5	5	6	-	-	2000	
	20	4	8	10	9	7	-	-	5000	

## **1.4. Контрольні питання**

1.4.1 Типи виробництва та їх характеристика?

1.4.2 Дайте визначення коефіцієнту закріплення операцій? В яких випадках він застосовується?

1.4.3 Характеристика табличного методу визначення типу виробництва?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 РОЗРАХУНОК РОЗМІРУ ПАРТІЇ ДЕТАЛЕЙ В СЕРІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

тривалість лабораторного заняття – 4 години

### **2.1 Мета роботи**

Отримання практичних навичок визначення розміру партії в серійному виробництві диференційованим методом.

### **2.2 Загальні відомості**

У електроапаратобудуванні найбільш широке поширення отримало серійне виробництво, при якому вироби випускають партіями або серіями різної величини. Залежно від розміру партій і частоти повторюваності їх протягом року розрізняють: дрібносерійне, середньосерійне і крупносерійне виробництво [2].

Згідно із ДСТУ 2974-95 виробнича партія визначається як предмети однієї назви і типорозміру, які обробляються протягом певного часу за одного і того ж підготовчо-завершального часу на операцію.

Поняття партія відноситься до кількості деталей, а серія – до кількості апаратів або машин, що запускають у виробництво одночасно. Кількість деталей у партії визначається виходячи із завдань виробництва. У серійному та масовому виробництві кількість деталей у партії визначається кількістю деталей, яку можна виготовити між заміною інструменту або заправкою матеріалу.

### 2.3 Порядок виконання роботи

В диференційованому методі, який розглядається в даній лабораторній роботі передбачається виконання двох етапів.

Під час виконання першого етапу здійснюються розрахунки двох гранично допустимих параметрів партії  $i$ -х деталей –  $n_1$  і  $n_2$ . Перший параметр визначають з виразу:

$$n_1 = \frac{F_{E.M.} \cdot K_O \cdot K_B}{K_{3.O.} \sum_{i=1}^{K_O} T_i},$$

де  $F_{E.M.}$  – ефективний місячний фонд часу ділянки,  $F_{E.M.} = 10560$  хв.;  
 $K_O$  – кількість операцій механічної обробки по технологічному процесу;

$K_B$  – середній коефіцієнт виконання норм по ділянці,  $K_B = 1,3$ ;

$K_{3.O.}$  – коефіцієнт закріплення операцій;

$T_i$  – середня працемісткість однієї операції, норма-хвилин,

$\sum_{i=1}^{K_O} T_i = T_i \cdot K_O$  – сумарна працемісткість технологічного процесу.

Параметр  $n_1$  відображає досягнутий ділянкою рівень спеціалізації робочих місць, показники продуктивності праці та собівартості обробки. Параметр  $n_2$  розраховують за формулою:

$$n_2 = \frac{F_{E.M.} \cdot K_{СКЛ} \cdot K_B}{K_{М.О.} \sum_{i=1}^{K_O} T_i},$$

де  $K_{СКЛ}$  – коефіцієнт, що враховує складність та працемісткість деталі,  $K_{СКЛ} = 1$  для складних та працемістких деталей та  $K_{СКЛ} = 0,75$  для середньої складності та працемісткості;

$K_{М.О.}$  – коефіцієнт, що враховує витрати міжопераційного часу.

Коефіцієнт  $K_{М.О.}$  приймається залежно від габаритів, складності та кількості операцій механічної обробки деталі  $K_O$ :

1. Крупногабаритні складні деталі  $K_O > 12$ ;  $K_{М.О.} = 0,75$ ;

2. Середньогабаритні складні деталі  $4 < K_O < 12$ ;  $K_{М.О.} = 1,5$ ;

3. Малі прості деталі  $1 < K_O < 3$ ;  $K_{M.O.} = 2,5$ .

Другий параметр  $n_2$  враховує та обмежує допустимий обсяг незавершеного виробництва та зв'язування оборотних коштів.

На другому етапі знайдені вище значення  $n_1$  і  $n_2$  аналізують з метою задоволення вимог техніко-організаційного порядку.

Важливою вимогою є забезпечення кратності партії деталей розміру партії виробів на етапі складання  $n_{ск}$ , а також місячній програмі випуску  $N_M$ .

$$N_M = \frac{N_P}{24}$$

1. Кратність партії деталей її розміру на складальній стадії забезпечується підбором цілочисельного значення коефіцієнта кратності  $n/n_{ск} = K_n = 1, 2, 3, \dots, m$ . При цьому для розрахунку береться мінімальне значення  $n$  з двох знайдених раніше значень параметрів партії  $n_1$  і  $n_2$   $n = n_{min}$ .

2. Кратність партії деталей місячній програмі випуску  $N_M$  забезпечується встановленням для неї нормальної періодичності повторення виробництва  $I_n$ .

Під періодом повторення виробництва, чи ритмом партії, розуміють відрізок часу між термінами запуску та випуску двох суміжних партій цього виробу.

Розрахункова періодичність повторення  $i$ -х деталей знаходиться з виразу:

$$I_P = \frac{n \cdot 22}{N_M}$$

Отриману розрахункову періодичність необхідно узгодити з її допустимими нормативними значеннями  $I_n$ :

Місяці	1/22	1/8	1/4	1/2	1	2	3	4	6	8	12
Дні	1	2,5	5	11	22	44	66	88	132	176	264

В якості прийнятої періодичності повторення виробництва  $i$ -х деталей  $I_{пр}$  береться більше найближче із значень  $I_n$ .

Після цього виконують другу корекцію розміру партії, що приймається відповідно до умови:

$$n'' = \frac{I_{np} \cdot N_M}{22} < n_{\max}$$

Розміри партії розраховують за всією номенклатурою деталей дільниці. При цьому отримані значення періодичностей  $I_{np}$  в межах однієї дільниці не повинні розрізнятися більше ніж на 3-4 послідовно кратних значення, наприклад  $I_n = 2,5; 5$  днів тощо.

Варіанти для виконання роботи наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Варіант	$K_{з.о.}$	$K_о$	$N_M$	$\sum_{i=1}^{K_о} T_i$	$n_{ск}$
1	4	10	530	50	20
2	7	9	220	63	15
3	2	11	990	58	10
4	2	10	314	168	5
5	2	38	2200	92	5
6	5	12	700	37	10
7	2	19	2000	50	10
8	24	21	40	230	4
9	12	10	150	61	10
10	25	9	60	63	10

## 2.4 Контрольні питання

2.4.1 Які показники відображають параметри партії виробів  $n_1$  і  $n_2$ ?

2.4.2 Дайте визначення виробничої партії?

2.4.3 Що розуміється під періодом повторення виробництва або ритмом партії?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛЕЙ

тривалість лабораторного заняття – 4 години

#### 3.1 Мета роботи

Набуття практичних навичок аналізу та оцінки технологічності конструкції деталі.

#### 3.2 Загальні відомості

*Технологічність конструкції виробу* – сукупність властивостей, що визначають можливість досягнення мінімальних витрат коштів, праці, матеріалів та часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонтах виробів у порівнянні із однотипними конструкціями того ж призначення при заданому рівні якості і прийнятих умовах виробництва, експлуатації та ремонту. Конструкція, що задовольняє заданим умовам називається *технологічною* а роботи з підвищення технологічності конструкції виробу – відпрацюванням конструкції на технологічність. При цьому *якісна* оцінка технологічності виробу характеризує технологічність узагальнено на основі досвіду створення подібних виробів а *кількісна* оцінка виражається показником, чисельне значення якого характеризує рівень задоволення вимогам до технологічності конструкції. Технологічність деталей електричних апаратів, що піддаються механічній обробці, виражається в наступному:

1. Конструктивна форма деталей повинна бути простою, а поверхні, що обробляються, повинні мати форму тіл обертання або площин, що дозволяє обробляти їх найбільш простими і продуктивними способами.

2. Обсяг механічної обробки деталей має бути найменшим. Це досягається за рахунок скорочення кількості поверхонь, що обробляються, і величини припусків на обробку.

3. Конструкція деталей повинна бути досить жорсткою, такою що виключає вплив деформуючих зусиль на її точність при застосуванні підвищених режимів різання.

4. Конструкція деталі повинна бути такою, щоб зручно було її обробляти, закріплювати та обмірювати.

5. Треба уникати застосування складних криволінійних та фасонних поверхонь, оскільки вони ускладнюють обробку та вимагають застосування спеціального обладнання та інструменту.

6. Оброблювані поверхні роблять виступаючими над необроблюваними (чорновими). Цим забезпечується вихід ріжучого інструменту та зменшується величина поверхні, що підлягає обробці.

7. Площини, що обробляються, необхідно розташовувати по можливості на одному рівні. Це прискорює виготовлення деталі, оскільки не вимагає перевстановлення та переналагодження деталі та інструменту.

8. Поверхні, що прилягають до оброблюваних ділянок, роблять за можливості перпендикулярними до оброблюваної площини, щоб розміри контурів, що одержуються при обробці, не змінювалися.

9. Поверхні, що підлягають обробці свердлінням, забезпечують бобишками, припливами, торцеві площини яких повинні бути перпендикулярні до осі свердла. Цим забезпечується правильний вхід та вихід інструменту та запобігання його від поломок.

10. Отвори під болтові з'єднання повинні відстояти від ставки на відстані  $A \geq D/2 + R$ , де  $D$  – діаметр шайби або діаметр гайки, якщо шайба не ставиться.

11. Якщо конструкцією не передбачається вільний вихід ріжучого інструменту, то перехідна частина повинна відповідати формі та розмірам ріжучого інструменту.

12. При конструюванні деталей необхідно стежити за тим, щоб місця обробки різальним інструментом були доступні для його введення та виведення, за винятком випадків, коли передбачено збіг різьблення.

### **3.3 Порядок виконання роботи**

#### **3.3.1 Якісний аналіз технологічності конструкції деталі**

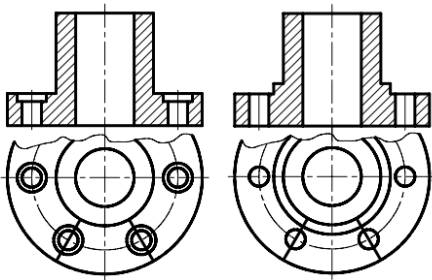
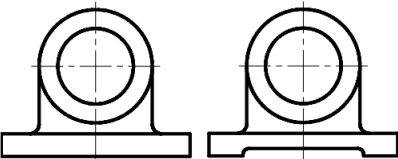
Один і той самий елемент конструкції деталі електричного апарату або машини може мати різне конструктивне виконання. Можливі рішення представлені двома ескізами в таблиці 3.2. Потрібно

провести якісний аналіз порівнюваних ескізів конструкцій на технологічність та обґрунтувати вибір елемента конструкції деталі.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для здійснення якісного аналізу технологічності

Варіант	Завдання
1	1,2,3
2	4,5,6
3	7,8,9
4	10,1,2
5	3,4,5
6	6,7,8
7	9,10,1
8	2,3,4
9	5,6,7
10	8,9,10

Таблиця 3.2 – Ескізи деталей для здійснення якісного аналізу технологічності

№	Завдання
1	 <p style="text-align: center;">а                      б</p>
2	 <p style="text-align: center;">а                      б</p>





$$K_{y.c.} = \frac{C_m}{C_{б.м.}}$$

3. Рівень технологічності за коефіцієнтом уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_e}$$

Деталь вважається технологічною за цією ознакою якщо  $K_{y.e.} \geq 6$ .

4. Рівень технологічності за коефіцієнтом використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{m_0}{m_3}$$

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для здійснення кількісного аналізу технологічності

Варіант	Кількість поверхонь деталі $Q_e$	Кількість уніфікованих елементів $Q_{y.e.}$	Маса, кг		Працемісткість, хв.		Собівартість, грн.	
			Деталі, $m_0$	Вихідної заготовки, $m_3$	Деталі, $T_i$	Аналога, $T_{б.а.}$	Деталі, $C_m$	Аналога, $C_{б.м.}$
1	19	12	0,8	1,1	28	31	1,7	2,1
2	28	17	0,3	0,4	16	24	0,9	1,3
3	73	45	3,1	3,8	78	86	3,4	4,1
4	41	27	0,2	0,4	31	39	1,2	1,4
5	55	40	4,8	5,5	68	89	4,8	5,3
6	25	18	1,1	1,4	35	38	5,6	7
7	31	15	5,2	4,9	25	26	3,5	4,1
8	28	26	0,2	0,3	18	23	8,1	8,3
9	75	70	4,8	5,1	75	80	2,3	2,5
10	55	40	5,5	6	31	35	3,1	3,4

### 3.4 Контрольні питання

3.4.1 Дайте поняття технологічності конструкції виробу?

3.4.2 Яким чином здійснюється якісний аналіз технологічності виробу?

3.4.3 За якими показниками здійснюється кількісна оцінка технологічності виробу?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4**

### **ОБҐРУНТУВАННЯ МАРШРУТУ ОБРОБКИ**

### **ЕЛЕМЕНТАРНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ**

тривалість лабораторного заняття – 4 години

#### **4.1 Мета роботи**

Ознайомлення із теоретичними та практичними засадами визначення методів і числа ступенів обробки поверхонь деталей.

#### **4.2 Загальні відомості**

До різних поверхонь висуваються різні вимоги, які забезпечуються різними методами обробки, до того ж одні й ті ж самі вимоги можна задовольнити різними комплектами технологічних методів обробки. Тому розробка методів і маршрутів обробки поверхонь (МОП) – це складний і відповідальний етап у створенні технологічного процесу [3].

На даний час існує досить велика кількість різноманітних технологічних способів, що дозволяють досягти приблизно однакових результатів обробки, однак вони можуть істотно різнитися за вартістю реалізації і тому раціональні в різних типах виробництва [1].

Виходячи з цього, технолог для кожної конкретної поверхні може розробити декілька варіантів МОП. Технологічні способи, що складають ці МОП, можуть суттєво відрізнятись вартістю та працемісткістю реалізації, що свідчить про багатоваріантність технологічного проектування для однієї поверхні і тим більше для усього виробу в цілому.

При цьому треба мати на увазі, що у процесі перетворення поверхні заготовки у готову поверхню готової деталі після кожного способу обробки з'являється нова поверхня зі своїми розмірами, шорсткістю та розмірними зв'язками з іншими поверхнями.

Це можна представити у вигляді графу або таблично. Вершини графа символізують поверхні деталі а ребра графа характеризують способи обробки, що входять до МОП і переводять поверхню із стану  $i$  (номер попередньої поверхні) у стан  $j$  (номер наступного стану поверхні). Ребрам графа можна присвоювати як назви способу обробки (назви технологічних переходів) – технологічний варіант, так і вартість їх реалізації – економічний варіант графа. Можливими є два шляхи пошуків рішення щодо МОП: на основі розрахунків уточнення та шляхом використання типових планів обробки поверхонь, які рекомендують довідники та технічна література [3].

### 4.3 Порядок виконання роботи

Елементарна зовнішня поверхня обертання деталі діаметром  $d_d$  виготовляється із заготовки, що має діаметр  $d_0$ .

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для виконання роботи

Варіант	Вид вихідної заготовки	Діаметр вихідної заготовки $d_0$ , мм	Діаметр деталі $d_d$ , мм
1	Поковка на радіально-кувальній машині	48js13	46n6
2	Лиття в оболонкову форму	73js11	70f7
3	Лиття	90±0,6	85s6
4	Поковка штампована	81,2 <sup>+2,1</sup> <sub>-1,1</sub>	75k6
5	Лиття по моделі, що виплавляється	35js10	33m7
6	Лиття	150±3	142e8
7	Прокат гарячекатаний сталевий	90 <sup>+0,5</sup> <sub>-1,3</sub>	85r6
8	Поковка вільного кування	184±3	160g6
9	Прокат калібрований	56h10	55f7
10	Лиття в кокіль	49js14	45n6

Необхідно проаналізувати вихідні дані; визначити кількість технологічних переходів для досягнення заданої точності розміру ступеня; встановити точність проміжних розмірів

Приклад вирішення завдання. Елементарна поверхня ступеню валу діаметром  $\varnothing 85^{+0,059}_{+0,037}$  виготовляється з штампованої поковки підвищеної точності діаметром  $\varnothing 91,2^{+1,3}_{-0,7}$ .

При аналізі встановлюємо, що у процесі механічної обробки аналізованої поверхні допуск розміру діаметра вихідної заготовки  $T_{d0} = 2$  мм зменшується до допуску розміру діаметра деталі  $T_{d1} = 0,022$  мм (відповідно зростає точність розміру). При цьому загальний коефіцієнт посилення точності розміру обчислюється за формулою:

$$K_{\text{пос.розм.заг.}} = \frac{T_{d0}}{T_D} = \frac{2}{0,022} = 90.$$

Кількість необхідних технологічних переходів визначається за формулою:

$$n = \frac{\lg K_{\text{пос.розм.заг.}}}{0,46} = \frac{1,9542}{0,46} = 4,2.$$

Приймаємо  $n=4$ . Допуск розміру діаметра заготовки  $T_{d0} = 2$  мм відповідає приблизно 16-му квалітету точності, а допуск розміру деталі – 6-му квалітету. Отже, точність зростає на  $16-6 = 10$  квалітетів. За прийнятими чотирма технологічними переходами розподіляємо його за законом прогресивного зменшення:  $10 = 4 + 3 + 2 + 1$ . Точність проміжних розмірів заготовки в процесі механічної обробки буде відповідати:

- після 1-го переходу 12-му квалітету (h12);
- » 2-го » 9-му» (h9.);
- » 3-го » 7-му» (h7);
- » 4-го » 6-му » (h6).

#### 4.4 Контрольні питання

4.4.1. Дайте визначення МОП?

4.4.2 Принцип визначення оптимального МОП?

4.4.3 Назвіть можливі два шляхи пошуків рішення щодо МОП?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5**

### **ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ РІЗАННЯ ПРИ СВЕРДЛІННІ, ЗЕНКЕРУВАННІ ТА РОЗГОРТЦІ**

тривалість лабораторного заняття – 4 години

#### **5.1 Мета роботи**

Вибір ріжучого інструменту та визначення режимів різання при свердлінні, зенкеруванні та розгортці

#### **5.2 Загальні відомості**

Режим обробки поверхонь заготовки – найважливіший фактор при виконанні технологічного процесу, який безпосередньо впливає на якість виробів [1].

Вихідними даними при визначенні режиму різання є [1, 3]:

– відомості про заготовку (у тому числі й вихідну) – креслення і технічні умови, матеріал і його характеристика (марка, стан, механічні властивості); припуски та характер їх розміщення; стан поверхневого шару (наявність кірки, окалини, зміцнення тощо);

– дані про деталь – робоче креслення та технічні умови; форма, розміри і допуски на обробку; допустимі відхилення від геометричної форми (овальність, конусоподібність, огранювання тощо); допустимі похибки взаємного розміщення окремих поверхонь; вимоги до стану поверхневого шару, у тому числі й до шорсткості поверхонь;

– дані щодо різальних інструментів (матеріал та геометрія різальної частини);

– паспортні дані верстатів щодо значень частот обертання шпинделя, значень подач тощо;

– відомості про етап обробки (чорновий, напівчистовий тощо).

#### **5.3 Порядок виконання роботи**

На вертикально-свердильному верстаті 2Н135 обробити наскрізний отвір діаметром 25Н9 ( $Ra=1,6$  мкм),  $l = 125$  мм. Матеріал заготовки – сірий чавун СЧ18, НВ 210.

Паспортні дані вертикально-свердильного станка 2Н135

Потужність двигуна  $N_d = 4,5$  кВт.

ККД верстата 0,8.

Частота обертання шпинделя, об/хв: 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1440.

Подачі, мм/об: 0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6.

Максимальна осьова сила різання, що дозволяється механізмом подачі верстата  $P_{\max} = 15000$  Н.

Вибір параметрів шліфувальних кіл для різних умов шліфування (швидкість кола  $V = 35$  м/с).

Завдання полягає у виборі ріжучого інструменту, призначенні режимів різання за таблицями нормативів та визначенні основного часу.

### 5.3.1 Вибір ріжучого інструмента

Відповідно до вихідних даних операція виконується в три переходи – свердління, зенкерування та розгортка. З урахуванням припуску для свердління сірого чавуну СЧ 18 НВ 210 обираємо свердла  $D = 23$  мм; для зенкерування – цільний зенкер  $D = 24,8$  мм, для розгортки – цільну розгортку  $D = 25$  мм (Табл. 5.1).

### 5.3.2 Вибір режиму різання

*Перший перехід.* Вибір подачі. Для свердління чавуну НВ 210 свердлом діаметром 23 мм обираємо подачу  $S = 0,47 - 0,54$  мм/об. З урахуванням поправочного коефіцієнта на довжину свердління  $K_{ls} = 0,9$  отримуємо розрахункові величини подач  $S = 0,42 - 0,48$  мм/об. (Табл. 5.2). За паспортом верстата встановлюємо найближчу подачу  $S = 0,4$  мм/об.

Вибір швидкості та числа оборотів.

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v$$

де  $C_v$  – коефіцієнт, що визначає умови обробки, у тому числі марку матеріалу ріжучого інструменту  $C_v = 17,1$ ;

$m = 0,125$ ,  $q = 0,25$ ,  $y = 0,4$  – показники ступеня (Табл. 5.3) – середні значення стійкості ріжучого інструменту (період роботи інструменту до затуплення);

$T=75$  (Табл. 5.4);

$K_V$  – узагальнений поправочний коефіцієнт, що враховує зміни умов обробки стосовно табличних:

$$K_V = K_{M_V} \cdot K_{U_V} \cdot K_{I_V}$$

де  $K_{M_V}$  – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки для чавуну;

$$K_{M_V} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{n_v} = \left(\frac{190}{210}\right)^{1,3} = 0,87$$

де  $n_v = 1,3$  відповідно до Табл. 5.5.

Для сталі формула буде виглядати наступним чином:

$$K_{M_V} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v}$$

$K_{U_V} = 1$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту (Табл. 5.6)

$K_{I_V} = 0,75$  – коефіцієнт, що враховує довжину отвору (Табл. 5.7)

$$K_V = 0,87 \cdot 1 \cdot 0,75 = 0,65$$

$$V = \frac{17,1 \cdot 23^{0,25}}{75^{0,125} \cdot 0,4^{0,4}} \cdot 0,65 = 20,45 \text{ м/хв.}$$

При налаштуванні верстата необхідно встановити частоту обертання шпинделя, що забезпечує розрахункову швидкість різання:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 20,45}{3,14 \cdot 23} = 283,2 \text{ об/хв}$$

де  $V$  – розрахункова швидкість різання, м/хв;  
 $D$  – діаметр інструменту, мм.

За паспортом верстата приймаємо  $n = 250$  об/хв  
 Фактична швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 23 \cdot 250}{1000} = 18 \text{ м/хв}$$

Крутний момент при свердлінні:

$$\begin{aligned} M_k &= 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = \\ &= 10 \cdot 0,021 \cdot 23^2 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1,06 = 56,52 \text{ Н*м} \end{aligned}$$

де  $C_m = 0,021$ ;  $q = 2$ ;  $y = 0,8$  (Табл. 5.8).

$$K_p = K_{Mp} = \left( \frac{210}{190} \right)^{0,6} = 1,06$$

Осьова сила при свердлінні (Табл. 5.8):

$$\begin{aligned} P_o &= 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = \\ &= 10 \cdot 42,7 \cdot 23 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1,06 = 4996,9 \text{ Н} \end{aligned}$$

За паспортом верстата найбільше зусилля, яке допускається механізмом подачі, дорівнює 15000 Н.

Перевірка вибраного режиму по осьовому зусиллю та потужності.

Потужність різання розраховують за формулою:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{56,52 \cdot 250}{9750} = 1,45$$

де  $M_{кр}$  – крутний момент, Н·м;  
 $n$  – кількість обертів, об/хв.

За паспортом верстата потужність на шпинделі:

$$N_s = N_d \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кВт}$$

$$N_s = 3,6 > N = 1,45 \text{ кВт}$$

Отже, верстат може забезпечити заданий режим різання.

*Другий перехід.* Глибина різання:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{24,8 - 23}{2} = 0,9 \text{ мм}$$

Вибір подачі (Табл. 5.9). Для зенкерування отвору в сірому чавуні НВ 210 зенкером діаметром 24,8 мм при наступній обробці отвору однією розгорткою рекомендується подача  $S = 0,7 - 0,8$  мм / об.

$$K_{os} = 0,7$$

$$S = 0,7 \cdot 0,8 = 0,56 \text{ мм / об}$$

Найближча подача за паспортом верстата  $S = 0,56$  мм / об

Вибір швидкості різання і кількості обертів (з урахуванням даних Табл. 5.10):

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S^y} K_V = \frac{18,8 \cdot 24,8^{0,2}}{40^{0,125} \cdot 0,9^{0,1} \cdot 0,56^{0,4}} \cdot 0,65 = 29,28 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 29,28}{3,14 \cdot 24,8} = 376 \text{ об/хв}$$

За паспортом верстата приймаємо  $n = 355$  об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 24.8 \cdot 355}{1000} = 27,64 \text{ м/хв}$$

Крутний момент при свердлінні:

$$M_k = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p = \\ = 10 \cdot 0,085 \cdot 24,8 \cdot 0,9^{0,75} \cdot 0,56^{0,8} \cdot 1,06 = 12,95 \text{ Н*м}$$

де  $C_m = 0,085$ ;  $x = 0,75$ ;  $y = 0,8$  (Таблиця 5.8)

$$K_p = K_{Mp} = \left( \frac{210}{190} \right)^{0,6} = 1,06$$

Осьова сила при свердлінні

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = \\ = 10 \cdot 23,5 \cdot 0,9^{1,2} \cdot 0,4^{0,4} \cdot 1,06 = 151,25$$

За паспортом верстата найбільше зусилля, яке допускається механізмом подачі, дорівнює 15000 Н.

Перевірка вибраного режиму по осьовому зусиллю та потужності.

Потужність різання розраховують за формулою:

$$N_e = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750} = \frac{12,95 \cdot 376}{9750} = 0,5$$

За паспортом верстата потужність на шпинделі:

$$N_s = N_o \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кВт}$$

$$N_s = 3,6 > N = 0,5 \text{ кВт}$$

Отже, верстат може забезпечити заданий режим різання.

*Третій перехід.* Глибина різання:

$$t = \frac{D-d}{2} = \frac{25-24,8}{2} = 0,1 \text{ мм}$$

Вибір подачі (Табл. 5.3). Для зенкерування отвору в сірому чавуні  $HB > 210$  механічною розгорткою діаметром 25 мм рекомендується подача  $S = 2,2 \cdot 0,8 = 1,76 \text{ мм / об}$ .

$$K_{OS} = 0,8$$

Найближча подача за паспортом верстата  $S = 1,6 \text{ мм / об}$

Вибір швидкості різання і кількості обертів (відповідно до Табл. 5.4 та Табл. 5.10):

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S^y} K_V = \frac{15,6 \cdot 25^{0,2}}{60^{0,3} \cdot 0,1^{0,1} \cdot 1,6^{0,5}} \cdot 0,65 = 5,7 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 5,7}{3,14 \cdot 25} = 72,6 \text{ об/хв}$$

За паспортом верстата приймаємо  $n = 63 \text{ об/хв}$ .

Фактична швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 72,6}{1000} = 5,7 \text{ м/хв}$$

Перевірка обраного режиму по осьовому зусиллю і потужності не виконується.

### 5.3.3 Визначення основного (технологічного) часу.

Величина врізання та перебігу інструментів  $l_l$  під час роботи на прохід для свердла дорівнює 6 мм; для зенкера 6 мм та для розгортки 20 мм.

При довжині отвору  $l = 125$  мм основний (технологічний) час кожного переходу дорівнює:

$$T_{01} = \frac{l + l_1}{S \cdot n} = \frac{125 + 6}{0,4 \cdot 250} = 1,31$$

$$T_{02} = \frac{l + l_1}{S \cdot n} = \frac{125 + 6}{0,56 \cdot 355} = 0,66$$

$$T_{03} = \frac{l + l_1}{S \cdot n} = \frac{125 + 20}{1,6 \cdot 63} = 1,44$$

$$T_0 = T_{01} + T_{02} + T_{03} = 1,31 + 0,66 + 1,44 = 3,41 \text{ хв}$$

Вихідні дані для виконання роботи наведені в Табл. 5.11.

Таблиця 5.1 – Розміри отворів після розточування при обробці отворів по 9 квалітету в суцільному матеріалі

Діаметр отвору, що обробляється, мм	Діаметр, мм				
	Свердла		Отвір після розточування	Зенкера	Розгортки для отвору квалітету 9(H9)
	1- го	2- го			
3	2,9	-	-	-	3
4	3,9	-	-	-	4
5	4,8	-	-	-	5
6	5,8	-	-	-	6
8	7,8	-	-	-	8
10	9,8	-	-	-	10
12	11	-	-	11,85	12
13	12	-	-	12,85	13
14	13	-	-	13,85	14
15	14	-	-	14,85	15
16	15	-	-	15,85	16
18	17	-	-	17,85	18
20	18	-	19,8	19,8	20
22	20	-	21,8	21,8	22
24	22	-	23,8	23,8	24
25	23	-	24,8	24,8	25
26	24	-	25,8	25,8	26
28	26	-	27,8	27,8	28

Продовження таблиці 5.1

30	18	28	28,8	29,8	30
32	20	30	31,7	31,75	32
35	20	33	34,7	34,75	35
38	25	36	37,7	37,75	38
40	25	38	39,7	39,75	40
42	25	40	41,7	41,75	42
45	25	43	44,7	44,75	45
48	25	46	47,7	47,75	48
50	25	48	47,7	49,75	50

Таблиця 5.2 – Подачі мм/об при свердлінні сталі, чавуну, мідних та алюмінієвих сплавів свердлами з швидкоріжучої сталі

Діаметр свердла, мм	Сталь				Сірий і ковкий	
	HB < 160	HB 160 – 240	HB 240 – 300	HB > 300	HB < 170	HB > 170
2-4	0,09-0,13	0,08-0,10	0,06-0,07	0,04-0,06	0,12-0,18	0,09-0,12
4-6	0,13-0,19	0,10-0,15	0,07-0,11	0,06-0,09	0,18-0,27	0,12-0,18
6-8	0,19-0,26	0,15-0,20	0,11-0,14	0,09-0,12	0,27-0,36	0,18-0,24
8-10	0,26-0,32	0,20-0,25	0,14-0,17	0,12-0,15	0,36-0,45	0,24-0,31
10-12	0,32-0,36	0,25-0,28	0,17-0,20	0,15-0,17	0,45-0,55	0,31-0,35
12-16	0,36-0,43	0,28-0,33	0,20-0,23	0,17-0,20	0,55-0,66	0,35-0,41
16-20	0,43-0,49	0,33-0,38	0,23-0,27	0,20-0,23	0,66-0,76	0,41-0,47
20-25	0,49-0,58	0,38-0,43	0,27-0,32	0,23-0,26	0,76-0,89	0,47-0,54
25-30	0,58-0,62	0,43-0,48	0,32-0,35	0,26-0,29	0,89-0,96	0,54-0,60
30-40	0,62-0,78	0,48-0,58	0,35-0,42	0,29-0,35	0,96-1,19	0,60-0,71
40-50	0,78-0,89	0,58-0,66	0,42-0,48	0,35-0,40	1,19-1,36	0,71-0,81

Таблиця 5.3 – Значення коефіцієнту  $C_v$  і показників ступеню в формулі швидкості різання при свердлінні

Матеріал, що обробляється	Матеріал ріжучої частини інструменту	Подача мм/об	Коефіцієнт і показники ступеню			
			$C_v$	$q$	$y$	$t$
Сталь конструкційна вуглецева	P6M5	$\leq 0,2$	7,0	0,40	0,70	0,20
		$> 0,2$	9,8			
Чавун сірий		$\leq 0,3$	14,7	0,25	0,55	0,125
		$> 0,3$	17,1			

Таблиця 5.4 – Середні значення періоду стійкості свердел, зенкерів та розгорток

Інструмент	Матеріал що обробляється	Матеріал ріжучої частини	Стійкість $T$ , хв., при діаметрі інструменту, мм							
			< 5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-80
Свердло	Конструкційна, вуглецева та легована сталь	Швидкоріжуча сталь	15	25	45	50	70	90	110	-
		Твердий сплав	8	15	20	25	35	45	-	-
	Корозійно стійка сталь	Швидкоріжуча сталь	6	8	15	25	-	-	-	-
Свердло	Сірий і ковкий чавун, мідні та алюмінієві сплави	Швидкоріжуча сталь	20	35	60	75	105	140	170	-
		Твердий сплав	15	25	45	50	70	90	-	-
Зенкери	Конструкційна, вуглецева та легована сталь, сірий і ковкий чавун	Швидкоріжуча сталь і твердий сплав	-	-	30	40	50	60	80	100
Розгортки	Конструкційна, вуглецева та легована сталь	Швидкоріжуча сталь	-	25	40	80	80	120	120	120
		Твердий сплав	-	20	30	50	70	90	110	140
	Сірий і ковкий чавун	Швидкоріжуча сталь	-	-	60	120	120	180	180	180
		Твердий сплав	-	-	45	75	105	135	165	210

Таблиця 5.5 – Значення коефіцієнта  $K_r$  і показника ступеню  $n_v$  для розрахунку коефіцієнту  $K_{MV}$

Матеріал, що обробляється	коефіцієнт $K_r$	показник ступеню $n_v$
Сталь вуглецева $\sigma_B < 550$	1,0	-0,9
Сталь вуглецева $\sigma_B > 550$	1,0	0,9
Чавун сірий	–	1,3

Таблиця 5.6 – Поправочний коефіцієнт  $K_{UV}$ , що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання

Матеріал	Значення коефіцієнту $K_{UV}$ в залежності від інструментального матеріалу						
	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6	T30K4	BK8
Сталь конструкцій на	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Корозійної та жароміцні сталі	BK8	T5K10	T15K6	P18	-	-	-
	1,0	1,4	1,9	0,3	-	-	-
Загартована сталь	35...50 HRC				51...62 HRC		
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74
Сірий та ковкий чавун	BK8	BK6	BK4	BK3	BK3	-	-
	0,83	1,0	1,1	1,15	1,25	-	-
Сталь, чавун, мідні та алюмінієві сплави	P6M5	BK4	BK6	9XC	XBG	Y12A	-
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	-

Таблиця 5.7 – Поправочний коефіцієнт  $K_{lv}$

Параметр	Свердління					Розсвердлювання, зенкерування, розгортання
	3D	4D	5D	6D	8D	
Глибина отвору, що обробляється	3D	4D	5D	6D	8D	–
коефіцієнт $K_{lv}$	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6	1,0

Таблиця 5.8 – Значення коефіцієнтів та показників ступеню в формулах крутного моменту і осьової сили при свердлінні, розсвердлюванні та розгортанні

М-л, що обробляється	Операція	М-л ріжучої частини інструмента	Коефіцієнт і показники ступеню в формулах							
			Крутного моменту				Осьової сили			
			$C_m$	$q$	$x$	$y$	$C_p$	$q$	$x$	$y$
Сталь конструкційна вуглецева $\sigma_b = 750$ МПа	Свердл.	Швидко ріжуча сталь	0,0345	2	-	0,8	68	1	-	0,7
	Розсвердл. та зенкер.		0,09	1	0,9	0,8	67	-	1,2	0,65
Сталь жароміцна 12X18Н9Т, НВ 141	Свердл.		0,041	2	-	0,7	143	1,0	-	0,7
	Розсвердл. та зенкер.		0,106	1,0	0,9	0,8	140	-	1,2	0,65
Чавун сірий, НВ 190	Свердл.	Твердий сплав	0,012	2,2	-	0,8	42	1,2	-	0,75
	Розсвердл. та зенкер.		0,196	0,85	0,8	0,7	46	-	1,0	0,4
	Свердл.	Швидко ріжуча сталь	0,021	2	-	0,8	42,7	1,0	-	0,8
	Розсвердл. та зенкер.		0,085	-	0,75	0,8	23,5	-	1,2	0,4

Таблиця 5.9 – Подача при обробці отворів зенкерами зі швидкоріжучої сталі і твердого сплаву

Матеріал, що обробляється	Діаметр зенкера $D$ , мм								
	До 15	До 20	До 25	До 30	До 35	До 40	До 50	До 60	До 80
Сталь	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,9	0,8-1,0	0,9-1,1	0,9-1,2	1,0-1,31	1,1-1,3	1,2-1,5
Чавун НВ<200	0,7-0,9	0,9-1,1	1,0-1,2	1,1-1,3	1,2-1,5	1,4-1,7	1,6-2,0	1,8-2,2	2,0-2,4
Чавун НВ>200	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,1	1,0-1,2	1,2-1,4	1,3-1,5	1,4-1,5

Таблиця 5.10 – Значення коефіцієнту  $C_V$  і показників ступеню в формулі швидкості різання при розсвердлюванні, зенкеруванні та розгортуванні

Матеріал, що обробляється	Вид обробки	Матеріал ріжучої частини інструменту	Коефіцієнт і показники ступеню				
			$C_V$	$Q$	$x$	$y$	$m$
Сталь конструкційна вуглецева	Розсвердлювання	P6M5 BK8	16,2 10,8	0,4 0,6	0,2	0,5 0,3	0,2 0,25
	Зенкерування	P6M5 T15K6	16,3 18,0	0,3 0,6	0,2	0,5 0,3	0,3 0,25
	Розгорткування	P6M5 T15K6	10,5 100,6	0,3 0,3	0,2 0	0,65 0,65	0,4
Чавун сірий	Розсвердлювання	P6M5 BK8	23,4 56,9	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4
	Зенкерування	P6M5 BK8	18,8 105,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4
	Розгорткування	P6M5 BK8	15,6 109,0	0,2 0,2	0,1 0	0,5 0,5	0,3 0,45

Таблиця 5.11 – Вихідні дані для виконання роботи

Варіант	Довжина отвору $l$ , мм	Діаметр отвору $D$ , мм	Матеріал заготовки
1	80	30H9	Сірий чавун СЧ30, HB 200
2	55	28H9	Сталь 38ХА, $\sigma_B = 680$ МПа
3	45	45H9	Сірий чавун СЧ15, HB 170
4	100	44H9	Сталь 40ХН, $\sigma_B = 700$ МПа
5	95	22H9	Сталь 40Х, $\sigma_B = 750$ МПа
6	85	38H9	Сірий чавун СЧ20, HB 180
7	40	20H9	Сталь 20Х, $\sigma_B = 580$ МПа
8	45	23H9	Сірий чавун СЧ30, HB 220
9	50	18H9	Сталь 12ХН2, $\sigma_B = 800$ МПа
10	90	35H9	Сірий чавун СЧ120, HB210

## 5.4 Контрольні питання

5.4.1 Які параметри механічної обробки називають режимом різання?

5.4.2 Дайте визначення глибини різання, величини подачі та швидкості різання?

5.4.3 Що є вихідними даними при визначенні режиму різання?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6**

### **ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТІ**

тривалість лабораторного заняття – 4 години

#### **6.1 Мета роботи**

Визначення можливості застосування розробленого технологічного процесу для виготовлення продукції з необхідними параметрами якості.

#### **6.2 Загальні відомості**

Технологічну систему можна уявити як сукупність 7-ми компонентів. Точність обробки залежить від усіх компонентів технологічної системи – верстата, інструменту, заготовки, пристосування, навколишнього середовища та оператора.

Розрахункові методи оцінки точності технологічних систем засновані:

– на використанні математичних моделей вимірювання параметрів якості продукції або параметрів технологічного процесу з урахуванням природи відмов та даних про властивості технологічних систем даного класу.

– на використанні даних про закономірності змінення в часі факторів, що впливають на один або одночасно декілька параметрів якості продукції.

#### **6.3 Порядок виконання роботи**

6.3.1 Із використанням вихідних даних, наведених в Табл. 6.2 визначити величину сумарної похибки (поле розсіювання) контрольованого параметра:

$$\omega = K \cdot \sqrt{\lambda_1 \cdot \Delta_1^2 + \lambda_2 \cdot \Delta_2^2 + \dots + \lambda_n \cdot \Delta_n^2}$$

де  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_n$ , – граничні значення елементарних похибок;

$K$  – коефіцієнт ризику;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$  – коефіцієнти, що враховують закон розподілу елементарних похибок при рівноймовірному їх виході за обидві межі поля допуску. Для нормального закону розподілу коефіцієнти  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n = 0,111$ .

6.3.2 За знайденою величиною  $\omega$  та заданому допуску на контрольований параметр  $T$  розрахувати коефіцієнт точності  $K_m$  за виразом:

$$K_m = \frac{\omega}{T}$$

де  $\omega$  – сумарна елементарна похибка обробки;  
 $T$  – допуск на контрольований параметр.

Таблиця 6.1 Значення коефіцієнту  $K$

$P, \%$	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
$K$	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

6.3.3 Проаналізувати отримані результати і зробити висновок про точність операції за величиною коефіцієнту точності.

6.3.4 Користуючись значеннями  $x(t)$  та  $x_0$  розрахувати величину середнього значення відхилення контрольованого параметра відносно середини поля допуску за формулою:

$$\bar{\Delta}(t) = |\bar{x}(t) - x_0|$$

де  $x(t)$  – середнє значення контрольованого розміру;  
 $x_0$  – значення контрольованого розміру, що відповідає середині поля допуску (при симетричному полі допуску співпадає із номінальним значенням).

6.3.5 Із використанням величин  $\bar{\Delta}(t)$  та  $T$  розрахувати коефіцієнт зміщення миттєвого параметра:

$$K_C = \frac{\bar{\Delta}(t)}{T}$$

де  $\bar{\Delta}(t)$  – середнє значення відхилення контролюваного параметра відносно середини поля допуску в момент часу  $t$ :

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнту точності

Вихідні дані, мкм	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Геометрична похибка верстата	40	30	35	45	50	45	35	40	50	55
Похибка базування	60	0	50	45	65	65	0	55	50	70
Похибка закріплення	30	20	35	15	40	35	25	40	20	45
Похибка виготовлення пристосування	30	20	15	25	10	35	25	20	30	15
Похибка виготовлення інструмента	5	0	10	0	15	10	5	15	5	20
Похибка налаштування фрези на розмір	50	40	20	15	30	60	50	30	25	40
Похибка пов'язана із розмірним зносом інструменту	15	0	5	20	10	20	10	10	25	20
Похибка вимірювань	100	90	60	40	50	105	95	65	45	55
Похибка, викликана пружними деформаціями під дією сил різання	40	30	25	35	20	45	35	30	40	25
Допуск на контрольований параметр	330	200	150	250	50	340	210	160	260	60
Ризик, що приймається	1,00	0,27	0,10	1,00	0,27	1,00	0,27	0,10	1,00	0,27

6.3.6 Із використанням значень  $\omega(t)$  та  $T$  визначити коефіцієнт миттєвого розсіювання  $K_p(t)$ :

$$K_p(t) = \frac{\omega(t)}{T}$$

де  $\omega(t)$  – поле розсіювання контрольованого параметру в момент часу  $t$  (відноситься до миттєвої вибірки).

Коефіцієнт запасу точності:

$$K_s(t) = 0,5 - K_C(t) - 0,5K_p(t)$$

Проаналізувати отриманий результат та зробити висновок о точності операції. Отримане значення коефіцієнту запасу точності повинно бути більшим ніж 0. Від'ємне значення коефіцієнту запасу точності свідчить про відсутність запасу точності по контрольованому параметру.

Таблиця 6.3 – Вихідні дані для розрахунку значення коефіцієнту запасу точності

Варіант	Вихідні дані, мм			
	Контрольований розмір	Величина допуску $T$	Середнє значення контрольованого розміру $x(t)$	Поле розсіювання $\omega(T)$
1	40±0,8	0,16	40,05	0,12
2	50 <sup>+0,039</sup>	0,39	50,3	0,1
3	75 <sub>-0,46</sub>	0,46	74,7	0,1
4	100 <sup>+0,22</sup>	0,22	100,1	0,08
5	150 <sup>+0,4</sup>	0,4	150,3	0,06
6	30±0,12	0,24	30,05	0,15
7	60 <sup>+0,040</sup>	0,40	60,3	0,3
8	100 <sup>+0,46</sup>	0,46	100,2	0,1
9	80±0,22	0,44	80,05	0,16
10	150 <sup>+0,2</sup>	0,2	150,2	0,08

## **6.4 Контрольні питання**

6.4.1 З яких елементарних похибок складається сумарна похибка контрольованого параметра?

6.4.2 Яким чином визначається коефіцієнт точності?

6.4.3 В чому полягає сутність розрахункових методів визначення надійності технологічних систем?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДАЛЬНОГО КОНВЕСЕРУ**

тривалість лабораторного заняття – 4 години

### **7.1 Мета роботи**

Ознайомлення із основними принципами проектування технологічних процесів складання та визначення основних параметрів складального конвесеру.

### **7.2 Загальні відомості**

Складання – заключний етап виробничого процесу, від якого багато в чому залежать якість виробів та їх випуск у намічені строки. У наш час трудомісткість складальних робіт у машинобудуванні загалом та у електроапаратобудуванні зокрема становить 25-30% від загальної трудомісткості виготовлення виробів [1]. При проектуванні технологічних процесів складання вихідними даними служать складальні креслення виробу, специфікації деталей, які входять у вузол, технічні вимоги приймання виробу і вузлі, розмір виробничого завдання та терміни його виконання та терміни виконання складальних робіт [4].

Ступень деталізації проектування технологічного процесу залежить від масштабу випуску виробів. При великому масштабі випуску виробів технологічний процес розробляється детально з проектуванням операційної технології. У загальному випадку проектування технологічного процесу складання з розрахунку такту складання і вибору організаційних форм складального процесу,

складання технологічних операцій, визначення складу контрольних операцій, розробки технологічного планування діляниць складального цеху [4].

При складанні виробів та їх складальних одиниць для полегшення праці та підвищення продуктивності застосовують різні засоби механізації та автоматизації]. Для рухомого складання використовують конвеєри. Вони бувають стрічковими, візковими, карусельними і підвісними. Підвісні конвеєри найчастіше застосовують при транспортуванні деталей і складальних одиниць до місця складання [1].

### 7.3 Порядок виконання роботи

Річний об'єм випуску виробів складальною ділянкою  $D_{\text{рік}} = 10000$  шт.; працемісткість складання одного виробу  $T_{\text{скл}} = 20$  хв; довжина виробу, що складається  $l_{\text{вир}} = 0,5$  м; режим роботи складальної ділянки двозмінний; на конвеєрі виконується складання виробу та дві контрольні операції; відстань між виробами  $l_{\text{пр}} = 1$  м.

Необхідно визначити такт складання, кількість складальних місць на конвеєрі, довжину конвеєра та швидкість його руху. Вихідні дані для індивідуального розрахунку наведені в табл. 7.1.

Необхідність визначення такту випуску виробів з лінії виникає при проектуванні потокових ліній. Такт випуску виробів визначається за наступною формулою:

$$T_{\text{в}} = 60\Phi_p / D_{\text{рік}}$$

де  $\Phi_p$  – дійсний річний фонд часу роботи складального конвеєру з урахуванням заданої змінності (за умови двозмінної роботи та з урахуванням часу на ремонт обладнання  $\Phi_p = 4008$  год);

$D_{\text{рік}}$  – річний об'єм випуску виробів.

$$T_{\text{в}} = 60 \cdot 4008 / 10000 = 2,4 \text{ хв}$$

Кількість складальних місць визначається за формулою:

$$M_{ск} = T_{скл.} / (Tв \cdot P_{сер})$$

де  $T_{скл}$  – працемісткість складального процесу, хв;  
 $P_{сер} = 1,2 \dots 1,8$  – середня щільність роботи (визначається кількістю працівників на одному робочому місці).

$$M_{ск} = 20 / (2,4 \cdot 1,2) = 6,9$$

Для подальших розрахунків приймаємо  $M_{ск} = 7$ .

Таблиця 7.1 – Вихідні дані для виконання роботи

Варіант	Річний об'єм випуску Дрiк	Працемісткість складання $T_{скл}$ , хв	Кількість змін	Кількість контрольних місць $M_k$	Довжина виробу $l_{вир}$ , м	відстань між виробами $l_{пр}$ , м
1	200	10,8	2	3	0,6	1
2	400	8,9	3	4	0,8	1
3	50	42,7	1	1	1,3	0,8
4	175	95	2	3	0,3	1
5	75	48,5	2	2	1,1	7
6	220	12,8	2	2	0,7	1
7	420	10,9	3	3	0,9	1
8	70	44,7	1	1	1,4	0,8
9	195	97	2	4	0,4	1
10	95	50,5	2	3	1,2	7

Загальна кількість складальних місць з урахуванням контрольних  $M_k$  і резервних  $M_{рез}$ :

$$M_{ск.заг.} = M_{ск} + M_k + M_{рез} = 7 + 2 + 3 = 12$$

Робоча довжина потокової складальної лінії (конвеєра) визначається з виразу:

$$l_{конв} = l \cdot M_{ск.заг.} = 12 \cdot (0,5 + 1) = 18 \text{ м}$$

Швидкість руху конвеєра за умови безперервного руху дорівнює:

$$v_{\text{конв}} = (l_{\text{вир}} + l_{\text{пр}}) / T_{\text{с}} = 1,5 / 2,4 = 0,625 \text{ м/хв}$$

#### **7.4 Контрольні питання**

7.4.1 Назвіть вихідні дані при проектуванні технологічного процесу складання?

7.4.2 Охарактеризуйте пристрої автоматизації та механізації технологічного процесу складання?

7.4.3 Що являє собою технологічна схема складання виробу?

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Технологія машинобудування: конспект лекцій [Текст] / Укладач О.У. Захаркін. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 260 с.
2. Технологія машинобудування. Навчальний посібник для студентів заочного відділення спеціальності 5.090227 «Обробка матеріалів на верстатах й автоматичних лініях» / Уклад.: Назаренко О.В., Суржик О.С. – Краматорськ, Лозова: МК ДДМА, ЛФ ХАДТ, 2007. – 80 с.
3. Технологія машинобудування [Текст] / П.П. Мельничук, А.І. Боровик, П.А. Лінчевський, Ю.В. Петраков ; Підручник МОН України, Житомирський державний технологічний університет, Житомир, 2005. – 835 с
4. Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування: Навчальний посібник – Львів: "Новий Світ-2000", 2012. – 358 с.