

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.О. Залога

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ**

**ВАЛА 352.04.01.19**

Бакалаврська кваліфікаційна робота  
Спеціальність – 131 Прикладна механіка  
(Технології машинобудування)

Студент

Титаренко М. О.

Керівник

Дегтярьов І. М.

Нормоконтроль

Денисенко Ю.А.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 73 с., 11 рис., 6 табл., 17 джерел.

Основна увага приділена аналізу службового призначення як машини в цілому, так і окремо вузла і деталі, проведена перевірка пред'явлених до деталей технічних вимог, аналіз методів отримання заготовки, розроблено структуру механічних операцій технологічного процесу виготовлення деталі, призначені технічно обгрунтовані режими різання і норми часу, обгрунтовано застосування засобів технічного оснащення і устаткування, спроектовано верстатне пристосування, розглянуті питання охорони праці.

**Метою роботи** є підвищення ефективності механічної обробки деталі вал за рахунок впровадження сучасного технологічного оснащення, здатного забезпечити якісну обробку заготовок

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес по виготовленню валу 352.04.01.19 агрегату вакуумного золотникового АВЗ-180.

Предмет дослідження – операції технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал».

ВАЛ, ВЕРСТАТ, РЕЖИМ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА ОПЕРАЦІЯ,  
ЗАГОТІВКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

## Зміст

Вступ .....	6
1. Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис умов їх експлуатації.....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини.....	7
1.2 Службове призначення деталі.....	8
1.3 Опис конструктивних особливостей деталей .....	8
2 Аналіз технічних вимог деталі.....	13
3 Визначення типу і форми організації виробництва.....	16
3.1 Визначення річної програми випуску деталей .....	16
3.2 Визначення типу виробництва .....	16
3.3 Визначення форми організації виробництва .....	19
3.4 Визначення такту випуску .....	20
3.5 Визначення партії запуску .....	20
3.6 Характеристика вибраного типу виробництва .....	20
4 Аналіз деталі на технологічність .....	22
5 Вибір способу отримання заготовки .....	24
6 Аналіз існуючого технологічного процесу .....	28
6.1 Розрахунок припусків на діаметральні розміри.....	28
6.2 Аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки.....	30
6.3 Вибір металорізального обладнання.....	33
6.4 Обґрунтування вибору пристосувань, ріжучого та мірального інструменту.....	35
6.5 Розрахунок режимів різання .....	37
6.6 Технічне нормування операцій .....	45
7 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ ШПОНКОВИХ ПАЗІВ .....	49

	7.1	Обґрунтування необхідності створення пристосування						
					ТМ.16510058.ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування технологічного процесу виготовлення валу 352.04.01.19 насоса АВЗ-180	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Титаренко					2	65
Перевір.		Дегтярьов				СумДУ, гр. ТМ-61		
Н. Контр.		Денисенко						
Затверд.		Залога						

7.2 Уточнення мети технологічної операції. Визначення кількісних і якісних результатів виконання операції .....	49
7.3 Визначення умов, у яких буде виготовлятися й експлуатуватися пристосування.....	50
7.4 Складання переліку реалізованих функцій .....	51
7.5 Розробка й обґрунтування схеми базування .....	51
7.6 Розробка й обґрунтування схеми закріплення .....	53
7.7 Розрахунок пневматичного поршневого приводу .....	55
7.8 Розрахунок параметрів точності пристосування .....	56
7.9 Опис будови та принципу дії пристосування .....	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	60
ДОДАТКИ .....	62

## ВСТУП

В розвитку сучасного машинобудування особлива роль сьогодні відводиться створенню і використанню нових зразків техніки та технології в усіх галузях, прискореному науково-технічному прогресу економіки країни.

У зв'язку з широким та інтенсивним запровадженням і створенням автоматизованих виробничих комплексів, в тому числі механічної обробки різанням, особливе значення отримують верстати з ЧПК. Застосування таких верстатів та автоматизованих комплексів на їх основі замість універсального обладнання мають певні особливості, і надають виробництву ряд переваг:

1. збільшення продуктивності верстатної обробки від 1,5 до 5 разів;
2. поєднання гнучкості, притаманного універсальному обладнанню, з високою точністю та продуктивністю автоматизованого верстата, що забезпечує можливість вирішення питань автоматизації як одиничного так і серійного виробництва;
3. якісну переозброєння підприємств сучасною електронікою та засобами обчислювальної техніки;
4. зниження потреби в високо кваліфікованих робітничих кадрах, основні роботи з підготовки виробництва виробів переходять до інженерно-технічного персоналу;
5. знижуються потреби в часі для припасувальних робіт при складанні, підвищується рівень взаємозамінності;
6. суттєве скорочення термінів технологічної підготовки виробництва;
7. зниження тривалості виробничого циклу виробів та зменшення запасу в незавершеному виробництві.

Кінцевою метою розвитку технологічного обладнання можна вважати створення безлюдного виробництва, яке забезпечить високу якість виготовлення продукції, максимальну продуктивністю праці та мінімальні видатки на виробництво.

						ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			6

# 1. АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА, ДЕТАЛІ. ОПИС УМОВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

## 1.1 Аналіз службового призначення машини

Деталь «Вал» входить до складу машини АВЗ-180 (агрегат вакуумний золотниковий) яка призначена для перекачування робочого середовища шляхом створення вакууму в робочій магістралі, відкачування магістральних газів (в тому числі, пари, повітря і парогазових сумішей) з герметичних вакуумних систем в. Робоче середовище повинно бути попередньо очищеним від краплинної вологи, різних типів механічних забруднень. Використовується в стаціонарних установках, розташованих в приміщеннях з температурою оточуючого середовища від 283 до 308 К (від +10 до +35°C).

Принцип роботи агрегату наступний.

З електродвигуна клинопасовою передачею крутний момент передається на вал. Разом за валом відбувається обертання ексцентриків, які приводять в рух плунжера в циліндричних порожнинах корпусу, які заповнені рідиною., Порожнистий в середині кінцевик встановлено в направляючу кульової форми. Під впливом рухомого плунжера робоча рідина витісняється в порожнину корпусу, а далі під тиском направляється через золотник в мережу.

Даний агрегат оснащується повним комплектом необхідної апаратури, в тому числі електродвигуном, різноманітними пристроями для амортизації, натягування ременів та запобігання аварій.

Агрегат не розрахований і не може використовуватися для відкачування наступних середовищ: вибухо-, пожежонебезпечних, отруйних, корозійних та роз'їдаючих для чорних металів, та таких, що вступають в реакцію з мастильними матеріалами. Не можна застосовувати агрегат для перекачування з однієї ємності в іншу.

До основних параметрів машини АВЗ є граничний залишковий тиск та продуктивність.

									Арк
									7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ТМ.16510058.ПЗ

Умови експлуатації валу :

Максимальна робоча температура	- 85 °С.
Номінальна частота обертання вала	- 520 об <sup>-1</sup> .
Робоче середовище	- олива.
Тип навантаження	- знакозмінне, циклічне. Присутні зганаючі навантаження. Можливе виникнення биття.
Термін служби валу	- 1,5 року.

## 1.2 Службове призначення деталі

Однією з ключових деталей агрегату АВЗ є вал (позначення креслення «352.04.01.19»), який призначено для передачі від електродвигуна крутного моменту та потужності через ексцентрик до плунжерів.

Для виготовлення обрано конструкційну вуглецеву якісну низьколеговану сталь 40Х ГОСТ 4543-71.

Вал встановлюється в двох підшипниках, які розташовуються в передній і задній кришках корпусу.

Для забезпечення ущільнення валу зі сторони електродвигуна використовується манжета. На вал насажено два ексцентрики, які зміщені один відносно одного на 180°. Для забезпечення плавної роботи насоса та зрівноваження механізму використовується в якості маховика шків насоса, який виконано з противагою.

При роботі на вал діють радіальні сили та крутний момент. В процесі нормальної роботи осьові зусилля не виникають.

## 1.3 Опис конструктивних особливостей деталей

Вал складається з наступних конструктивних елементів (дивись нумерацію поверхонь, рис. 1.1).

Поверхня 1 – ця поверхня зовнішня циліндрична, має розмір  $\varnothing 50_{js6}$ , використовується для встановлення підшипника.

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

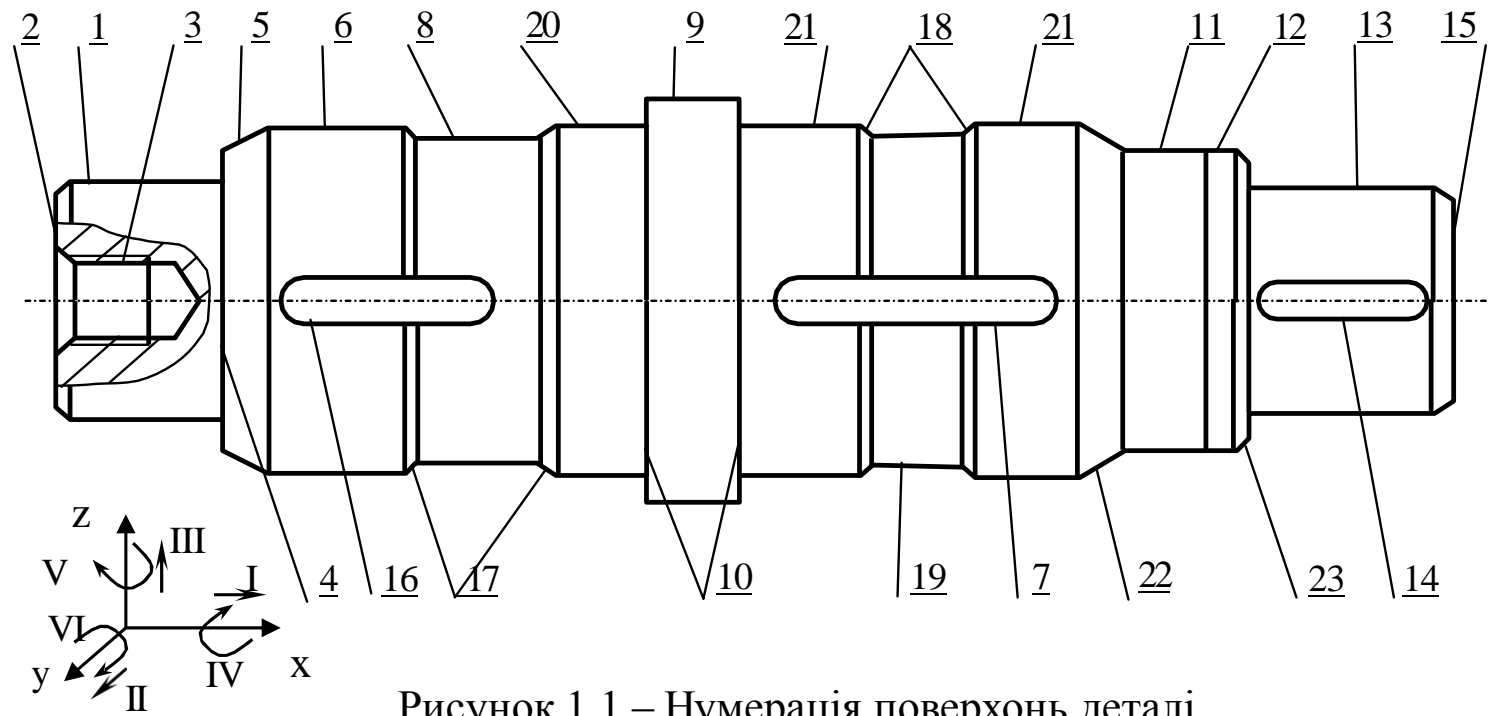


Рисунок 1.1 – Нумерація поверхонь деталі.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТМ.16510058.ПЗ



Поверхні 2 та 15 – торцеві площинні поверхні валу. По цих поверхнях виконується базування кінцевих шайб, що фіксують підшипник та шків.

Поверхня 3 – це пара центрових отворів. Вони використовуються як технологічні бази при обробці заготовки, а також для закріплення болтом кінцевої шайби.

Поверхня 4 – плоска торцева поверхня уступу  $\varnothing 50/\varnothing 55$ . По цій поверхні виконується базування опорного підшипника.

Поверхні 5 та 22 – конічні перехідні поверхні. Мають кут конусу  $6^\circ$ . Полегшують встановлення ексцентриків при складанні виробу.

Поверхня 6, 20, 21 - ці поверхні є зовнішніми циліндричними поверхнями, мають поперечний розмір  $\varnothing 55k6$ , призначені для забезпечення базування в радіальному напрямку двох ексцентриків.

Поверхня 7, 14, 16 – це плоскі поверхні шпонкового паза, який має ширину 16P9 та довжину 280 мм, 71 мм та 140 мм відповідно. Ці пази використовуються для встановлення шпонок, які передає обертальний момент до ексцентриків (пов. 7 та 16) та від шківів до валу (пов. 14).

Поверхні 8 та 19 – ці поверхні являють собою циліндричні виточки, мають розмір  $\varnothing 54$ , та призначені для зменшення розмірів поверхонь більш високої точності, забезпечують точну та надійну посадку ексцентриків на вал.

Поверхня 9 - ця поверхня є зовнішньою циліндричною, має поперечний розмір  $\varnothing 60_{-0,12}$  (IT10), необхідно для забезпечення внутрішньої герметичності порожнин агрегату за допомогою ущільнюючих пристроїв.

Поверхні 10 – плоскі торцеві поверхні, що обмежують розміри ділянки 9, призначені для базування двох ексцентриків в осьовому напрямку.

Поверхня 11 - ця поверхня зовнішня циліндрична, має розмір  $\varnothing 50js6$ , по ній виконується встановлення підшипника.

Поверхня 12 - ця поверхня зовнішня циліндрична, має розмір  $\varnothing 50_{-0,1}$  забезпечує за допомогою манжетного ущільнювача герметичність замкненість внутрішнього простору машини.

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поверхня 13 - ця поверхня зовнішня циліндрична, має розмір  $\varnothing 45k6$ , призначена для встановлення шківу клинопасової передачі на вал.

Поверхня 15 - плоска торцева поверхня, що обмежує довжину валу. По ній робиться базування кінцевої шайби, яка фіксує осьове положення шківів клинопасової передачі.

Поверхні 17, 18 - чотири конічні поверхні виточки, кут конусу  $30^\circ$ . Вони є обмежувальними ширини для поверхонь 8 і 19 відповідно.

Поверхня 23 - торцева поверхня, призначена для базування в осьовому напрямі шківів клинопасової передачі.

Виконаємо класифікацію поверхонь за службовим призначенням.

Базуючі поверхні деталі: 3, 4, 11 (комплект основних конструкторських баз); поверхні 1 та 2; 6, 20 та 21; 7, 14, та 16; 13, 15 – це допоміжні конструкторські бази.

Виконавчими поверхнями можна вважати бічні поверхні трьох шпонкових пазів 7, 14 та 16, які передають крутний момент, а також поверхні 9 та 12, які забезпечують герметизацію внутрішнього простору агрегату.

Всі інші поверхні є єднальними.

Виконаємо аналіз комплекту основних конструкторських баз більш детально. При встановленні вала в підшипники по поверхнях 3 та 11, деталь позбавляється 4 ступенів волі (подвійна напрямна база): двох переміщень по осях Y та Z і обертання відносно цих же осей. Для базування уздовж осі X використовується опорна база, яка реалізується за допомогою поверхні 5.

Складаємо матрицю зв'язків (таблиця 1.1) та таблицю відповідностей (таблиця 1.2)

Таблиця 1.1 - Матриця зв'язків

Поверхні	Ступені волі	Тип бази
4	I	ОБ
11, 3	V, VI, II, III,	ДНБ
Вакансія	IV	-

										Арк
										11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТМ.16510058.ПЗ

Таблиця 1.2 - Таблиця відповідностей

Поверхні		Зв'язки		
		X	Y	Z
4	L	1	0	0
	$\alpha$	0	0	0
3, 11	L	0	1	1
	$\alpha$	0	1	1
Вакансія	L	0	0	0
	$\alpha$	1	0	0

Виконаний аналіз комплексу ОКБ вказує на те, що деталь «Вал» при базуванні в агрегаті позбавляється 5 ступенів волі. Вакантною залишається обертання валу навколо власної осі. Наявна вакансія є необхідною умовою, що забезпечує деталі реалізацію службового призначення.

## 2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДЕТАЛІ

Для виготовлення деталі «Вал» креслення № «325.04.01.19» призначена сталь 40Х ДСТ 4543-71. Ця сталь 40Х відноситься до конструкційних низьколегованих якісних сталей. Рекомендується для використання при виготовленні деталей, що потребують загальну підвищену міцність, та експлуатуються на середніх швидкостях та середніх значеннях питомого навантаження, наприклад черв'ячні вали, проміжні осі, шестірні, шліцеві вали, шпинделі та інші.

Механічні властивості сталі 40Х наведено таблиці 2.1.

Хімічний застосовуваної сталі наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості сталі 40Х ДСТ 4543-71

Розмір зразка, мм	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi_0$ , %	$a_n$ , МПа/м	НВ
до 50	586...730	780...935	не менше 10	40...50	не менше 60	230...280
до 100	не менше 515	не менше 730	не менше 15	не менше 50	не менше 60	230...285

Таблиця 2.2 – Нормативний хімічний склад для сталі 40Х ДСТ 4543-71, залишок – залізо

С, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	S, %	P, %	Ni, %
				не більше		
0,33-0,45	0,17-0,37	0,5-0,8	0,86-1,1	0,045	0,045	до 0,3

Проведений аналіз показує, що обрана для виготовлення вала сталь відповідає службовому призначенню деталі та умовам її роботи.

Розглянемо вимоги щодо точності поверхонь деталі, звертаючи увагу на можливість зниження вимог точності та ступеня чистоти поверхонь для зниження собівартості обробки без втрати експлуатаційних властивостей.

Поверхні 1 та 11 – номінальний розмір –  $\varnothing 50$ , поле допуску – js6( $\pm 0,008$ ), параметр шорсткості Ra=0,8 мкм, допуск радіального биття відносно осі центрових отворів – 30 мкм. Зазначені вимоги є доволі високими але необхідні для забезпечення службової функції. Зайвою є вимога до радіального биття, так як величина допуску биття значно перевищує ширину поля допуску розміру.

Поверхні 6, 20, 21 – номінальний розмір –  $\varnothing 55$ , поле допуску – k6 (величина допуску – 19 мкм) параметр шорсткості Ra=0,8 мкм, допуск радіального биття відносно осі центрових отворів – 30 мкм. Зазначені вимоги є доволі високими але необхідні для забезпечення службової функції. Зайвою є вимога до радіального биття, так як величина допуску биття значно перевищує ширину поля допуску розміру.

Поверхня 13 - номінальний розмір  $\varnothing 45$ , поле допуску – k6 (величина допуску – 16 мкм), параметр шорсткості Ra=0,8 мкм, допуск радіального биття відносно осі центрових отворів – 30 мкм. Зазначені вимоги є доволі високими але необхідні для забезпечення службової функції. Зайвою є вимога до радіального биття, так як величина допуску биття значно перевищує ширину поля допуску розміру.

Поверхня 9 – номінальний розмір  $\varnothing 60_{-0,12}$ , параметр шорсткості Ra=0,4 мкм, гартування СВЧ. Призначено допуск на розмір величиною 120 мкм, що відповідає 10 квалітету точності. Для забезпечення високого рівня зносостійкості цієї поверхні, призначено поверхневе гартування струмами високої частоти.

Поверхня 12 – номінальний розмір  $\varnothing 50_{-0,1}$ , величина допуску – 100 мкм, що відповідає 10 квалітету точності, параметр шорсткості Ra=0,4 мкм, допуск

									Арк
									14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТМ.16510058.ПЗ				

радіального биття відносно осі центрових отворів – 30 мкм, гартування СВЧ. Зазначені вимоги є доволі високими але необхідні для забезпечення службової функції.

На ширину шпонкових пазів з номінальним розміром 16 мм (поверхні 7, 16, 17) призначено поле допуску Р9, воно задано відповідно до ДСТ 13456-76 та є необхідним для виконання поверхням їх службових функцій.

Для всіх інших поверхонь конструктором було призначено точність відповідно до 14 квалітету й шорсткість поверхонь обмежена величиною  $Ra=6,3$  мкм. Такого рівня точності цілком достатньо для виконання поверхнями своїх службових функцій.

Розглянуте креслення деталі «Вал» було виконано з повним дотриманням всіх вимог стандартів ЕСКД та містить всю необхідну інформацію щодо конструкції деталі і вимог щодо її виготовлення

Проведений аналіз наявних технічних вимог до заданої деталі «Вал» робимо висновок, що призначені конструктором технічні вимоги в основному відповідність службовому призначенню заданого в завданні валу та забезпечують надійну та довговічну роботу не лише деталі, а й машини в цілому. Завищеними на нашу думку є вимоги щодо гартування поверхонь шийок вала 12, 11 та 9. Скасування цієї вимоги не вчинить суттєвого впливу на роботу валу, але дозволить спростити та здешевити техпроцес по виготовленню деталі.

									Арк
									15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТМ.16510058.ПЗ				

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ І ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

Для визначення типу виробництва застосовуємо розрахунковий метод, відповідно до методики [2], що встановлено по ДСТ 14.004-83. Тип виробництва визначається на підставі значення коефіцієнта закріплення операцій  $K_{3.0}$ .

Вихідними даними для розрахунку є задана програма випуску виробів на рік, яка становить 200 шт. і норми штучного часу по заводському технологічному процесу.

#### 3.1 Визначення річної програми випуску деталей

Розрахункова програма випуску деталей за рік:

$$N_p = N \cdot m + \beta, \quad (3.1)$$

де  $N= 200$  шт - річна програма випуску машин АВЗ-180;

$m= 1$  шт – необхідна кількість деталей в одній машині;

$\beta = 0$  – прийнята кількість запчастин.

$$N_p = 200 \cdot 1 + 0 = 200 \text{ шт.}$$

#### 3.2 Визначення типу виробництва

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{3.0}$ , який показує відношення усіх різних технологічних операцій, що виконуються або підлягають виконанню впродовж місяця до числа робочих місць.

$$K_{3.0} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (3.2)$$

де  $\sum O$  - сумарна кількість механічних операцій технологічного процесу;

$\sum P$  - кількість робочих місць, що задіяні в виконанні технологічних

						ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			16

операцій.

Норму штучно-калькуляційного часу отримуємо по базовому технологічному процесу та вносимо до таблиці 3.1.

Всього в базовому технологічному процесі маємо 9 механічних операцій з наступною трудомісткістю:

- 005 «Ножівково-відрізна» - 2,31 хв;
- 010 «Токарно-гвинторізна» - 3,38 хв;
- 015 «Токарно-гвинторізна» - 3,74 хв;
- 020 «Токарно-гвинторізна» - 12,51 хв;
- 025 «Токарно-гвинторізна» - 4,69 хв;
- 030 «Токарно-гвинторізна» - 15,61 хв;
- 035 «Вертикально-фрезерна» - 35,02 хв;
- 040 «Круглошліфувальна» - 6,37 хв;
- 045 «Свердлильна» - 1,04 хв.

Розрахуємо необхідну кількість верстатів на операціях техпроцесу:

$$m_p = \frac{N_p \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н}}, \quad (3.3)$$

де  $F_d = 4015$  год. - дійсний річний фонд часу роботи обладнання [2];

$\eta_{з.н}$  – нормативне значення середнього коефіцієнту завантаження обладнання [2].

Наприклад, для операції №005 «Ножівково-відрізна» розраховуємо необхідну кількість верстатів, що становить:

$$m_p = \frac{200 \cdot 2,31}{60 \cdot 4015 \cdot 0,8} = 0,0024 \text{ шт.}$$

Розрахункову кількість робочих місць Р для технологічного процесу визначаємо округленням в більший бік до цілого числа: Р=1. Отримані значення для всіх операцій механічної обробки технологічного процесу зведено до табл. 3.1.

									Арк
									17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця для операції №005 «Ножівково-відрізна» за формулою:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m}{P} = \frac{0,002}{1} = 0,002. \quad (3.4)$$

Отримані значення по всіх інших операціях також зведено до табл. 3.1.

Розраховуємо кількість операцій, що виконуються на робочому місці

$$O = \frac{\eta_{з.н.ср.}}{\eta_{з.ф.}} = \frac{0,8}{0,0024} = 333,33. \quad (3.5)$$

Результати розрахунків для інших механічних операцій представимо в таблиця. 3.1.

Визначуваний  $\Sigma P$ ,  $\Sigma O$ ,  $\Sigma T_{ш-к}$  і результати розрахунків заноситься в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Визначення типу виробництва

Номер операції	Найменування операції	$T_{ш-к}$ , хв	$m_p$ , шт	$P$ , шт	$\eta_{з.ф.}$	$O$ , шт
005	«Ножівково-відрізна»	2,31	0,0024	1,0	0,0024	333,33
010	«Токарно-гвинторізна»	3,38	0,0041	1,0	0,0041	226,73
015	«Токарно-гвинторізна»	3,74	0,0039	1,0	0,0039	205,57
020	«Токарно-гвинторізна»	12,51	0,0132	1,0	0,0132	61,67
025	«Токарно-гвинторізна»	4,69	0,0048	1,0	0,0048	164,02
030	«Токарно-гвинторізна»	15,61	0,0161	1,0	0,0161	49,46
035	«Вертикально-фрезерна»	35,02	0,0369	1,0	0,0369	22,03
040	«Круглошліфувальна»	6,37	0,0071	1,0	0,0071	120,45
045	«Свердлильна»	1,04	0,0009	1,0	0,0009	734,17
	Разом	84,67	–	9,0	–	1919,27

Коефіцієнт закріплення операцій визначуваний по формулі:

$$K = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{1919,27}{9} = 213,3 \quad (3.6)$$

Отримане значення коефіцієнта ( $K_{з.о.} > 40$ ) відповідає одиничному типу виробництва [2, с. 19].

### 3.3 Визначення форми організації виробництва

Добовий випуск деталей:

$$N_{сут} = \frac{N}{с} \cdot год \quad (3.7)$$

де  $с = 255$  дні – фактична кількість робочих днів в році [2].

$$N_{доб} = \frac{200}{255} = 0,784 \text{ шт/день} \quad (3.8)$$

Фонд часу роботи обладнання на добу, хв.:

$$F_{доб} = \frac{60 \cdot F_o}{255} = \frac{60 \cdot 4015}{255} = 945 \quad (3.9)$$

Розраховуємо середню трудомісткість кожної механічної операції, хв.:

$$T_{сер} = \frac{\sum T_{шт.к}}{n} = \frac{84,67}{9} = 9,4, \quad (3.10)$$

де  $n$  – прийнята кількість операцій,  $n = 9$ .

Визначаємо добову продуктивність потокової лінії за умови її завантаженні на 60% від технологічних можливостей:

$$Q_{сут} = \frac{F_{от}}{T_{сп}} \cdot 0,6 = \frac{945}{9,4} \cdot 0,6 = 60,32 \quad (3.11)$$

Якщо виконати порівняння:  $N_{доб} = 0,784 < Q_{доб} = 60,32$ , то можна

						Арк
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТМ.16510058.ПЗ	

побачити, що необхідний випуск деталей на добу менше розрахованої продуктивності потокової лінії. Таким чином, застосовувати однономенклатурну поточкову лінію економічно недоцільно. Виробництво організовуємо за груповою формою.

### 3.4 Визначення такту випуску

Для визначення такту випуску деталей використовуємо формулу [2]:

$$\tau = \frac{60 \cdot F_{год}}{N_{год}} = \frac{60 \cdot 4015}{200} = 1204,5, \text{ хв} \quad (3.12)$$

### 3.5 Визначення партії запуску

$$N_{нар.п.} = N_{сут} \cdot a = 0,76 \cdot 22 = 16,72, \quad (3.13)$$

де  $a = 22$  дні – періодичність запуску деталей у виготовлення [2, с. 23].

Приймаємо розмір партії запуску 17 шт.

### 3.6 Характеристика вибраного типу виробництва

Одиничне виробництво - являє собою форму організації виробництва, при якій різні види продукції виготовляються в одному або декількох екземплярах (штучний випуск).

Основні особливості одиничного виробництва полягають в тому, що програма заводу складається зазвичай з великої номенклатури виробів різного призначення, випуск кожного виробу запланований в обмежених кількостях. Номенклатура продукції в програмі заводу нестійка. Нестійкість номенклатури, її різнотипність, обмеженість випуску призводять до обмеження можливостей використання стандартизованих конструктивно-технологічних рішень. У цьому випадку велика питома вага оригінальних і дуже низька питома вага уніфікованих деталей.

									Арк
									20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ТМ.16510058.ПЗ

Кожна одиниця кінцевої продукції унікальна за конструкцією, виконуваних завдань і іншим важливим ознаками.

Виробничий процес виготовлення продукції носить безперервний характер. На випуск кожної одиниці продукції витрачається відносно тривалий час. На підприємствах застосовується універсальне обладнання, складальні процеси характеризуються значною часткою ручних робіт, персонал володіє універсальними навичками.

Поширена в важкому машинобудуванні (виробництво великих машин для чорної металургії і енергетики), хімічної промисловості, в сфері послуг.

Цехи заводів одиничного виробництва зазвичай складаються з ділянок, організованих за технологічним принципом. Значна трудомісткість продукції, висока кваліфікація залучених для виконання операцій робочих, підвищені витрати матеріалів, пов'язані з великими допусками, зумовлюють високу собівартість виробів, що випускаються. У собівартості продукції значну питому вагу має заробітна плата, яка становить нерідко 20 - 25% від повної собівартості.

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

#### 4 АНАЛІЗ ДЕТАЛІ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ

Заготовка деталі "Вал" отримується при розрізанні стандартного круглого прутка сортового прокату з розміром поперечного перетину  $\varnothing 65$  мм, матеріал – сталь 40Х.

З точки зору механічної обробки, вал має достатньо технологічну конструкцію та дозволяє застосування при обробці режимів різання з високою продуктивністю, має зручні та розвинені поверхні для базування, конструктивно забезпечено доступ металоріжучого інструмента до оброблюваних поверхонь.

Нетехнологічним конструктивним елементом валу є високе співвідношення його довжини до найбільшого діаметра:

$$l_d/d_d = 804 / 60 = 13,40. \quad (4.1)$$

Таким чином, маємо знижену жорсткість деталі. Ця обставина зумовлює необхідність застосування знижених режимів різання на операціях механічної обробки, додаткових засобів технічного оснащення (наприклад, люнет) для підвищення жорсткості системи «верстат-притосування-інструмент-заготовка» для запобігання надмірних деформації заготовки при обробці від дії сили різання.

Технологічно проблемним є обробка ряду поверхонь (1, 6, 11, 13, 20, 21) за 6-м квалітетом точності, та необхідність досягти шорсткість цих поверхонь з критерієм  $R_a$  на рівні 0,8...0,4 мкм. Виконання цих вимог є конче необхідним з точки зору забезпечення працездатності агрегату.

Нетехнологічним елементом вважаємо конічну поверхню, яка має кут конусу  $6^\circ$ . Одержання цього параметру потребує застосування додаткових прийомів або засобів технічного оснащення, що збільшує трудомісткість обробки та виробничі витрати, дещо ускладнює технологічну підготовку виробництва.

									Арк
									22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Нетехнологічно сконструйовано такі елементи конструкції вала як шпонкові пази. До конструкції пазів можна сформулювати наступні зауваження:

- конструкція шпонкових пазів унеможлиблює попередню настройку інструменту на розмір;
- пази є з двох сторін закритими.

Підвищити технологічність деталі можна, змінивши вимоги до гартування поверхонь струмами високої частоти.

Нетехнологічним є визначення розміру  $194,5_{-0,1}$  (8 квалітет), так як його складно витримати та проконтролювати.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що деталь «Вал» має достатній рівень технологічності та може бути прийняти до виготовлення. Конструкторам рекомендується звернути увагу на зазначені недоліки.

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 ВИБІР СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВКИ

Відповідно до прийнятого типу виробництва розглянемо два способи отримання вихідної заготовки:

- прокат;
- поковка.

Приймаємо прокат з поперечним розміром  $\varnothing 63$  мм по ДСТ 7417-75. Маємо масу 1 п. м. – 24,47 кг. Повна маса запропонованої заготовки  $0,81 \text{ м} \times 24,7 \text{ кг/м} = 19,82 \text{ кг}$ . Оптова вартість 1 кг сталі 40Х – 23000 грн/т. Вартість стружки становить 2500 грн/т.

Виконаємо розрахунок собівартості заготовки з сортового прокату.

Ескіз заготовки з сортового прокату наведено на рис. 5.1.

Заготовка з розмірами  $\varnothing 63 \times 810$  мм. Додаткова обдирна обробка непотрібна.

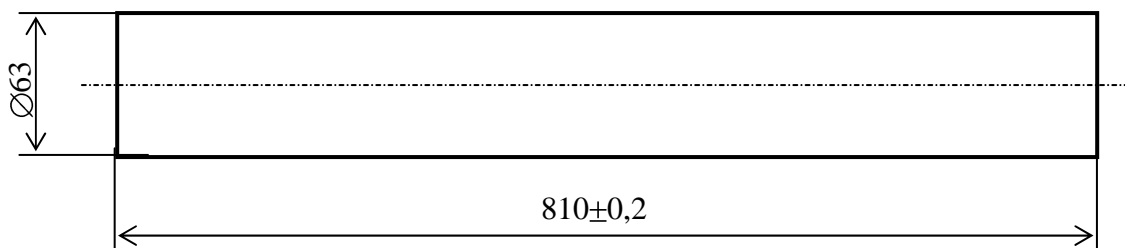


Рисунок 5.1 – Ескіз заготовки з круглого прокату

Визначаємо основний час відрізання заготовки приводними ножівками визначаємо по формулі для укрупненого нормування [2]:

$$T_0 = 0,19 \times d^2 \times 10^{-3} = 0,19 \times 63^2 \times 10^{-3} = 0,75 \text{ хв.} \quad (5.1)$$

Норму штучно-калькуляційного часу на відрізну операцію розраховуємо за укрупненою формулою [2]:

$$T_{\text{шт-к}} = T_0 \times \varphi = 2,14 \times 0,75 = 1,61 \text{ хв,} \quad (5.2)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт на допоміжний час,  $\varphi = 2,14$  [9].

									Арк
									24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ТМ.16510058.ПЗ

За даними базового підприємства витрати на виконання операції  
 $C_{п.заг}=5,7$  грн/год.

Собівартість відрізання прутка визначаємо за формулою:

$$C_{opr} = \frac{C_{пз\ oпр} \cdot T_{шт-к}}{60} = \frac{5,7 \cdot 1,61}{60} = 0,15 \text{ (грн)} \quad (5.3)$$

Собівартість отриманої заготовки розраховуємо за формулою:

$$S_{пр} = M + \Sigma C, \quad (5.4)$$

де  $M$  - вартість матеріалу, грн;

$\Sigma C$  - сума витрат на відрізання заготовки, грн

Розраховуємо вартість матеріалу за формулою:

$$M = \frac{QS}{1000} - (Q - q) \frac{S_{від}}{1000} \quad (5.5)$$

де  $Q$  – маса заготовки, кг;

$S$  – оптова вартість матеріалу, грн/т;

$q$  – розрахункова маса деталі, кг;

$S_{від}$  – оптова вартість стружки, грн/т.

$$M = \frac{19,82 \cdot 23000}{1000} - (19,82 - 13,68) \frac{2500}{1000} = 440,51$$

$$S_{пр} = 440,51 + 0,15 = 440,66 \text{ грн.}$$

Виконаємо розрахунки собівартості кованої заготовки.

Виконаємо проектування кованої заготовки відповідно до методики, передбаченої ДСТ 7062-79. Призначаємо основні, додаткові припуски, величину допуску кожного розміру, розраховуємо розміри заготовки. Всі отримані результати зведено до табл. 5.1.

						Арк
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТМ.16510058.ПЗ	



Таблиця 5.1 – Розрахунок розмірів поковки по ДСТ 7062-79.

Розмір деталі, мм	Припуск основний, мм	Припуск додатковий, мм	Допуск, мм	Розмір заготовки, мм
Ø45	11,0	+2,0	±4,0	Ø56±4,0
Ø50	11,0	+2,0	±4,0	Ø63±4,0
Ø55	11,0	–	±4,0	Ø66±4,0
Ø60	11,0	+2,0	±4,0	Ø73±4,0
804	39,0	–	±1,0	843±1,0
673	37,0	–	±1,0	710±1,0

Як видно з таблиці, для ділянок валу діаметром 55, 50 мм висота отриманого уступу на заготівці менше допустимої величини. Тому на ці ділянки призначається напуск і відповідні лінійні розміри заготовки не розраховуються.

Ескіз кованої заготовки представлено на рисунку 5.2.

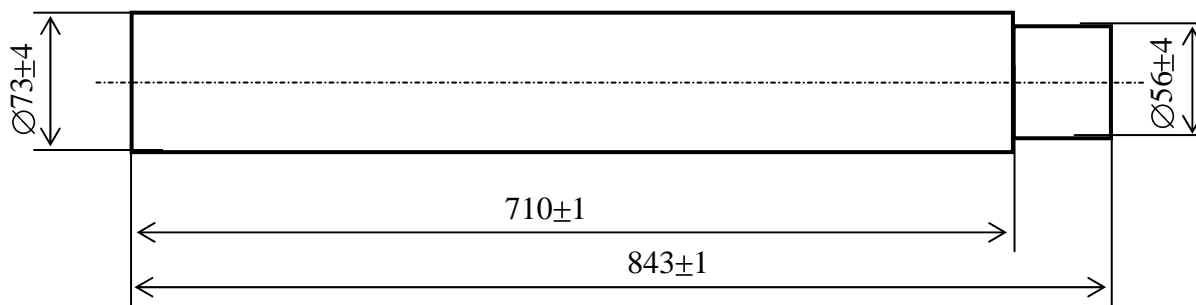


Рисунок 5.2 – Ескіз кованої заготовки

Масу заготовки розраховуємо за формулою:

$$Q = V \cdot \rho. \quad (5.6)$$

де  $V$  – об'єм заготовки, м<sup>3</sup>;

$\rho=7850 \text{ кг/м}^3$  – щільність матеріалу заготовки.

$$V = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot l_1 + \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot l_2, \quad (5.7)$$

де  $d_1, d_2, l_1, l_2$  – діаметр та довжина ділянок поковки, мм.

$$V = \frac{3,14 \cdot 73,0^2}{4} \cdot 710 + \frac{3,14 \cdot 56,0^2}{4} \cdot (843 - 710) = 3297532 \text{ мм}^3 = 3,3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$Q = 3,3 \times 10^{-3} \times 7850 = 25,91 \text{ кг}$$

Собівартість поковки визначаємо по формулі [2], грн:

$$S_{\text{пок}} = \left( \frac{C_i \cdot Q}{1000} \cdot k_{\text{ТК}} \cdot k_{\text{СК}} \cdot k_{\text{МК}} \cdot k_{\text{ПК}} \cdot k_{\text{ВК}} \right) \cdot (Q - q) \frac{S_{\text{омх}}}{1000}, \quad (5.8)$$

где  $C_i=39500$  грн – базовая вартість 1 т поковок;

$k_{\text{ТК}}=1$  – коефіцієнт точності поковки (II гр.);

$k_{\text{СК}}=0,87$  – коефіцієнт складності поковки;

$k_{\text{МК}}=1,14$  – коефіцієнт на матеріалі поковки;

$k_{\text{ПК}}=1,2$  – коефіцієнт серійності поковки;

$k_{\text{ВК}}=0,72$  – коефіцієнт масу поковки.

$$S_{\text{пок}} = \left( \frac{39000 \cdot 25,91}{1000} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,87 \cdot 1,14 \cdot 0,72 \right) \cdot (25,91 - 13,58) \frac{2500}{1000} = 835,08.$$

Розрахунок показує, що заготовка з прокату є дешевшою. Економічна ефективність вибору прокату складає 394,42 грн на одну деталь, або 78884 грн на річну програму випуску.

										Арк
										27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

### 6.1 Розрахунок припусків на діаметральні розміри

Проводимо розрахунок величин припусків та допусків для зовнішньої циліндричної поверхні  $\varnothing 55k67 \left( \begin{smallmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right)$  мм. Поверхня обробляється на 2 операціях механічної обробки та 3 переходах:

- чорнове обточування;
- напівчистове обточування;
- шліфування чистове.

Розрахунок межопераційних розмірів виконується на ЕОМ, при цьому використовується розрахунково-аналітичний спосіб професора Кована В.М. [1]. Початкові дання зводимо підготовляємо таблицю вихідних даних (див. додаток А). Мінімальне значення припуску розраховується за формулою:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + H_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{vi}^2}), \quad (6.1)$$

де  $Rz_{i-1}$  – шорсткість поверхні після попередньої обробки, мкм;

$H_{i-1}$  – глибина дефектного шару після попередньої обробки, мкм;

$\rho_{i-1}$  – величина просторових відхилень з попередньої обробки, мкм;

$\varepsilon_{vi}$  – похибка установки на даному переході, мкм.

Величину просторових відхилень можна розрахувати як геометричну суму окремих складових за формулою:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}2}^2 + \rho_{\text{екс}}^2}, \quad (6.2)$$

де  $\rho_{\text{кор}} = 0,3 \times 810 = 0,243$  мм – величина короблення заготовки.

$\rho_{\text{екс}} = 0,2$  мм – ексцентриситет між центровими отворами валу.

$$\rho = \sqrt{243^2 + 200^2} = 315 \text{ мкм}. \quad (6.3)$$

При наступній механічній обробці просторове відхилення зменшується

									Арк
									28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

на величину коефіцієнта уточнення  $K_y$ , який дорівнює 0,05 [2], що можна обчислити по формулі:

$$\rho_{\text{зал. } i} = K_y \times \rho_{\text{ост. } i-1}, \quad (6.4)$$

де  $\rho_{\text{зал. } i-1}$  – залишкові просторові відхилення після попередньої операції;

Тоді значення просторового відхилення для відповідних переходів складуть:

- чорнове точіння  $\rho_{\text{зал. } i-1} = 315 \times 0,05 = 15,75$  мкм;
- напівчистове точіння  $\rho_{\text{зал. } i-1} = 15,75 \times 0,05 = 0,79$  мкм;
- чистове шліфування  $\rho_{\text{зал. } i-1} = 0,79 \times 0,05 = 0,04$  мкм.

Результати розрахунку міжопераційних розмірів та припусків наведено в додатку А.

У відповідності до результату розрахунку (дод. А) отримаємо розрахунковий діаметр заготовки  $\varnothing 58_{-0,3}$  мм. Але, ця поверхня не є визначальною для габаритів заготовки. На цю поверхню призначаємо напуск, а діаметр заготовки становить  $\varnothing 63_{-0,3}$  мм. Будуємо схему розташування полів припусків та допусків для розміру  $\varnothing 55k6$ , яку наведено на рис. 6.1.

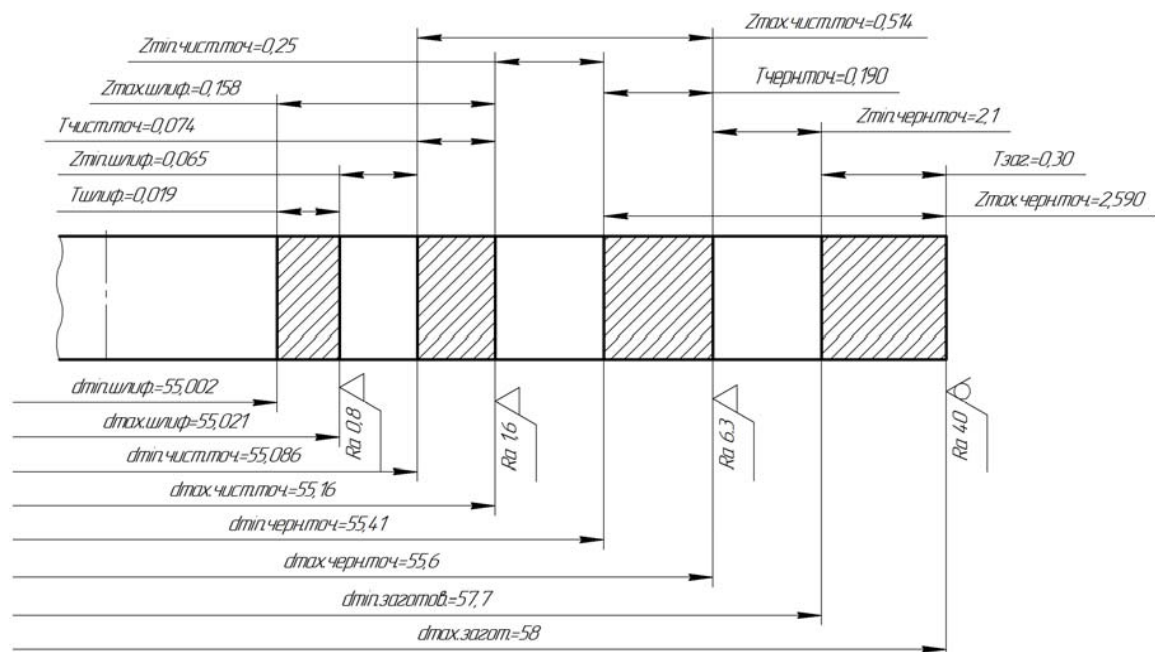


Рисунок 6.1 - Схема розташування полів допусків та припусків на розмір  $\varnothing 55k6$ .

										Арк
										29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТМ.16510058.ПЗ

## 6.2 Аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення

### заготовки

#### Операція 020 «Токарна з ЧПК»

Виконуємо вибір схему базування заготовки при чорновій та напівчистовій обробці зовнішніх поверхонь обертання заготовки, окрім торців. Обрана схема базування повинна забезпечувати мінімальну кількість переустановів заготовки при високій жорсткості системи ВПЗ (заготовка має низьку жорсткість, так як відношення  $l/d > 12$ ).

Для обробки заплановано використання токарного верстата з ЧПК.

У заготовка на попередній технологічній операції було отримано центрові отвори і оброблено торці, тому ці поверхні можна використати як технологічні бази. Такий вибір забезпечить дотримання принципу постійності баз.

Можна запропонувати дві альтернативні схеми базування.

Перша: правий плаваючий центр з упором у торець (реалізує подвійну опорну і плюс опорну бази); зліва закріплюється жорстким центром (реалізує подвійну опорну базу). Для передачі крутного моменту застосовується повідковий патрон (див. рис. 6.2 а).

Друга: правий плаваючий центр з упором у торець (реалізує подвійну опорну і плюс опорну бази); зліва закріплюється жорстким центром (реалізує подвійну опорну базу). Для передачі крутного моменту застосовується рифлення, яке упирається в торець деталі (див. рис. 6.2 б).

Забезпечити високу жорсткість заготовки в процесі чорнової та напівчистої обробки можна шляхом використання нерухомого розсувного люнету.

В обох схемах маємо однакові похибки базування та забезпечується необхідна точність базування та закріплення заготовки.

До недоліків першої схеми відносимо необхідність перевстановлювати заготовку при її обробці з двох боків. Так як для закріплення повідка

									Арк
									30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ТМ.16510058.ПЗ

використовуються поверхні з суттєвою різницею діаметру, то необхідно застосовувати поводки різних розмірів.

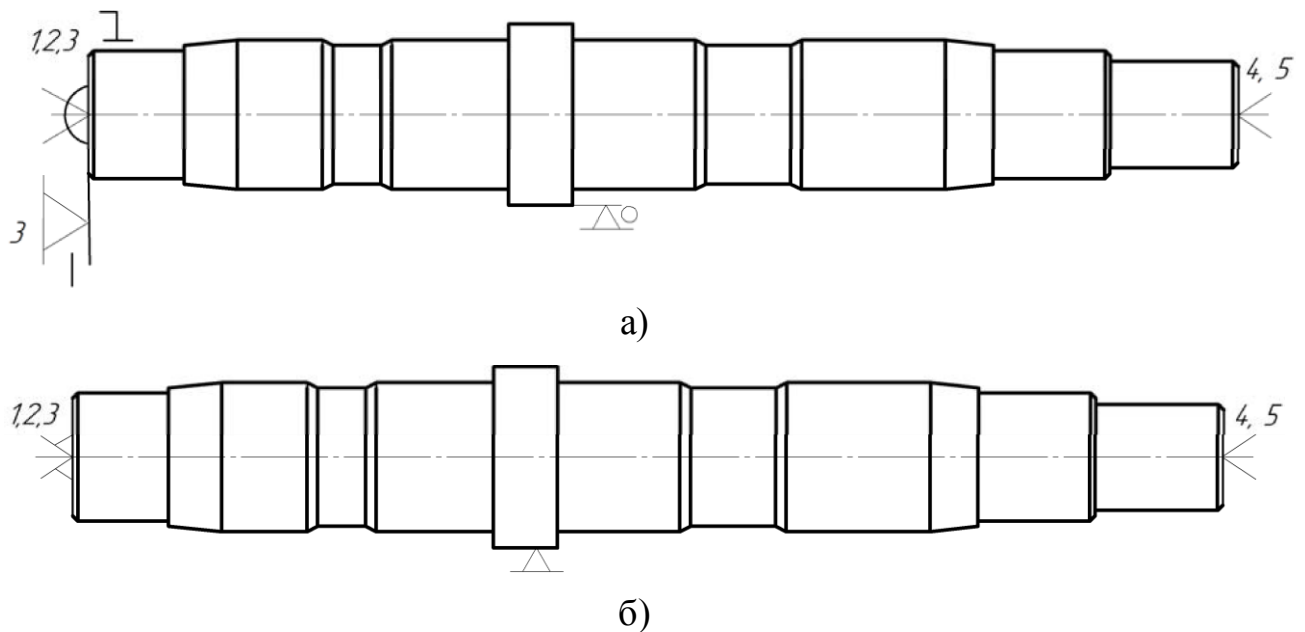


Рисунок 6.2 – Схеми базування на операції 020 «Токарна з ЧПК».

Інша схема передбачає передачу крутного моменту через торець деталі. Це дозволить провести обробку всіх зовнішніх поверхонь заготовки з одного установу. До недоліку необхідно віднести потребу зробити перевстановлення лонету після обробки заготовки з однієї сторони. Однак, це значно простіше, ніж переустанов всієї деталі.

Враховуючи вищесказане обираємо другий варіант.

Обрана схема базування позбавляє заготовку 5 ступенів свободи (залишаючи вакантним одну – обертання навколо осі заготовки). Це достатнє для виконання токарної обробки.

### **Операція 030 «Фрезерна з ЧПК».**

Обираємо схему базування для операції по чорновій та чистовій фрезерній обробці трьох шпонкових пазів валу. Базування повинно забезпечити обробку без переустановки заготовки, високу жорсткість системи ВПЗ (заготовка має низьку жорсткість, так як відношення  $l/d > 12$ ). Заплановано обробку на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК.

Пропонується два варіанти схеми базування.

									Арк
									31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

1. В якості технологічної бази використовуємо два центрових отворів. Справа встановлюємо плаваючий центр (є подвійною опорною базою), упором рифленою поверхнею в торець заготовки; зліва встановлюється в жорсткому центрі (реалізує подвійну опорну базу). Торцеве рифлення забезпечує протидію обертанню заготовки навколо власної осі (див. рис. 6.3 а).
2. Для встановлення заготовки використовуємо призми, які реалізують подвійну напрямну базу, та упор в торець (реалізується опорна база). Для протидії обертанню навколо осі заготовки застосовуються сили тертя в точках контакту поверхонь заготовки та пристосування (див. рис. 6.3, б).

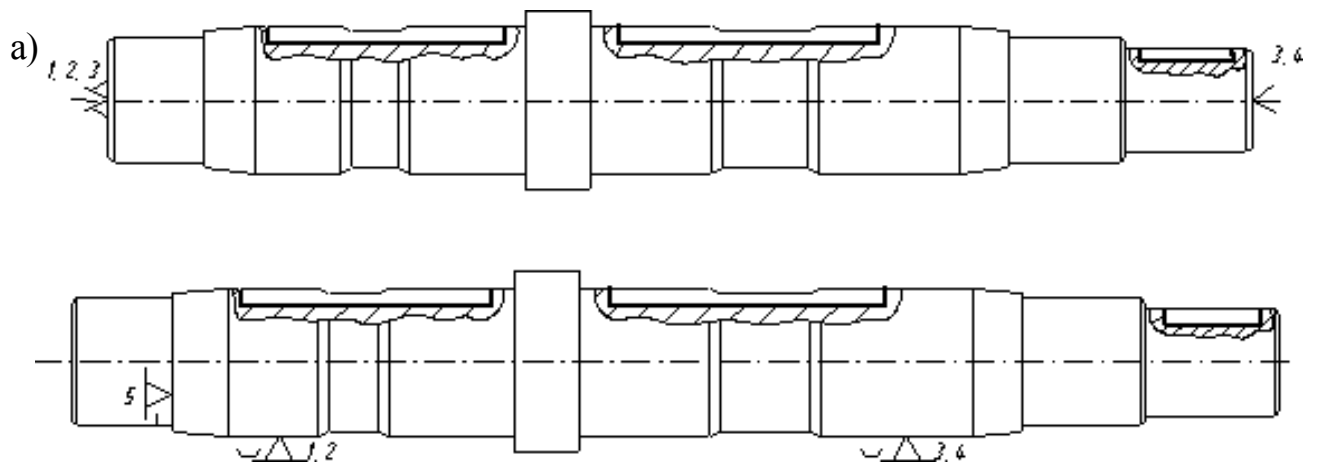


Рисунок 6.3 – Можливі варіанти базування при фрезеруванні пазів.

За перевагу схеми базування №1 вважаємо відповідність принципу сталості технологічних баз. До недоліків відносимо складність в технічній реалізації та потребу в збільшенні, порівняно з схемою №2 габаритних розмірів верстатного пристосування. Ще один недолік схеми базування №2 – це значна відстань опор від зони обробки. Так як заготовка має малу жорсткість, то від дії сил різання в процесі обробки будуть виникати суттєві деформації заготовки, що знизить точність механічної обробки.

Ґрунтуючись на вищесказаному, обираємо другу схему для базування заготовки.

							ТМ.16510058.ПЗ	Арк
								32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

### 6.3 Вибір металорізального обладнання

#### Операція 020 «Токарна з ЧПК»

Проведемо підбір універсального токарного верстата, що може обробити заготовку довжиною понад 810 мм та діаметром більше за 63 мм. Вид обробки – токарна. Необхідно при обробці застосовувати центра та люнет. Наявність системи ЧПК є обов'язковою умовою.

Найменшими габаритними розмірами серед наявних верстатів, відповідно до зазначених вимога, є верстат токарно-гвинторізний з ЧПК мод 16K20T1.

Основні технічні параметри даної моделі верстата [8, 16].

1. Клас точності верстата	П
2. Найбільша довжина заготовки, мм	900
3. Найбільший діаметр обробки заготовки над станиною, мм	500
4. Найбільший діаметр обробки заготовки над супортом, мм	215
5. Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв	10-2000
6. Кількість швидкостей шпинделя	22
7. Швидкість подачі супорта, мм/об	
поперечна	0,005-1,4
поздовжня	0,01-2,8
8. Число ступенів швидкостей подачі	Б/С
9. Потужність електродвигуна, кВт	11
10. Габаритні розміри (без ЧПК), мм:	
довжина	3700
висота	1700
ширина	1770
11. Маса, кг	3800

Так як верстат має підвищену точність та автоматичне керування системою ЧПК в процесі обробки, то це дозволить поєднати в одній технологічній операції як чорнову, так і напівчистову обробку заготовки.

										Арк
										33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТМ.16510058.ПЗ



## Операція 030 «Фрезерна з ЧПК»

Обраємо вертикально-фрезерний верстат в вертикальною віссю шпинделя, що забезпечує обробку шпонкового паза шириною 16 мм. Довжина робочої поверхні стола не менш ніж 800 мм, довжина повздовжнього переміщення столу біліше за 765 мм. Осьове переміщення шпинделя з інструментом не менш 15 мм. Необхідні габаритні розміри поверхні стола більші за 800×300 мм, що необхідно для розташування верстатного пристосування. Необхідне оснащення верстата насосною станцією для подачі СОЖ.

Наявність вбудованої системи ЧПК буде перевагою.

Обираємо верстат консольний вертикально-фрезерний з ЧПК моделі 6P13PФ3. Його технічні характеристики наступні [8, 16]:

1. Клас точності верстата	Н
2. Розміри робочої поверхні стола, мм:	400×1600
3. Найбільше переміщення стола, мм	
поперечне	400
поздовжнє	1000
вертикальне	380
4. Кількість швидкостей шпинделя	18
5. Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв	40-2000
6. Швидкість робочої подачі стола:	
поздовжня й поперечна, мм/хв	10-1200
вертикальна, мм/хв	10-1200
7. Кількість швидкостей подач	Б/с
8. Швидкість швидкого переміщення стола:	
вертикального, мм/хв	1000
поздовжнього й поперечного, мм/хв	3000
9. Потужність електродвигуна, кВт	7,5
10. Кількість інструментів в револьверній головці, шт	6
11. Розміри верстата, мм:	

						ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			34

довжина	3425
ширина	3200
висота	2520
12. Маса верстата з системою ЧПК, кг	6750

#### 6.4 Обґрунтування вибору пристосувань, ріжучого та мірильного інструменту

##### Операція 020 «Токарна з ЧПК»

Для встановлення заготовки використовуємо: праворуч – рифлений центр, а ліворуч – обертаючийся центр підвищеної точності, нормального виконання для верстатів з ЧПК. Його позначення: Центр 1-5-НП ЧПК ГОСТ 8742-75

В якості ріжучого інструменту використовуємо контурні токарні різці з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин за ДСТ 20872-80. Так як обробка заготовки виконується з обох сторін, то застосовуємо ліві та праві різці. Розміри поперечного перетину державок різців 25×25 мм.

При чорновому обточуванні застосовуємо різці з ромбічною твердосплавною пластиною. Головний кут в плані  $\varphi = 93^\circ$ , задній кут в плані  $\varphi_1 = 42^\circ$ .

При напівчистовій обробці застосовуємо різці 2-го типу; ріжуча пластина – трикутна; головний кут в плані  $\varphi = 93^\circ$ , задній кут в плані  $\varphi_1 = 28^\circ$ .

Рекомендованим матеріалом ріжучої пластини при чорновому точінні є твердий сплав марки Т15К6 [16, т.2, табл. 3, стор. 116], що повністю відповідає наявним умовам обробки.

Рекомендованим матеріалом ріжучої пластини при напівчистовому точінні є твердий сплав Т30К4 [16, т.2, табл. 3, стор. 116], що повністю відповідає наявним умовам обробки.

Позначення різців для чорнової обробки, правий та лівий відповідно:

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Різець 2101-0637 Т15К6 ГОСТ 20872-80;
- Різець 2101-0638 Т15К6 ГОСТ 20872-80.

Позначення різців для напівчистої та чистої обробки, правий та лівий відповідно:

- Різець 2103-0711 Т30К4 ГОСТ 20872-80;
- Різець 2103-0712 Т30К4 ГОСТ 20872-80.

Контролювати точність отриманих розмірів будемо за допомогою штангенциркуля ШЦ I-1000-0,1 ДСТ 166-89 та гладкого мікрометра МК-75 ДСТ 6507-78.

### **Операція 030 «Фрезерна з ЧПК»**

Встановлення заготовки на цій операції виконуємо в спеціально спроектоване пристосування, яке оснащено гідроприводом.

В якості ріжучого інструмента при чорновому фрезеруванні всіх шпонкових пазів можна використовувати стандартну шпонкову фрезу, яка оснащується ріжучими пластинами з твердого сплаву. Приймаємо шпонкову фрезу діаметром 14 мм. Матеріалом ріжучих лез рекомендується взяти твердий сплав Т15К6. Позначення прийнятого інструмента: Фреза 2235-0105 Т15К6 ГОСТ 6369-78

В якості ріжучого інструмента при чистовому фрезеруванні всіх шпонкових пазів можна використовувати стандартну шпонкову фрезу, яка оснащується ріжучими пластинами з твердого сплаву. Приймаємо шпонкову фрезу діаметром 16 мм. Позначення: Фреза 2235-0109 Т15К6 ГОСТ 6369-78.

Контролювати точність отриманих розмірів шпонкових пазів можна за допомогою штангенциркуля ШЦ I-500-0,1 ГОСТ 166-89 (контролюються лінійні розміри), глибиноміра 8315-0508 ГОСТ 24116-80 (контролюється глибин) та призми 8314-0096-4 ГОСТ 24114-80 (контролюється ширина).

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6.5 Розрахунок режимів різання

### Операція 020 «Токарна з ЧПК»

Розрахунок режимів різання при токарній обробці виконуємо методикою [8], для всіх технологічних переходів операції №020 «Токарна з ЧПК».

Вихідні дані для розрахунку:

Верстат: токарно-гвинторізний з ЧПК моделі 16K20T1.01;

При чорновому обточуванні використовується прохідний токарний різець з механічним кріпленням непереточуваної ріжучої пластини з твердого сплаву Т15К6. Геометричні параметри леза:  $\varphi=93^\circ$ ,  $\gamma=5^\circ$ ,  $\alpha=3^\circ$ ,  $\varphi_1=27^\circ$ . Матеріал ріжучої пластини - твердий сплав Т15К6.

При чистовому обточуванні використовується прохідний токарний різець з механічним кріпленням непереточуваної ріжучої пластини з твердого сплаву Т30К4. Геометричні параметри леза:  $\varphi=93^\circ$ ,  $\gamma=5^\circ$ ,  $\alpha=3^\circ$ ,  $\varphi_1=42^\circ$ .

Заготовка з сортового прокату круглого поперечного перетину,  $\varnothing 63$  мм, довжина – 804 мм.

Величини припусків розраховуємо за формулами [3]:

на лінійні розміри, мм:

$$t = \ell_{\text{заг}} - \ell_{\text{дет}} ; \quad (6.5)$$

на діаметральні розміри, мм:

$$t = \frac{d_{\text{заг}} - d_{\text{дет}}}{2 \cdot i} , \quad (6.6)$$

де  $\ell_{\text{заг}}$ ,  $d_{\text{заг}}$  – довжина та діаметр відповідно, до обробки, мм;

$\ell_{\text{дет}}$ ,  $d_{\text{дет}}$  – довжина та діаметр відповідно, після обробки, мм.

Величини операційних розмірів призначено у відповідності до проведеного розрахунку величини припусків (див. п. 6.1).

									Арк
									37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Значення подачі визначаємо на підставі рекомендацій [8]. Прийняті значення повздовжньої та поперечної подачі заносимо до табл. 6.1.

Для визначення швидкості різання користуємося формулою [8]:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v, \quad (6.7)$$

де  $C_v$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $m$  – це коефіцієнт та показники степені в формулі швидкості різання, [8];

при чорновій обробці маємо  $C_v=340$ ,  $y=0,45$ ,  $x=0,15$ ,  $m=0,20$ ;

для чистової обробки  $C_v=420$ ,  $y=0,20$ ,  $x=0,15$ ,  $m=0,20$ ;

$T$  - період стійкості різця [8, стор. 268],  $T = 60$  хв;

$K_v=K_{Mv}K_{Пv}K_{Иv}$  – поправний коефіцієнт, що враховує реальні умови обробки:

$K_{Mv}$  – поправний коефіцієнт швидкості різання по впливу механічних властивостей матеріалу заготовки [8];

$$K_{Mv} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1,0 \cdot \left( \frac{750}{935} \right)^{1,0} = 0,68; \quad (6.8)$$

$K_{Пv}$  – поправний коефіцієнт на швидкість різання по реальному стану поверхневого шару заготовки;

при чорновій обробці –  $K_{Пv} = 0,9$ ; при чистовій –  $K_{Пv} = 1$ ;

$K_{Иv}$  – поправний коефіцієнт для врахування впливу матеріалу ріжучого інструменту на швидкість різання [8];

при чорновій обробці –  $K_{Иv} = 1$ ; при чистовій –  $K_{Иv} = 1,4$ ;

$K_{\phi v} = 0,7$  – поправний коефіцієнт на головний кут в плані  $\phi$  [8];

$K_{\phi 1v}$  – поправний коефіцієнт на допоміжний кут в плані  $\phi_1$  [8];

при чорновій обробці –  $K_{Иv} = 0,91$ ;

для чистової обробки  $K_{Иv} = 0,87$ ;

Розраховуємо поправочний коефіцієнт:

при чорновій обробці –  $K_v = K_{Mv} K_{Пv} K_{Иv \phi v \phi 1v} = 0,68 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,91 = 0,39$ ;

									Арк
									38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 6.1 – Зведені дані по результатам розрахунків режимів різання на операції 020 «Токарна з ЧПК»

№ пере-ходу	Розмір на заготовці, мм	Розмір після обробки, мм	Глибина різання t, мм	Подача s, мм/об	Число проходів, i	Швидкість різання v <sub>p</sub> , м/хв	Частота обертання n <sub>p</sub> , об/хв.	Частота прийнята, n <sub>ПР</sub> , об/хв	Швидкість прийнята, v <sub>ПР</sub> , м/хв	Сила різання P <sub>Z</sub> , Н	Потужність N, кВт
1	Ø63,0	Ø50,60	3,10	0,5	2	67,36	340,5	315,0	62,3	2905,4	2,9
2	Ø63,0	Ø54,60	4,19	0,5	1	64,40	325,5	315,0	62,3	3922,3	3,9
3	Ø63,0	Ø55,60	3,70	0,5	1	65,60	331,6	315,0	62,3	3467,7	3,5
4	Ø63,0	Ø60,60	1,20	0,5	1	77,67	392,6	315,0	62,3	1124,7	1,2
5	Ø50,6	Ø50,16	0,22	0,15	1	196,89	1239,2	1250,0	198,6	70,2	0,2
6	Ø54,6	Ø54,00	0,30	0,15	1	187,94	1096,2	1000,0	171,4	97,9	0,2
7	Ø55,6	Ø55,16	0,22	0,15	1	196,89	1127,8	1000,0	174,6	71,6	0,2
8	Ø60,6	Ø60,16	0,22	0,15	1	196,89	1034,7	1000,0	190,3	70,7	0,2
9	Ø63,0	Ø45,60	4,35	0,5	2	64,03	323,7	315,0	62,3	4077,0	4,2
10	Ø63,0	Ø50,60	3,10	0,5	2	67,36	340,5	315,0	62,3	2905,4	2,9
11	Ø63,0	Ø54,60	4,19	0,5	1	64,36	325,4	315,0	62,3	3936,4	4,0
12	Ø63,0	Ø55,60	3,70	0,5	1	65,60	331,6	315,0	62,3	3467,8	3,5
13	Ø45,6	Ø45,16	0,22	0,15	1	196,89	1375,1	1250,0	179,0	71,4	0,2
14	Ø50,6	Ø50,16	0,22	0,15	1	196,89	1239,2	1250,0	198,6	70,2	0,2
15	Ø54,6	Ø54,00	0,30	0,15	1	187,94	1096,2	1000,0	171,4	97,9	0,2
16	Ø55,6	Ø55,16	0,22	0,15	1	196,89	1127,8	1000,0	174,6	71,6	0,2

ТМ.16510058.ПЗ

при чистовій –  $K_{Иv} = K_{mv} \cdot K_{пv} \cdot K_{ивqvφ1v} = 0,68 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,7 \cdot 0,87 = 0,58$ ;

Розраховуємо частоту обертання шпинделя верстата за формулою, об/хв:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (6.9)$$

Корегуємо по паспорту верстата до найближчого меншого значення частоти обертання, отримуємо  $n_{гр}$ .

Розраховуємо фактичну швидкість різання  $v_{гр}$ , м/хв, при прийнятій частоті обертання:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (6.10)$$

Розраховуємо силу різання (тангенціальну складову) за формулою [8]:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p, \quad (6.11)$$

де  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $q$ ,  $n$  - коефіцієнт та показники ступеня у формулі сили різання, [8].

$$C_p = 300, y = 0,75, x = 1, n = -0,15;$$

$K_p = K_{mp_{φγλp}} = 1,18 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 1,02$  – поправний коефіцієнт для врахування фактичних умов обробки;

$K_{mp}$  – поправний коефіцієнт для врахування впливу механічних властивостей оброблюваного матеріалу заготовки на силу різання [8];

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{935}{750} \right)^{0.75} = 1,18; \quad (6.12)$$

$K_{φp} = 0,89$  - поправний коефіцієнт для врахування впливу кута  $φ$  [8];

$K_{γp} = 1$  - поправний коефіцієнт для врахування впливу кута  $γ$  [8];

$K_{λp} = 1$  - поправний коефіцієнт для врахування впливу кута  $λ$  [8];

									Арк
									40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$K_{гр}=0,93$  - поправний коефіцієнт для врахування впливу радіусу при вершині  $r$  [8];

Розраховуємо ефективну потужність різання, користуючись формулою, кВт:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \quad (6.13)$$

Всі отримані нами результати розрахунку заносимо до табл. 6.1.

Порівнюємо максимальне отримане значення ефективної потужності різання з паспортом верстата і бачимо, що воно менше паспортної потужності  $N=11$  кВт (враховуючи ККД приводу верстата, який дорівнює 0,75)

### **Операція 030 «Фрезерна з ЧПК»**

На операції 030 «Фрезерна з ЧПК» фрезерування 3-х шпонкових пазів виконується на 4-х режимах роботи ріжучого інструмента:

- 1) При чорновому фрезеруванні з осьовою подачею для врізання в матеріал заготовки;
- 2) При повздовжній подачі при чорновому прорізанні шпонкових пазів;
- 3) При чистовому фрезеруванні з осьовою подачею для врізання в матеріал заготовки;
- 4) При повздовжній подачі при чистовому прорізанні шпонкових пазів.

Для розрахунку режимів різання застосовуємо методику, яку викладено в [8]. Розрахунок проводимо для вищевказаного режиму окремо. Всі отримані проміжні розрахункові результати заносимо в табл. 6.2.

Визначимось з геометричними параметрами шару металу, що зрізається при чорновому фрезеруванні:

- Ширина фрезерування відповідає глибині паза, який фрезеруємо:  $B=6$  мм.
- Глибина фрезерування відповідає ширині паза, який фрезеруємо:  $t=14$  мм.

Визначимось з геометричними параметрами шару металу, що зрізається при чистовому фрезеруванні:

- Ширина фрезерування визначається, як подвоєна глибина паза, який

									Арк
									41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



фрезеруємо (одночасно обробляються дві бічні стінки):  $V=12$  мм.

- Глибина фрезерування відповідає ширині припуску на одну сторону, що був залишений після попередньої обробки:  $t=1$  мм.

Значення величини подачі обираємо за рекомендаціями [8].

Розраховуємо швидкість різання за формулою, м/хв:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^n z^w} K_{\Gamma} (6.14)$$

де  $C_v=145$ ,  $x=0,24$ ,  $y=0,26$ ,  $q=0,44$ ,  $u=0,1$ ,  $m=0,37$ ,  $p=0,13$  - коефіцієнт та показники степені в формулі швидкості різання, [8]

$T$  – призначений період стійкості шпонкової фрези [8]  $T = 80$  хв;

$K_v = K_{MV} K_{IV} K_{IV}$  - поправний коефіцієнт на фактичні умови обробки для швидкості різання, де

$K_{IV}$  – коефіцієнт для врахування впливу на швидкість різання стану поверхні заготовки [8],  $K_{IV} = 1$ ;

$K_{IV} = 1$  - коефіцієнт для врахування впливу на швидкість різання інструментального матеріалу [8],  $K_{IV} = 1$ ;

$K_{MV}$  - коефіцієнт для врахування впливу на швидкість різання властивостей матеріалу заготовки [8], який визначаємо за формулою;

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} = 1 \cdot \left( \frac{750}{935} \right)^{0.9} = 0,82, \quad (6.15)$$

де  $K_{\Gamma}$ ,  $n_v$ , – коефіцієнт та показник степені [8]

Розраховуємо частоту обертання шпинделя, використовуючи формулу, об/хв:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (6.16)$$

Корегуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата до найближчого меншого значення.

						Арк
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТМ.16510058.ПЗ	

Зм.	
Арк.	
№ докум.	
Підпис	
Дата	
ТМ.16510058.ПЗ	
Арк.	43

Таблиця 6.2 – Режими різання при фрезеруванні шпонкових пазів

№ перех	Глибина різання, $t$ , мм	Подача на 1 зуб фрези, $S_z$ , мм	Діаметр фрезерування $D$ , мм	Ширина фрезерування, $B$ , мм	Розрахункова швидкість, $V$ , м/хв	Розрахункова частота обертання, $n_{роз}$ , об/хв	Прийнята частота обертання, $n_{пр}$ , об/хв	Прийнята швидкість, $v_{пр}$ , м/хв	Сила різання, $P_z$ , Н	Крутний момент, $M_{кр}$ , Нм	Потужність різання, $N_e$ , кВт
1	14,0	0,03	14,0	6,0	75,7	1722,7	1600,0	70,3	413,7	29,0	0,5
2	14,0	0,03	14,0	6,0	75,7	1722,7	1600,0	70,3	413,7	29,0	0,5
3	1,0	0,04	16,0	12,0	131,0	2607,5	2000,0	100,5	101,8	8,1	0,2
4	1,0	0,04	16,0	12,0	131,0	2607,5	2000,0	100,5	101,8	8,1	0,2

Розраховуємо фактичну швидкість різання, використовуючи формулу,  
м/хв:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (6.17)$$

Розраховуємо головну складову сили різання, якою є окружна (тангенціальна) сила, використовуючи формулу, Н:

$$P_z = \frac{10C \cdot T^m \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_{MP}, \quad (6.18)$$

де  $C_p=12,5$ ,  $x=0,85$ ,  $y=0,75$ ,  $q=0,73$ ,  $u=1$ ,  $w=-0,13$  - коефіцієнт і показники степені у формулі для розрахунку швидкості різання, [8];

$K_{MV}$  – коефіцієнт для врахування впливу механічних властивостей матеріалу заготовки на силовий фактор при різанні [8];

$$K_{MP} = \left( \frac{\sigma_e}{750} \right)^n = \left( \frac{935}{750} \right)^{0,30} = 1,07. \quad (6.19)$$

Розраховуємо величину крутного моменту на шпинделі верстата, використовуючи формулу, Н×м:

$$M_{kp} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}. \quad (6.20)$$

Розраховуємо значення ефективної потужності різання, використовуючи формулу, кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}. \quad (6.21)$$

Розрахунки показують, що потужності верстату вистачає для реалізації запланованої обробки.

									Арк
									44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

## 6.6 Технічне нормування операцій

Виконаємо визначення технічно-обґрунтованої норми часу на технологічні операції, тобто розрахуємо час, який є необхідним для виконання запланованого обсягу робіт за наявності певних організаційних та технічних умов та ефективному використанні всіх наявних виробничих засобів.

### Операція 020 «Токарна з ЧПК»

Так як структура технологічної операції №020 «Токарна з ЧПК» є найбільш складною, то будемо нормувати її окремо.

Виконаємо розрахунки норми часу у відповідності з методикою [17].

Отримані дані розрахунків будемо заносимо до табл. 6.3.

Для визначення основного часу використовуємо по формулу, хв:

$$T_O = (L + \ell_{BP} + \ell_{ПЕР}) / (n \cdot s), \quad (6.22)$$

де  $L$  - довжина оброблюваної поверхні заготовки, мм;

$\ell_{BP}$  - величина врізання інструменту, мм;

$\ell_{ПЕР}$  - величина перебігу інструменту, мм.

Технічну норму допоміжного часу визначаємо за формулою, хв:

$$T_d = T_{VCT} + T_{ПЕР} + T_{ВИМІР} + T_{ЗМ.ІНС.} + T_{ЗМ.ПОД.} + T_{ЗМ.ОБ.}, \quad (6.23)$$

де  $T_{VCT}$  - час, необхідний на встановлення та зняття деталі, хв [17];

$T_{ВИМІР}$  - час, необхідний на вимірювання отриманих на операції розмірів, хв [17, карта 86]

$T_{ПЕР}$  - норма часу на дії, що пов'язані з технологічним переходом, їх перелік наведено в табл. 6.4;

$T_{ЗМ.ІНС.}$  - норма часу на заміну робочого інструмента, виконується при обробці в автоматичному режимі,  $T_{ЗМ.ІНС.} = 0,02$  хв.;

$T_{ЗМ.ПОД.}$  - норма часу на зміну величини подачі, виконується паралельно холостим переміщенням верстата,  $T_{ЗМ.ПОД.} = 0$ ;

									Арк
									45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 6.3 – Результати розрахунку норм основного та допоміжного часу

№ П/П	L+l <sub>ВР</sub> +l <sub>ПЕР</sub> , мм	T <sub>О</sub> , хв	T <sub>ВСТ</sub> , хв	T <sub>ПЕР</sub> , хв	T <sub>ЗМ.ІНС.</sub> , хв	T <sub>ВИМІР</sub> , хв	T <sub>Д</sub> , хв
1	42,0	0,53	3,0	0,11	–	–	10,52
2	10,0	0,06	–	–	–	–	
3	188	1,19	–	–	–	–	
4	35,0	0,22	–	–	–	–	
5	42,0	0,22	–	0,21	–	0,62	
6	10,0	0,07	–	–	0,02	0,22	
7	188	1,25	–	–	–	1,04	
8	34,0	0,23	–	0,1	–	0,62	
9	96,0	1,22	1,5	0,21	0,02	–	
10	85,0	1,08	–	–	–	–	
11	10,0	0,06	–	–	–	–	
12	361	2,29	–	–	–	–	
13	96,0	0,51	–	0,21	–	0,62	
14	85,0	0,45	–	–	0,02	0,62	
15	10,0	0,07	–	–	–	0,22	
16	361	2,41	–	0,10	0,02	1,04	
Σ		11,88					

T<sub>ЗМ.ОБ.</sub> – норма часу на зміну частоти обертання шпинделя, виконується паралельно холостим переміщенням верстата, T<sub>ЗМ.ОБ.</sub>=0.

Для розрахунку норми штучного часу використовуємо формулу, хв:

$$T_{\text{шт}} = \left( T_{\text{О}} + T_{\text{В}} \cdot K_{\text{ТВ}} \right) \left( 1 + \frac{a_{\text{ОБС}} + a_{\text{ОТЛ}}}{100} \right) = (11,88 + 10,52) \left( 1 + \frac{5,5 + 4}{100} \right) = 23,39 \text{ (6.24)}$$

де K<sub>ТВ</sub>=1 – поправний коефіцієнт для допоміжного часу, який залежить від серійності виконуваних робіт [18];

a<sub>ОБС</sub>=5,5% – норма часу на обслуговування робочого місця, хв [18];

a<sub>ОТЛ</sub>=4% – норма часу на відпочинок і особисті потреби робітника, хв [18].

Таблиця 6.4 – Розрахунок часу холостих ходів

№ п/п	Зміст переходу	Довжина ходу, мм	Швидкість х. х., мм/хв	Час х. х., хв
1	Підведення (відведення) інструменту з точки зміни інструменту	400	4000	0,1
2	Повернення для наступного проходу	36	4000	0,009

### Підготовчо-заключний час

Розраховуємо норму підготовчо-заключного часу, який включає наступні елементи:

1. Час, необхідний на налагодження верстата перед початком роботи - 22 хв, [18];

2. Час, необхідний на одержання потрібного інструмента та пристосувань перед початком роботи до та їх здача після повного закінчення обробки партії деталей - 10 хв [18].

$$T_{ПЗ}=22+10=32 \text{ хв.} \quad (6.25)$$

Розраховуємо норму штучно-калькуляційного часу на технологічну операцію за допомогою формули, хв:

$$T_{ш-к} = T_{шт} + \frac{T_{ПЗ}}{n_d} = 23,39 + \frac{32}{25} = 24,67, \text{ хв.} \quad (6.26)$$

Розрахунок норм часу для операції 030 «Фрезерна з ЧПК» виконуємо за цією ж методикою, користуючись нормативами [17, 18]. Величини норм часу й коефіцієнтів заносимо в табл. 6.5.

									Арк
									47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 6.5 – Результати розрахунку норми часу на операцію 030 «Фрезерна з ЧПК»

№ переходу	$L+I_{вр}+I_{пер}$ мм	$T_{О}$ , хв.	$T_{ВСТ}$ , хв.	$T_{ВИМ}$ , хв.	$T_{ПЕР}$ , хв.	$T_{П.С}$ , хв.	$T_{д}$ , хв.	$\alpha_{обсл}$ %	$\alpha_{отд}$ , %	$T_{ШТ}$ , хв.	$T_{ПЗ}$ , хв.
1	131,0	1,37	0,8	–	0,3	0,01	3,97	3,5	4,0	12,58	30
2	271,0	2,82	–	–	0,3	–					
3	62,0	0,65	–	–	0,3	–					
4	131,0	0,82	–	0,45	0,3	0,01					
5	271,0	1,69	–	0,45	0,3	–					
6	62,0	0,39	–	0,45	0,3	–					
Всього		7,73	0,8	1,35	1,8	0,02					

ТМ.16510058.ПЗ

## **7 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ ШПОНКОВИХ ПАЗІВ**

Завдання на проектування: розробити конструкцію верстатного пристосування на операцію 030 «Фрезерна з ЧПК» для фрезерування трьох шпонкових пазів, ширина кожного з них 16P9 мм, глибиною  $6\pm 0,2$  мм, довжина – 140 мм, 280 мм, 71 мм відповідно.

### **7.1 Обґрунтування необхідності створення пристосування**

На даний момент обробка заготовки виконується в універсальному пристосуванні з ручним приводом. Працівник, що виконує цю операцію має п'ятий розряд. При застосуванні спеціального пристосування, оснащеного механізованим приводом, можливо буде спростити встановлення заготовки, понизити необхідну кваліфікацію робітника, знизити трудомісткість операції, підвищити сталість параметрів точності на операції.

### **7.2 Уточнення мети технологічної операції. Визначення кількісних і якісних результатів виконання операції**

#### **Точність розмірів**

На цій операції забезпечується формування трьох шпонкових пазів з наступними розмірами:

1) ширина паза 16P9, однакова для всіх пазів. Величина допуску, відповідно до ДСТУ ISO 286-1-2002,  $T=0,043$  мм. Це значення відповідає табличному [10].

2) глибина паза задана  $6\pm 0,2$  мм, однакова для всіх пазів. Допуск  $T=400$  мкм. Відповідно до ДСТУ ISO 286-1-2002 це 14 квалітет точності. Задане конструктором значення не відповідає стандартному, яке рівне 300 мкм [10].

3) лінійні розміри – довжина паза, мають різні значення для трьох пазів. Всі три розміри довжини конструктором задані вільними, тобто їх потрібно виконувати по 14 квалітету точності:

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49



- перший 140 мм, допуск  $T=1000$  мкм;
- розмір 280 мм, допуск  $T=1300$  мкм [10];
- розмір 71 мм, допуск  $T=740$  мкм [10].

### **Точність форми**

Аналізуємо поверхню бічної стінки паза. Похибка форми цієї поверхні характеризується відхиленням від площинності. На кресленні величина допуску для цієї похибки не вказана. У відповідності до ДСТУ ISO 1101:2009 при точності ширини паза, яка задана по 9-му квалітету, та рівня геометричної точності А отримуємо допуск по ступені точності 8 [11]. При номінальному розміру 16 мм відхилення від площинності за ДСТУ ISO 1101:2009 [11] обмежується 8 мкм.

### **Точність розташування**

Розглянемо відхилення від симетричності відносно осі деталі стінок шпонкового паза. Похибка симетричності задана величиною 100 мкм. Відповідно до ДСТУ ISO 1101:2009 [11, с.109] це 10 ступінь точності, табличне значення допуску при цьому становить 80 мкм.

### **Ступінь шорсткості**

На кресленні деталі шорсткість стінок паза задана 3,2 мкм, для інших поверхонь 6,3 мкм по критерію Ra.

## **7.3 Визначення умов, у яких буде виготовлятися й експлуатуватися пристосування**

Задана програма випуску випуску 200 деталей на рік. Враховуючи трудомісткість виготовлення деталі, маємо одиничний тип виробництва. Враховуючи це, можна вважати, що експлуатація пристосування буде не дуже інтенсивною. За заданий період виробництва 36 місяців (або 3 роки) пристосуванням буде виконано 600 робочих циклів.

									Арк
									50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ТМ.16510058.ПЗ

## 7.4 Складання переліку реалізованих функцій

0. Попередня орієнтація заготовки та її переміщення.
1. Забезпечення базування заготовки.
2. Базування пристосування на верстаті.
3. Надійне та швидке закріплення заготовки.
4. Надійне закріплення пристосування на верстаті.
5. Підведення та відведення енергоносія для закріплення.
6. Генерація початкового зусилля для забезпечення закріплення заготовки.
7. Управління енергоносієм.
8. Заміна установчих (затискних) елементів.
9. Поєднання всіх функційних вузлів (корпус) в єдине ціле.
10. Виконання механічної обробки заготовки.
11. Забезпечення безпечних умов роботи для працівника.

## 7.5 Розробка й обґрунтування схеми базування

### Вибір головної базової поверхні

Головними базовими поверхнями слугують дві циліндричні поверхні з розміром поперечного перетину  $\varnothing 55,16$  мм. Вони разом, при встановленні в коротких призмах, реалізують подвійну направляючу базу, таким чином, позбавляючи заготовку чотирьох ступенів свободи (двох переміщень та двох обертань). Ці поверхні є достатньо точно обробленими (ІТ 9), шорсткість  $Ra=3,2$  мкм.

При застосуванні вказаних поверхонь для базування доступ інструменту до зони обробки не перекривається.

### Вибір опорної базової поверхні

Для позбавлення заготовки 5-ої степені свободи, переміщення уздовж осі обертання деталі, використовуємо торець  $\varnothing 54$  мм. Ця поверхня реалізує опорну базу.

									Арк
									51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

При застосуванні даної поверхні для базування доступ інструменту до зони обробки не перекривається. Запропонована схема базування представлена

Інший варіант передбачає використання іншого торця для опорної бази, що призведе до збільшення похибки базування на лінійний розмір. Розглянемо визначення похибок базування для запропонованої першої схеми базування (рис. 7.1, а), а, також, для альтернативного варіанту з використанням іншого торця (рис. 7.1, б)

Визначаємо похибку базування на розмір  $L=140$  мм – довжину шпонкового паза. Для першого варіанта (рис. 7.1, а) вона визначається величиною допуску на розмір 23 мм,  $T_{23}=0,52$  мкм. Таким чином:  $\epsilon_{\delta 140}=0,52$  мм.

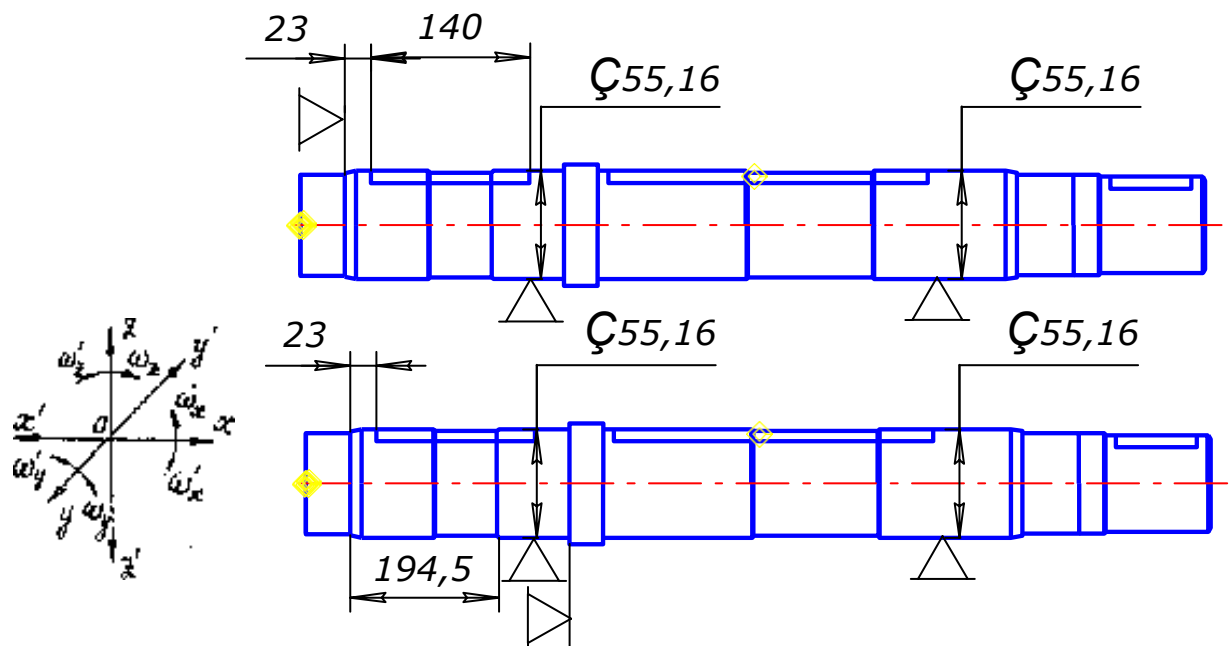


Рисунок 7.1 – Можливі варіанти базування

Для іншого варіанта (рис. 7.1, б) величина похибки базування буде визначатися сумою допусків на два розміри: 23 мм та 194,5 мм, що значно більше, ніж в першому варіанті:  $\epsilon_{\delta 140}=T_{23}+T_{194,5}=0,52+1,15=1,67$  мм

Величину похибки базування для глибини паза не визначаємо, та як вона буде однаковою для обох запропонованих схем.

Враховуючи все вище викладене обираємо перший варіант базування.

										Арк
										52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Параметри точностні поверхонь, які прийняті за базові, було визначено раніше, вони співставні з точністю розмірів тих поверхонь, що оброблюються та забезпечують виконання заданих технічних вимог.

### 7.6 Розробка й обґрунтування схеми закріплення

Для складання схеми закріплення заготовки в пристосування необхідно визначити взаємний вплив поля збуджуючих сил (ПЗС) та поля зрівноважуючих сил (ПВС) в заготовці. Для початку, будуємо графічну модель збуджуючих сил, в умовах прийнятого варіанту схеми базування заготовки в пристосуванні. На рис. 7.2 добре видно, що складові поля збуджуючих сил, не повністю зрівноважені та є потреба в прикладанні додаткових сил закріплення. На рисунках 7.2 та 7.3 видно, що з усіх складових ПЗС лише осьова  $P_x'$  зрівноважується за рахунок реакції  $R_x'$  ( $R_x' = P_x'$ ) (див. табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Таблиця однобічних зв'язків

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega_{x'}$	$\omega_y$	$\omega_{y'}$	$\omega_z$	$\omega_{z'}$
Спосіб реалізації	Реакція	–	R	R	R	–	R	–	–	R	R	R	R
	Сила закріплення												
	Сила тертя												

При використанні прийнятої схеми базування вважаємо за доцільне застосувати важільний механізм закріплення встановленої в призмах заготовки. Створене таким чином силове поле представлено на рис. 7.3.

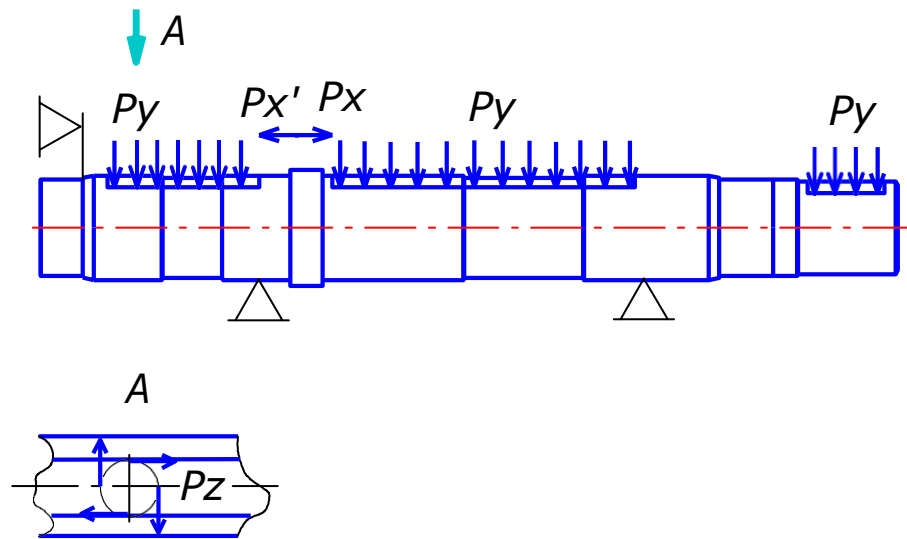


Рисунок 7.2 – Змодельована структура поля збуджуючих сил (ПЗС)

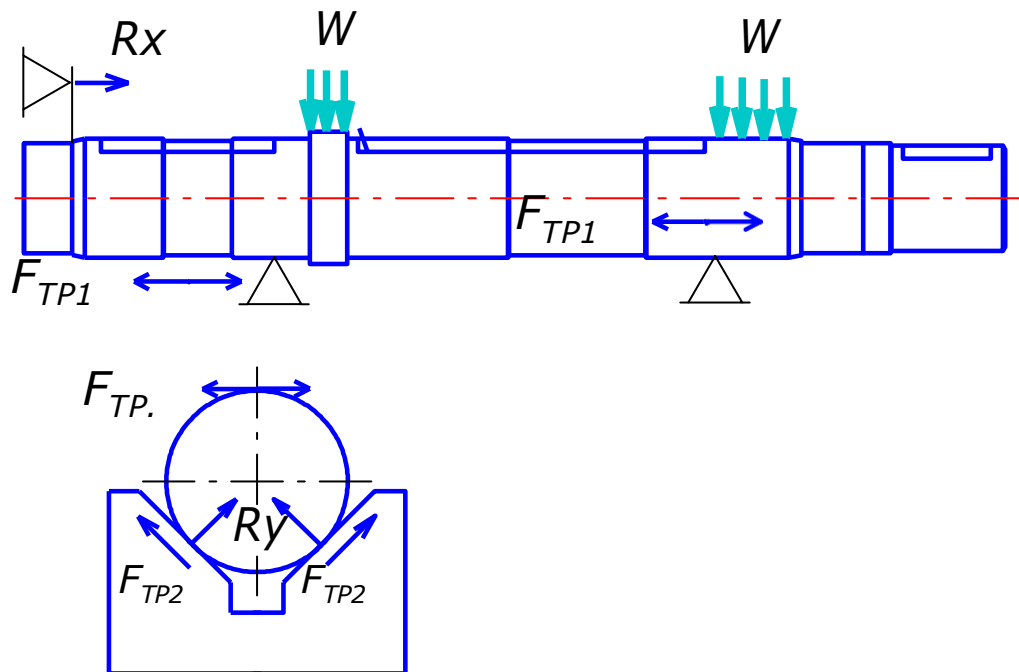


Рисунок 7.3 – Отримана структура поля врівноважуючих сил (ПВС).

До недоліків запропонованого методу закріплення відноситься необхідність задіяння високоенергетичних затискних зусиль. Згенеровані при механічній обробці згенеровані процесом різання потоки силових напружень, призводять до згинання та скручування заготовки. За таких умов не має особливої потреби в забезпеченні однорідності структури силових полів. Так як напрямок дії сили закріплення є паралельним відносно стінок шпонкових пазів,

					Арк	
					ТМ.16510058.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					54	

то можна вважати, що похибка від дії сил закріплення заготовки на ширину паза є нульовою:  $\square_{\text{закр}}=0$ .

Аналізувати структуру і якість зв'язків, які виникнуть під час закріплення заготовки, будемо за допомогою таблиці однобічних зв'язків (див. табл 7.2).

Розрахуємо необхідну величину зусилля закріплення заготовки  $W$ . Умовою розрахунку буде непроворот під дією тангенціальної складової сили різання  $P_z$  та відсутність зсуву заготовки на опорних поверхнях під дією горизонтальної складової сили різання  $P_x$ .

Таблиця 7.2 – Таблиця однобічних зв'язків, що утворилися при закріпленні заготовки

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega_x'$	$\omega_y$	$\omega_y'$	$\omega_z$	$\omega_z'$
Спосіб реалізації	Реакція		R	R	R		R			R	R	R	R
	Сила закріплення			W	W	W				W	W	W	W
	Сила тертя	F(w)						F(w)	F(w)				

Розрахунок величини необхідної сили для закріплення заготовки виконуємо на ПЕОМ за допомогою кафедральної програми "Розрахунок сил закріплення". В результаті отримуємо величину  $W=3749$  Н (див. дод. Б).

### 7.7 Розрахунок пневматичного поршневого приводу

Виконаємо розрахунки необхідного для реалізації сили закріплення зусилля на штоці пневмоциліндра. При цьому враховуємо, що у нас планується використання одночасно 4 циліндрів. Для розрахунку використовуємо формулу:

$$Q_{шт} = \frac{W / 4}{\frac{\ell_1}{\ell_2}} = \frac{3749 \cdot 103,8}{4 \cdot 62,5} = 1582 \text{ Н}, \quad (7.1)$$

де  $l_1, l_2$  – довжина плечей важелів, через які зусилля від штоку передається до кулачка.

Приймаємо діаметр штока пневмоциліндра виходячи з конструктивних міркувань рівним 40 мм. Для визначення сили, яку створює один циліндр користуємося формулою  $F = P \times S$ . Тут сила  $F = Q_{шт} = 1582$  Н, а тиск повітря приймаємо  $P = 630$  кПа. Тоді діаметр поршня можна визначити за формулою:

$$D : \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{шт}}{\pi \cdot P}} + d^2 : \sqrt{\frac{4 \cdot 1582}{3,14159 \cdot 630 \cdot 10^3} + (40 \cdot 10^{-3})^2} : 0,0689 м . \quad (7.2)$$

Приймаємо за стандартним рядом розмірів діаметр поршня рівним 80 мм

### 7.8 Розрахунок параметрів точності пристосування

Розрахунок вимог щодо точності виготовлення окремих елементів пристосування виконується на основі інформації про необхідну точність оброблених на технологічній операції поверхонь.

В нашому випадку найбільш важливою вимогою до точності пристосування є відхилення осі призм від паралельності відносно бокової поверхні направляючої шпонки пристосування. Допуск цієї похибки необхідно розраховувати на базі допуску відхилення від симетричності, який задано конструктором на кресленні деталі.

Припустиме відхилення від паралельності виготовлення елементів пристосування визначаємо за формулою [7]:

$$T_{пр} \leq T_{\equiv 16} - K_T \times \sqrt{\left( \frac{K_{T1} \cdot T_{\sigma 16}}{T_{16}} \right)^2 + T_{Зак}^2 + T_{Вст}^2 + T_{Пер}^2 + T_{ЗІ}^2 + \left( \frac{K_{T2} \cdot T_{\sigma 16}}{T_{16}} \right)^2 + T_{Поз}^2}, \quad (7.3)$$

де  $T_{\sigma 16}$  – величина заданого допуску симетричності для стінок шпонкового пазу,  $T_{\sigma 16} = 100$  мкм;

$K_T = 1,2$  – коефіцієнт, який враховує можливість відхилення від закону нормального розподілу окремих складових,  $K_T = 1,2$ ;

										Арк
										56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$K_{T1}$  – коефіцієнт, який приймають до уваги, якщо похибка базування відрізняється від нуля (в нашому випадку –  $\varepsilon_{\delta 16}=0$ );

$\varepsilon_{\text{зак}}$  – похибка, що виникає при закріпленні заготовки,  $\varepsilon_3=0$ ;

$\varepsilon_{\text{в}}$  – похибка, що виникає при встановленні пристосування на верстат,  
 $\varepsilon_{\text{в}}=30$  мкм;

$\varepsilon_{\text{Пер}}$  – похибка, що виникає при перекосі ріжучого інструмента,  $\varepsilon_{\text{Пер}}=0$ ;

$\varepsilon_{\text{зі}}$  – похибка від зношування установчих елементів пристосування  
 $\varepsilon_i=25$  мкм;

$\omega$  - середня економічна точність обробки  $\omega=43$  мкм [14];

$K_{T2}=0,6$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи погрішності обробки;

$\varepsilon_{\text{поз}}=10$  мкм – похибка позиціонування;

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq 100 - 1,2 \times \sqrt{0_2^2 + 0_2^2 + 30,0_2^2 + 0_2^2 + 25,0_2^2 + (0,6 \times 43,0)^2 + 10,0_2^2} = 42,57 \text{ мкм.}$$

З урахуванням значень стандартного ряду допусків приймаємо  $\varepsilon_{\text{пр}}=40$  мкм.

Призначаємо величину допуск відхилення від непаралельності осі призм від бічної поверхні направляючої шпонки пристосування - не більше 0,04 мм.

### 7.9 Опис будови та принципу дії пристосування

Розроблене верстатне пристосування складається з двох частин. Обидві частини представляють собою основу поз. 8 зі встановленою призмою поз. 9 і закріпленими пневмоциліндрами, поз. 1. Ліва частина має змінну штангу, поз. 13, яка визначає положення заготовки в осьовому напрямку. Обидві частини встановлюються на робочій поверхні стола верстата та центруються по направляючим шпонкам поз. 23. Відстані між призмами визначається габаритами заготовки та розташуванням базових поверхонь. Після встановлення, пристосування підключається до пневмомагістралі через штуцера поз. 2.

Сконструйоване верстатне пристосування працює наступним чином. Заготовка встановлюється в призми поз. 9. Заготовка закріплюється в

									Арк
									57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ТМ.16510058.ПЗ



притосовуванні прихватами поз. 6, які приводяться в дію при подачі стисненого повітря до безштокових порожнин пневмоциліндрів поз. 1. Для розкріплення заготовки після завершення обробки безштокова порожнина пневмоциліндру поз. 1 відкривається, шток під дією пружина разом з поршнем опускаються вниз, а прихват поз. 6 відходить від заготовки.

Розроблене верстатне притосовування є універсальним та може бути використаним для механічної обробки деталей типу «Вал» на широкому спектрі металорізального обладнання.

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## ВИСНОВКИ

При виконанні випускної роботи бакалавра було виконано аналіз службове призначення та умов роботи машини до складу якої входить задана деталь «Вал». Виконано аналіз технічних вимог до конструкції деталі, технологічність її конструкції. Обґрунтовано спосіб виготовлення вихідної заготовки, що було підтверджено на основі техніко-економічних розрахунків.

Розроблені варіанти двох технологічних операцій базового технологічного процесу.

Для підвищення продуктивності праці і ефективності використання основних фондів підприємства запропоновано на найбільш складних і відповідальних операція використати верстати з числовим програмним управлінням. Це дозволяє скоротити трудомісткість технологічних операцій, підвищити якість продукції, що виготовляється.

Було виконано розрахунки режимів різання і технічного нормування. Спроектовано конструкцію механізованого верстатного пристосування для виконання фрезерування шпонкових пазів. Отримано комплект технологічної документації.

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. / А.А.Маталин - Л.: Машиностроение. 1985.-496с.
2. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. 4-е изд., перераб. и доп. / А.Ф.Горбацевич, В.А.Шкред - Минск: Высшая школа, 1983.-256 с.
3. Ковш А.Н. Технология машиностроения. / А. Н. Ковш - М.: Машиностроение, 1987.-320с.
4. Худобин Л.В. Курсовое проектирование по ТМС. / Л. В. Худобин и др. - М.: Машиностроение, 1989.-288с.
5. Руденко П.А. Проектирование технологических процессов в машиностроении. / П. А. Руденко - Киев: Вища школа, 1985.-255с.
6. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т. Т.1 / под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1986.-656с.
7. Бабук В.В. Дипломное проектирование по технологии машиностроения / В. В. Бабук и др. - Минск: Высшая школа. 1979. - 464с.
8. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т. Т.2. / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
9. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.
10. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів із технології машинобудування: у 2 частинах. – Ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 59 с.
11. ГОСТ 2.105-95. Правила оформления документов общего назначения.

										Арк
										60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТМ.16510058.ПЗ

- 12.ГОСТ 3.1107-81. Обозначения условные графические, применяемые в технологических процессах. Опоры и зажимы.
- 13.ГОСТ 2.109-73. Основные требования к чертежам.
- 14.ГОСТ 2.305-68. Изображения – виды, разрезы, сечения.
- 15.ГОСТ 3.1201-85. ЕСТД. Система обозначения технологической документации.
- 16.ГОСТ 7829-70. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах. Припуски и допуски.
- 17.Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. - М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

# ДОДАТКИ

					ТМ.16510058.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

## РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА ДИАМЕТРАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ

Программа - 'prip' ver.7.1

СумГУ. Вычислительный центр факультета ТЕСЕТ

21.04.2020

Расчет выполнен для Титаренко М.О., группа - ТМ-61

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

обрабатываемая поверхность - наружная цилиндрическая  $\phi$  55+0.021  
+0.002

Наименование перехода или операции маршрута обработки поверхности	Обозначение точности	Предельные отклонения, мм	Элементы припуска, мкм				
			шероховатость Rz(i-1)	дефект слой h(i-1)	простр отклон p(i-1)	погрешность базир Еб(i)	закр. Ез(i)
Сталь калиброванная	допуск по h12 ГОСТ 7417-75	0 -0.300	-	-	-	-	-
Точение черновое	квалитет 11	0 -0.190	160	250	315	0	0
Точение чистовое	квалитет 9	0 -0.074	25	50	15.75	0	0
Шлифование	квалитет 6 +0.021 +0.002	+0.021 +0.002	6.3	25	.79	0	0

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Расчетные значения			Принятые значения, мм							
припуск, мкм		расчетный размер, мм	расчетный размер	номинальный размер с предельными отклонениями	предельный размер		припуск, мкм			
мини	расч.				мини-мальный	макси-мальный	миним	расч.	макс.	
-	-	57.35	58	58	0 -0.300	57.7	58	-	-	-
1450	1750	55.532	55.6	55.6	0 -0.190	55.41	55.6	2100	2400	2590
182	372	55.16	55.16	55.16	0 -0.074	55.086	55.16	250	440	514
65	139	55.021	55.021	55	+0.021 +0.002	55.002	55.021	65	139	158

К О Н Е Ц   Р А С Ч Е Т А

**ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

**Явища, які виникають при проходженні електричного струму в землю. Напряга кроку та дотику.**

Стікання струму в землю відбувається тільки через провідник, що знаходиться з нею в безпосередньому контакті. Такий контакт може бути випадковим чи навмисним. В останньому випадку провідник або група з'єднаних між собою провідників, що знаходяться в контакті з землею, називається заземлювачем. Одиночний провідник, що знаходиться в контакті з землею, називається одиночним заземлювачем, або заземлюючим електродом (іноді просто електродом), а заземлювач, що складається з декількох паралельно з'єднаних електродів, називається груповим чи складним заземлювачем. Напрягою відносно землі називається напряга відносно точки землі, що знаходиться поза зоною розтікання струму замикання на землю, тобто точки, потенціал якої може бути умовно прийнятий рівним нулю.

Причинами стікання струму в землю є замикання струмоведучої частини на заземлений корпус електричного устаткування, падіння проводу на землю, використання землі як проводу тощо. У всіх цих випадках відбувається різке зниження потенціалу  $\varphi_3$  (тобто напруги відносно землі) заземленої струмоведучої частини до значення, рівного добутку струму  $I_3$ , що стікає в землю, на опір, який цей струм зустрічає на своєму шляху, тобто на опір заземлювача розтіканню струму  $R_3$  :

$$\varphi_3 = I_3 R_3. \quad (\text{Б.1})$$

Це явище, дуже сприятливе за умовами безпеки, використовують як засіб захисту від ураження струмом з випадковою появою напруги на металевих неструмоведучих частинах, які з цією метою заземлюють. Однак поряд зі зниженням потенціалу заземленої струмоведучої частини, при стіканні струму в землю виникають і негативні явища, а саме поява потенціалів на заземлювачі і металевих частинах, що знаходяться в контакті з ним, а також на поверхні

грунту навколо місця стікання струму в землю. Виникаючі при цьому різниці потенціалів окремих точок кола струму, у тому числі точок на поверхні землі, можуть досягати великих значень і становити небезпеку для людини. Значення потенціалів, їх різниці і характер змін, а отже, і обумовлена ними небезпека ураження людини струмом залежать від багатьох факторів: значення струму, що стікає в землю; конфігурації, розмірів, числа і взаємного розташування електродів, що складають груповий заземлювач; питомого опору ґрунту тощо. Впливаючи на деякі з цих факторів, можна знизити різниці потенціалів, що діють на людину, до безпечних значень. Розглянемо ці фактори більш докладно.

### Стікання струму в землю через поодинокий заземлювач.

Стікання струму в землю супроводжується виникненням потенціалів на заземлювачі та на поверхні землі навколо нього. Розглянемо, від чого залежить величина цих потенціалів та який характер їх розподілу на поверхні землі на прикладі стікання струму в землю через найпростіший заземлювач – півкулю радіусом  $r$ . Через цю півкулю в землю стікає струм з  $I_3$ , який подається на заземлювач за допомогою ізолюваного провідника (рис. Б.1).

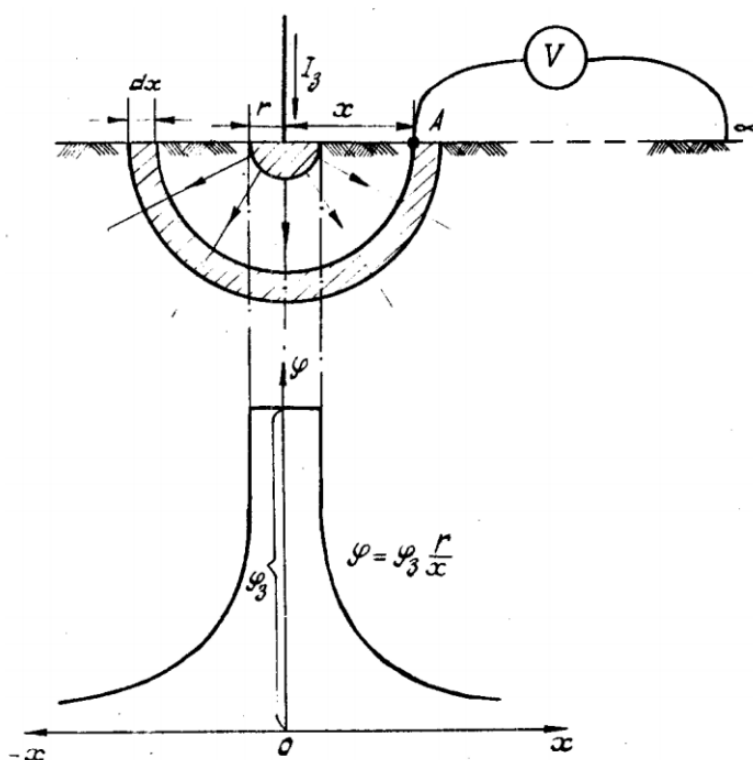


Рисунок Б.1 – Розподіл потенціалу на поверхні землі навколо півкульового заземлювача.



Слід зазначити, що такі заземлювачі в практиці майже не застосовуються. Але вони зручні при викладанні питання, яке розглядається, оскільки при цьому значно спрощуються математичні викладки. Для спрощення будемо вважати, що земля у всьому своєму об'ємі однорідна, тобто має в будь-якій точці однаковий питомий опір  $\rho$ . У цьому випадку струм в землі буде розтікатися від півкулі рівномірно і симетрично в усі боки (по радіусах), і густина його в землі буде зменшуватися з віддаленням від заземлювача (зі збільшенням перерізу шару землі, через який проходить струм). На відстані  $x$  від центра півкулі густина електричного струму складає:

$$j = \frac{I_{\zeta}}{2 \cdot \pi \cdot x^2}. \quad (\text{Б.2})$$

В землі, де проходить струм, виникає так зване поле розтікання струму. Теоретично воно поширюється до безмежності. Проте в реальних умовах уже на відстані 20 м від заземлювача переріз шару землі, через який проходить струм, виявляється настільки великим, що густина струму тут практично дорівнює нулю. При постійному струмі, а також при перемінному струмі частотою 50 Гц поле розтікання можна розглядати як стаціонарне електричне поле, в якому густина електричного струму прямо пропорційна напруженості електричного поля:

$$\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho}. \quad (\text{Б.3})$$

Неважко помітити, що це співвідношення є законом Ома в диференційній формі. При цьому лінії напруженості збігаються з лініями густини електричного струму, які у випадку, що розглядається, збігаються з радіусами заземлювача. Як відомо, напруженість електричного поля дорівнює спаду напруги, віднесеного до одиниці довжини лінії напруженості поля, тобто на одиниці шляху, що збігається з лінією напруженості поля. У даному випадку:

$$E = \frac{dU}{dx}, \quad (\text{Б.4})$$

де  $dU$  – спад напруги в елементарному шарі землі товщиною  $dx$

На основі сказаного легко визначити потенціал будь-якої точки на поверхні землі, наприклад, точки  $A$ , що знаходиться на відстані  $x$  від центра заземлювача. Величина потенціалу дорівнює спаду напруги в ґрунті на ділянці від  $x$  до безмежності:

$$\varphi = \int_x^{\infty} dU, \quad (\text{Б.5})$$

$$\text{де } dU = E \cdot dx = j \cdot \rho \cdot dx = \frac{I_{\epsilon} \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} dx.$$

Розв'язавши цей інтеграл, отримуємо рівняння для потенціалу точки  $A$ , тобто рівняння потенціальної кривої:

$$\varphi = \frac{I_{\epsilon} \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x} 2 \times I_3. \quad (\text{Б.6})$$

Мінімальний потенціал, тобто  $0$ , буде мати точка, що знаходиться від заземлювача на відстані  $x = \infty$ . Практично область нульового потенціалу починається на відстані  $20$  м від заземлювача. Максимальний потенціал буде при найменшому значення  $x$ , яке дорівнює радіусу заземлювача, тобто безпосередньо на заземлювачі.

Отже, потенціал на поверхні землі навколо півкульового заземлювача змінюється за законом гіперболи, зменшуючись від максимального значення з до нуля з віддаленням від заземлювача (рис. Б.1). Очевидно, що для цього випадку екіпотенціальні лінії на поверхні землі являють собою концентричні кола, центром яких є центр заземлювача. В реальних умовах, коли ґрунт навколо заземлювача неоднорідний, екіпотенціальні лінії можуть значно відрізнятись від концентричних кіл, і при віддаленні від заземлювача потенціал буде змінюватись не за гіперболою, а за якоюсь іншою кривою. Застосовуючи аналогічні міркування для заземлювачів будь-якої форми, отримаємо важливий

висновок, а саме: потенціальна крива заземлювача будь-якої форми на відносно великій від нього відстані (у порівнянні з розмірами заземлювача) наближається до потенціальної кривої півкульового заземлювача і описується її рівнянням. Важливо відмітити також і те, що потенціал землі на відстані більше 20 м від заземлювача будь-якої форми, як і у випадку з півкульовим заземлювачем, можна вважати практично рівним нулю.

**Напруга кроку** (рис. Б.2), або крокова напруга, це різниця потенціалів  $\varphi_x$  і  $\varphi_{x+a}$  двох точок на поверхні землі в зоні розходження струму, що знаходяться на відстані кроку  $a = 0,8$  м:

$$U_{кр} = \varphi_x - \varphi_{x+a} = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x} - \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot (x+a)} = \frac{I_3 \cdot \rho \cdot a}{2 \cdot \pi \cdot (x+a)} . \quad (Б.7)$$

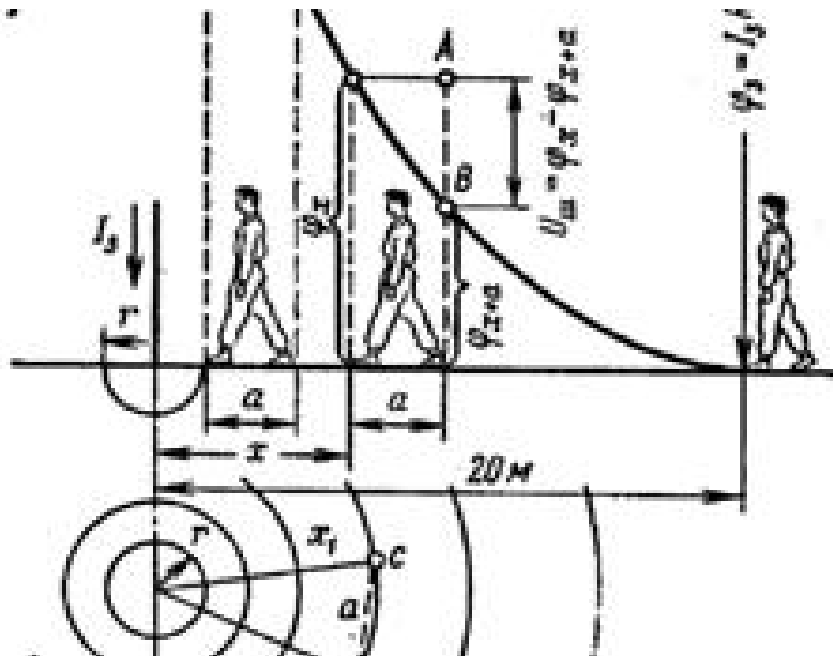


Рисунок Б.2 - Напруга кроку при одиночному заземлювачі

**Напруга дотику** -  $U_{дот}$  (рис. Б.3) характеризується відрізком АВ і залежить від форми кривої і відстані  $X$  між людиною, що торкається до заземленого обладнання, і заземлювачем.

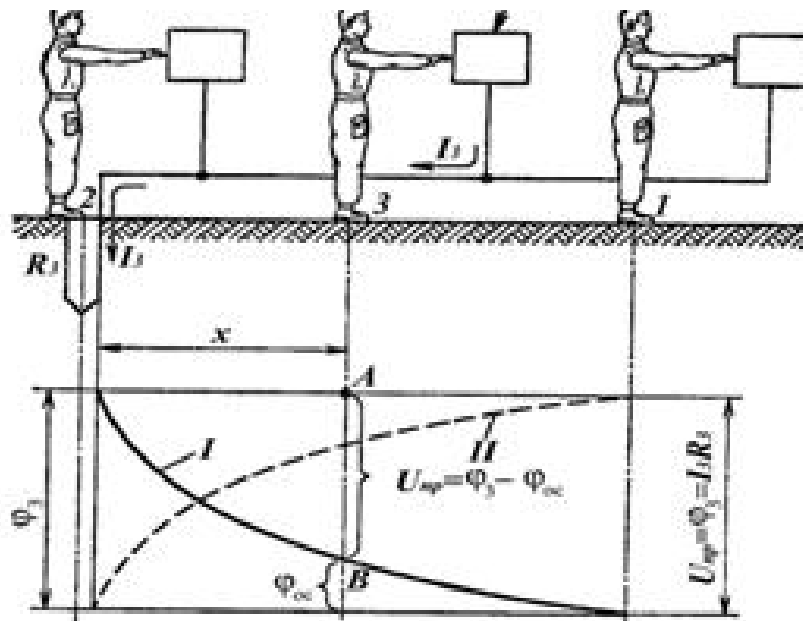


Рисунок Б.3 - Напряга дотику при одиночному заземлювачі: I – крива зниження потенціалу при віддаленні від заземлювача; II – крива, що характеризує зміну напруги дотику  $U_{\text{дот}}$  при зміні відстані від заземлювача,  $X$

Чим далі від заземлювача перебуває людина, тим більше  $U_{\text{дот}}$ , навпаки при  $X=20$  м,  $U_{\text{дот}}=\varphi_3$ . Таке положення найбільш небезпечне. При  $X=0$ , тобто людина стоїть на заземлювачі,  $U_{\text{дот}}=0$ , тобто це безпечний випадок, хоч людина і перебуває під потенціалом  $\varphi_3$ . В решті випадків  $U_{\text{дот}}$  зростає від 0 до  $\varphi_3$ .