

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.О. Залога

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРНІ 117.14.84.08 ШЛЯХОМ  
ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ НА  
СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РОЗТОЧУВАЛЬНІЙ ОПЕРАЦІЇ**

Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
Магістерська кваліфікаційна робота  
Спеціальність *131 Прикладна механіка (Технології машинобудування)*

Студент

В.А. Андрєєв

Керівник

І.М. Дегтярьов

Консультант з охорони праці  
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В.В. Фалько

Нормоконтроль

О.В. Івченко

Суми – 2018

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	6
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації .....	6
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення .....	9
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва .....	12
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....	13
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	18
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі .....	22
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	24
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального .....	24
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки .....	25
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання .....	31
2.5 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення .....	33
2.6 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....	39
2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	41
2.8 Розрахунок режимів різання .....	43
2.9 Технічне нормування операцій.....	51
2.10 Проектування верстатного пристрою .....	53
2.11 Висновки .....	66
РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	67
3.1. Сучасний стан досліджень у галузі проектування та оптимізації конструкцій верстатних пристроїв .....	67
3.2 Важливість верстатних пристроїв у виробничому процесі .....	69
3.3 Методика проведення та виявлення резервів оптимізації верстатних пристроїв .....	71
3.4 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою.....	76

3.5 Модальний аналіз запропонованого верстатного пристрою .....	80
3.6 Гармонічний аналіз запропонованого верстатного пристрою .....	82
3.7 Висновки .....	83
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>85</b>
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів на дільниці з виготовлення деталі «Шестерня» .....	85
4.2 Розрахунок освітленості робочої зони, розрахунок природнього та штучного освітлення.....	91
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	95
4.4 Висновки .....	97
Висновки .....	98
Список джерел посилань.....	100
ДОДАТОК А КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ ШЕСТЕРНЯ .....	104
ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПРИПУСКІВ .....	105
ДОДАТОК В СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ.....	106
ДОДАТОК Г ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ШЕСТЕРНЯ.....	108

Сумський державний університет  
**Кафедра технології машинобудування,  
 верстатів та інструментів**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасне машинобудівне виробництво характеризується багатомономенклатурністю виробів і нестабільністю обсягів випуску продукції. Машинобудування, що поставляє нову техніку у всі галузі народного господарства, визначає технічний прогрес країни і робить вирішальний вплив на створення матеріальної бази нового суспільства, тому необхідно для збереження конкурентоздатності підприємства максимально знижувати собівартість виготовлення продукції.

Верстатні пристрої відіграють важливу роль у виробництві якісної та конкурентоспроможної продукції, особливо в умовах багатомономенклатурного виробництва, яке вимагає швидкого переоснащення при переході до обробки деталей іншої номенклатури.

Проблемою верстатних пристроїв, що проектуються без оптимізаційних розрахунків є надмірна їх металомісткість. Тому в останній час сучасні виробництва впроваджують гнучкі верстатні пристрої, які забезпечують переналадження на інший типорозмір деталей і мають достатню жорсткість при мінімально можливій масі. Впровадження будь-якого верстатного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності та якості поверхонь, заданих конструктором на кресленнях деталей, що можуть бути оброблені у ньому, а отже оптимізація конструкції верстатного пристрою являє собою актуальну наукову й практичну задачу.

**Метою дослідження** є удосконалення процесу виготовлення шестерні 117.14.84.08 шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою на свердлильно-фрезерно-розточувальній операції.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення шестерні.

**Предмет дослідження** – верстатний пристрій для виготовлення шестерні.

**Методи дослідження.** Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування та проектування прогресивних технологічних процесів із використанням верстатів із ЧПК, різальних інструментів зі змінними

непереточувними пластинами, а також прогресивного технологічного оснащення. У для реалізації завдань графічної частини кваліфікаційної роботи використовувалось програмне середовище КОМПАС – 3D, а для оптимізації конструкції верстатного пристрою пакет ANSYS.

**Наукова новизна:** удосконалена методика проведення та виявлення резервів оптимізації компонувань верстатних пристроїв на прикладі обробки деталі «Шестерня» з метою визначення оптимальних параметрів елементів верстатного пристрою на свердлильній операції, при яких забезпечується необхідна точність обробки та достатня жорсткість системи «ВП – заготовка». На основі досліджень напружено-деформованого стану, модального та гармонічного аналізу конструкції верстатного пристрою виявлено оптимальні параметри кожного з елементів запропонованої конструкції верстатного пристрою для механічної обробки запропонованої деталі.

**Практичне значення отриманих результатів** для машинобудівної галузі полягає в обґрунтуванні застосування удосконаленої методики оптимізації конструкції системи «верстатний пристрій – заготовка» за допомогою розрахункового комплексу ANSYS.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Не має.

**Публікації.** Не має.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 108 сторінок, у тому числі 23 рисунки, 18 таблиць, бібліографії із 41 джерела на п'яти сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації

Деталь «Шестерня» 117.14.84.08, що запропонована для кваліфікаційної роботи магістра є однією з найважливіших деталей редуктора пересування мостового крана 15 ТС. Кран мостовий має широку сферу застосування — він призначений для підйому і переміщення вантажу в приміщенні або під навісом.

Розглянемо механізм пересування крана, який представляє собою двохступінчастий редуктор моделі Р50. Редуктор – самостійний вузол, що встановлюється між електродвигуном і машиною (механізмом). З їх валами редуктор з'єднується за допомогою муфт. Підймальні машини, вентилятори, конвеєри, верстат-качалки та ін. – комплектуються редукторами різних типорозмірів. Загальний вигляд редуктора представлено на рисунку 1.1.

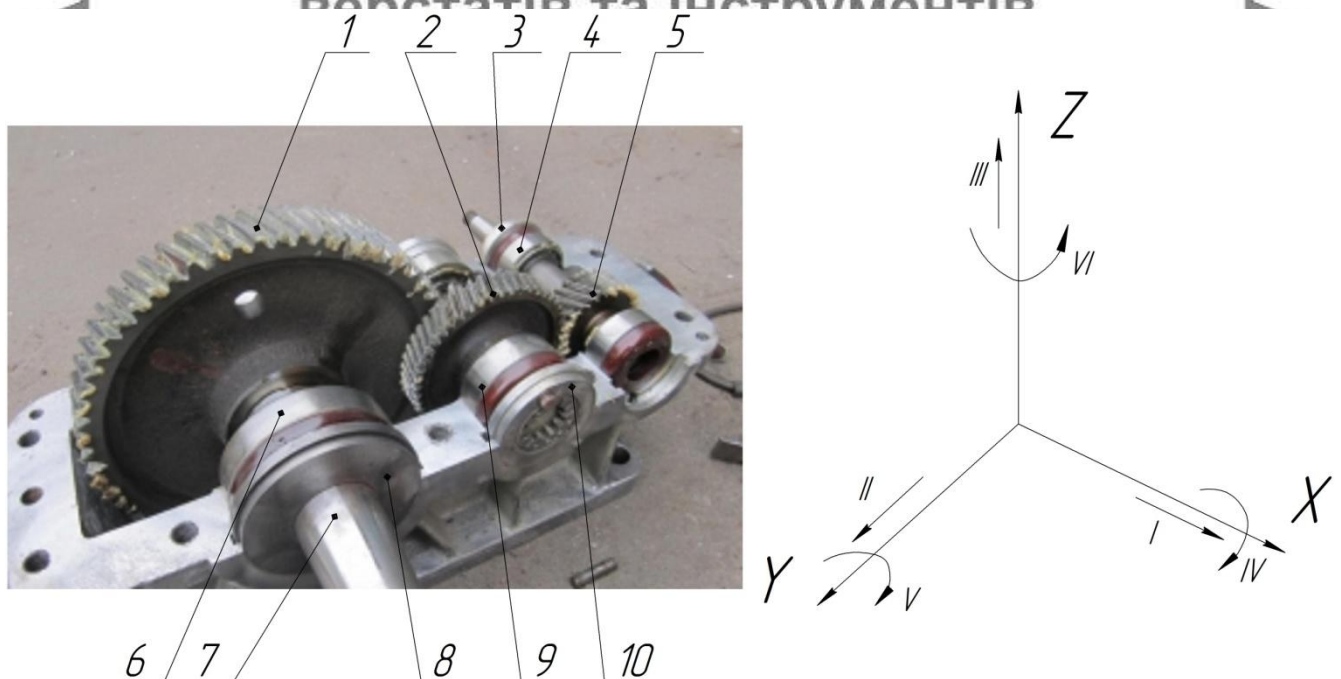


Рисунок 1.1 – Редуктор двохступінчастий Р50

- 1, 2 – зубчасті колеса; 3, 8, 10 – кришки підшипників;  
4, 6, 9 – підшипники кочення; 5 – вал-шестерня; 7 – вал вихідний

Деталь «Шестерня», що входить у вузол «Редуктор Р50» призначена для передачі крутного моменту з ведучого валу на вихідний вал, при цьому за рахунок того, що кількість зубів даного колеса більша ніж кількість зубів шестерні  $z_k=82$  та  $z_{ш}=20$  відповідно то при цьому момент збільшується у 4,1 рази, а кутова швидкість навпаки зменшується у 4,1 рази. Базування деталі відбувається на вихідному валу по посадці  $\text{Ø}80\text{H}7/\text{r}6$  (посадка з натягом), для кращого центрування та можливості уникнення биття, що могло бути додатково викликано, якби посадка була б з зазором. Також деталь упирається одним торцем у буртик вала, а інший торець підтискається дистанційним кільцем. Шпонка, що мається у з'єднанні вала та колеса забезпечує у купі з посадкою з натягом передачу крутного моменту. Складемо таблицю відповідностей та матрицю зв'язків згідно системи координат на рис. 1.1.

Таблиця 1.1– Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1,2,3	I, V, VI	УБ
5	II, III	ПОБ
6	IV	ОБ

Таблиця 1.2 – Матриця зв'язків

База		X	Y	Z
УБ	L	1	0	0
	$\alpha$	0	1	1
ПОБ	L	0	1	1
	$\alpha$	0	0	0
ОБ	L	0	0	0
	$\alpha$	1	0	0

Проаналізувавши матриці можна сказати про те, що деталь у вузлі буде позбавлена всіх шести степенів вільності,  $\Sigma = 3+2+1=6$  степенів.

На деталі «Шестерня» можна виділити такі поверхні (рис. 1.2).

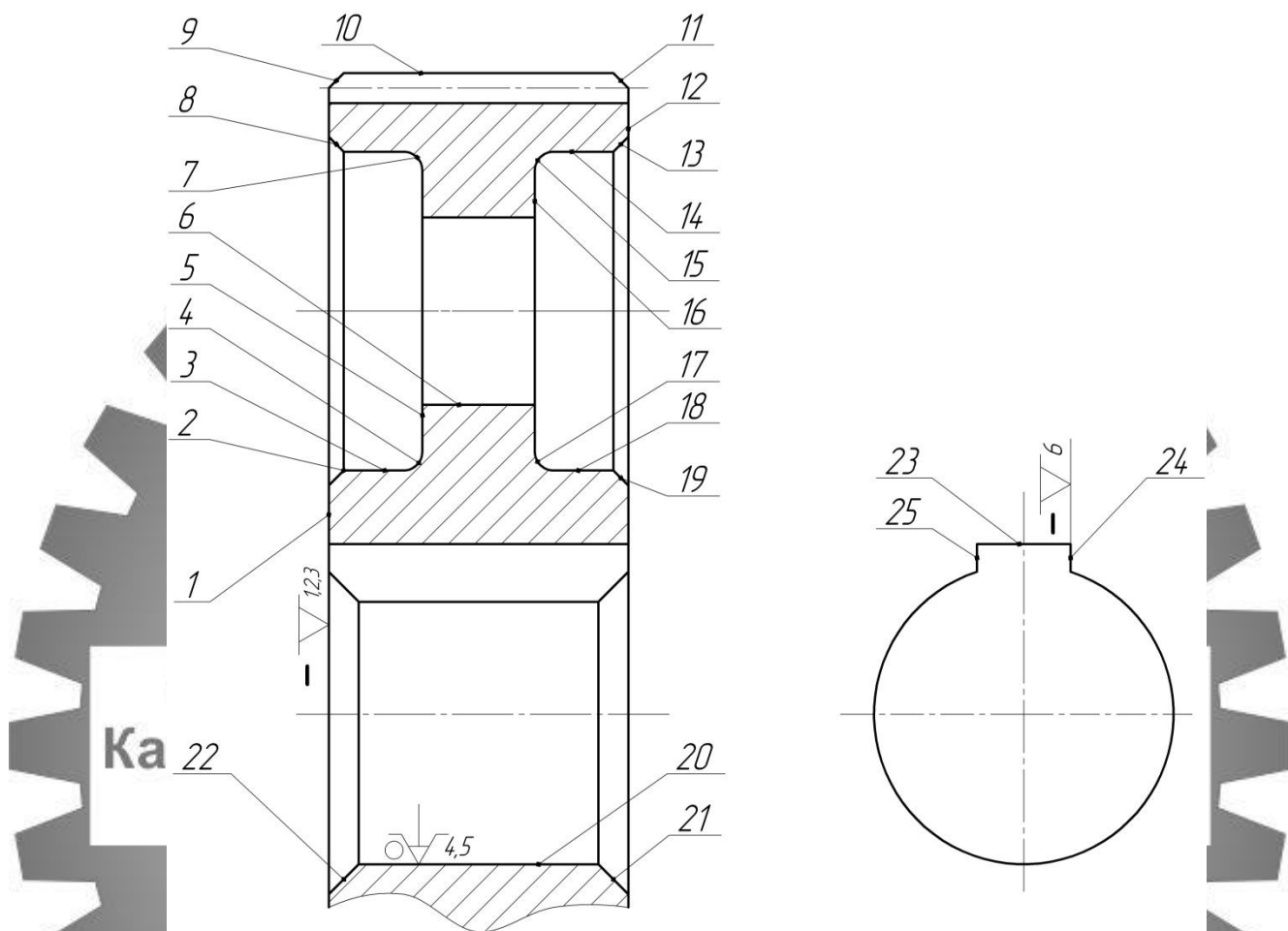


Рисунок 1.2 – Нумерація поверхонь деталі «Шестерня»

Таблиця 1.3 – Призначення поверхонь деталі

№ пов.	База	Характеристика, призначення поверхні
1	ОКБ	По даній поверхні деталь базується в осьовому напрямку
20	ОКБ	По даній поверхні деталь центрується на валу (посадка)
23,24,25	ДКБ	По даній поверхні у деталі базується шпонка
10	ДКБ	Зубці призначені для передачі крутного моменту
6	ВП	6 отворів призначені для зменшення маси
2,3,4,5,7,8,9, 13,14,15,16, 17,18,19,21,22	ВП	Усі вказані поверхні призначені для зменшення маси, притуплення кромки (фаски) та окреслюють габарити деталі



Вільні поверхні обробляють відповідно технічним вимогам на деталь, допуски на дану категорію розмірів призначаються за 14 квалітетом точності.

Умови експлуатації.

Деталь «Шестерня» при роботі в вузлі відчуває ударні і циклічні навантаження, які виникають у момент руху крана. Навантаження сприймають зубці колеса та поверхні шпонкового паза, що працюють на зминання та зріз.

Деталь при роботі знаходиться у маслі, що полегшує контактний тиск на поверхні зубців та зменшує зношування частин колеса.

Деталь і виріб, також як кран в цілому експлуатується в помірних умовах в діапазоні температур від  $-25$  до  $+35$  °С.

Сама деталь і виріб при роботі створюють шум на рівні 60-70 Дб.

## **1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення**

Дана деталь «Шестерня» відноситься до деталей типу дисків, так як відношення  $l/d < 1$  ( $80/341 < 1$ ). Деталь сама по собі є жорсткою, так як має досить велику товщину стінок в районі поверхонь закріплення, тобто не буде деформуватися під дією сил закріплення (наприклад, в трикулачні патроні). Внаслідок того, що деталь жорстка можна використовувати більш інтенсивні режими обробки на чорнових операціях.

Матеріал деталі «Шестерня» - легована сталь марки 40Х, що містить у своєму складі 0,4% вуглецю, 1% хрому, а інше – залізо. Матеріали замітники – сталь 45, сталь 50, сталь 50Г2, дані про фізико-механічні властивості яких наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Фізико-механічні властивості сталі 40Х та її заміників

Матеріал	$\sigma_b$ , МПа	$\Psi$ , %	Твердість НВ	Хімічний склад, %					
				C	Si	Mn	Cr	P	S
Сталь 40Х	610	45	163-168	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	дуже мала доля	
Сталь 45	640	40	170-179	0,42-0,50	0,17-0,37	0,5-0,8	<0,25		
Сталь 50	640	40	196-202	0,47-0,55	0,17-0,37	0,5-0,8	<0,25		
Сталь 50Г2	630	35	167-207	0,46-0,55	0,17-0,37	1,4-1,8	<0,25		

Даний матеріал був обраний конструктором не випадково, а закономірно, так як деталь в процесі роботи повинна забезпечувати умови міцності та безвідмовності у продовж певного часу, тому сталь 40Х є гарним вибором. Хоча вона і дорожча ніж сталь 45, проте для подібних деталей її застосування з точки зору нормальної і безвідмовної роботи всього редуктора необхідно. До того ж сталь 40Х краще обробляється різанням.

На кресленні деталі є точні поверхні з високим вимогою до шорсткості і допусками розташування. Поверхня  $\varnothing 80H7$  має малий допуск і шорсткість за критерієм Ra 2,5 мкм тому, що дана поверхня є основною конструкторською базою для деталі і допуск посадки, а отже і зазор, який впливає на точність центрування повинні бути якомога менше, тому 7-й квалітет поверхні і шорсткість за критерієм Ra 2,5 мкм цілком обгрунтовані конструктором. Поверхня зубчастого вінця  $\varnothing 341,894 (0; -0,089)$  має такий допуск (0,089 мм), шорсткість за критерієм Ra 5 мкм, а також допуск радіального биття 0,045 мм щодо бази А (поверхні  $\varnothing 80H7$ ) тому що ця поверхня є допоміжною конструкторської базою деталі з якою контактує деталь шестерня ведучого вала, тобто можна говорити, що дані вимоги до цієї поверхні обгрунтовані конструктором.

На кресленні також є торцева поверхня, яка характеризується розміром 80 мм з шорсткість за критерієм Rz 20 мкм і допуском торцевого биття 0,045 мм

щодо бази щодо бази А. Ця поверхня вирізняється з-поміж інших торцевих поверхонь такими особливими вимогами, тому що цей торець - основна конструкторська база вузла. З цього торця відбувається контакт деталі з торцем вала, тому велике биття тут неприпустимо, так як це може привести до розбалансування та нерівномірного зношування зубців. Проте можна було б дати вимогу щодо шорсткості по критерію Ra, що відповідає 3,2 мкм.

Решта поверхонь є вільними, тобто виготовляються з допуском 14-го квалітету.

На кресленні були виявлені розміри з невказаними полями допусків, а лише з відхиленнями. Це відхилення розміру поверхні  $\varnothing 341,894$  (0; -0,089), яке то таблицями допусків і посадок відповідає граничному відхиленню h8, тому віднесемо це до зауважень конструктору.

Згідно з технічними вимогами, які вказані на кресленні деталі «Шестерня» деталь повинна виготовлятися з поковки другої групи

Гр. III зі сталі 40X, твердістю до 223...262 НВ по ГОСТ 8479-70, До поковки третьої групи пред'являються більш жорсткі вимоги до контролю на заготівельній операції, (найменші вимоги пред'являються до поковки першої групи, які використовуються в основному для маловідповідальних деталей). Згідно

ГОСТ 8479-70 до поковки третьої групи: контроль твердості 100% поковок. Поковки повинні бути однієї марки сталі спільно пройшли термічну обробку за однаковим режимом. Дані вимоги до груп поковок поставлені конструктором обґрунтовані тим, що деталь працює в редукторі і вихід з ладу деталі призведе до поломки агрегату.

Також у вимогах ставиться допуск на перекосяк шпонкового пазу у межах половини допуску на ширину. Це є важливим для забезпечення правильного складання виробу.

Третім пунктом в технічних вимогах повинно було б бути зазначено, що не вказані граничні відхилення розмірів на кресленні деталі необхідно обробляти з точністю 14-го квалітету. Всі отвори або охоплюють поверхні з полем допуску

H14, все вали або охоплюються поверхні з полем допуску h14, а все лінійні розміри з допуском 14-го квалітету і полем допуску симетричним в обидві сторони щодо номінального розміру, таким чином спростилося би креслення.

В цілому ж креслення виконане з усіма вимогами ЄСКД, за винятком деяких неточностей зазначених вище. На кресленні досить видів і розрізів для подання форми деталі і можливості її виготовлення, також вказані всі розміри.

### **1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва**

Тип виробництва за ГОСТ 3.1108 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о.}$ , який показує відношення всіх різних технологічних операцій, що виконуються або підлягають виконанню підрозділом протягом місяця, до числа робочих місць.

Так як у завданні вказано тип виробництва дрібносерійний, то вибираємо форму організації робіт – групову.

Ця форма організації робіт характерна для дрібносерійного і среднесерійного типів виробництва. Заготовки обробляються невеликими партіями, час обробки не погодили.

Дрібносерійне виробництво, яке є підвидом (нижчою формою) серійного виробництва, яке в свою чергу є основним типом сучасного машинобудівного виробництва, а підприємства цього типу випускають в даний час 70% всієї продукції машинобудування країни. Це виробництво характеризується такими показниками, а саме, заготовки, що застосовуються в дрібносерійному виробництві в основному кування і лиття в піщано-глинисті форми (рідко точне лиття і штампування). Устаткування використовується універсальне і спеціалізоване. В основному використовують універсальні верстати, також широко використовуються верстати з ЧПК. У дрібносерійному виробництві застосовується групова форма організації виробництва. Устаткування розставляються по технологічним групам з урахуванням положення України цеху. Ріжучий інструмент застосовують як стандартний,

так і спеціальний, який використовується в разі неможливості обробки стандартним інструментом різних поверхонь великої номенклатури та різної конструкції деталей. Мірятьний інструмент також застосовують як стандартний, так і спеціально виготовлений на замовлення в інструментальному цеху підприємства. Переважно застосовують шкальний інструмент в деяких випадках шаблони і калібри.

Середня кваліфікація робітників вище, ніж в масовому виробництві, але нижче ніж в одиничному. Поряд з робітниками високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах, а також налагоджують використовуються робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах.

#### **1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі**

Оцінка технологічності деталі «Шестерня» за якісними показниками включає в себе:

- оцінка по технологічності матеріалу, з якого виготовлена деталь. Дана деталь виготовлена зі сталі марки 40Х ГОСТ 4543-71, хімічний склад наведено вище в пункті 1.2. Матеріалом заміником для цієї сталі є сталь 45 ГОСТ 1050-88, яка близька до вихідного матеріалу за хімічним складом і фізико-механічними властивостями.

Вартість даного матеріалу невисока, так як сталь легована лише 1% хрому. Даний матеріал не є дефіцитним, що добре для постатчальників.

Дана сталь легована хромом, а тому краще піддається обробці різанням ніж наприклад сталь 45.. Змінити матеріал на більш міцний і більш легкий не представляється можливим, так як це призведе до необґрунтованого збільшення собівартості або до того, що деталь не зможе виконувати свої функції у виробі. Так як матеріал деталі недорогий і добре обробляється різанням, то можна зробити висновок, що за цим показником вона технологічна.

- оцінка по технологічності геометричної форми поверхонь.

На деталі все поверхні прості, які можна обробити як стандартним так і нескладним спеціальним інструментом. На кресленні є такі нетехнологічні констру-

ктивні елементи як отвори великого діаметру та зубчатий вінець з нахиленими під кутом зубцями. Також нетехнологічним елементом є паз.

Також до нетехнологічних елементів можна віднести радіуси R5, які хоча і є вільними розмірами, але дещо ускладнюють процес обробки.

Отже по геометричним формам поверхонь деталь є технологічною.

- оцінка технологічності по можливості зміни форми деталі, яка дозволяла б вибрати найвигідніший розкрій матеріалу і можливості використання відходів для виготовлення інших деталей.

За цим показником деталь є нетехнологічною, так як абсолютно всі поверхні на деталі обробляються, а отже збільшити кількість поверхонь, які не обробляються або зробити якісь поверхні необроблюваних ми не можемо виходячи зі службового призначення деталі і тих розмірів і тієї точності, які задав конструктор на кресленні.

Заготовку для даної деталі можна отримувати двома методами, а саме вільним куванням на молотах або штампуванням на КТШП (виходячи з конфігурації деталі). В обох випадках заготовка має прошитий отвір, отже використовувати шматок заготовки з отвору, який вийшов би під час свердління свердлами для кільцевого свердління, неможливо. Все що буде залишатися після обробки цієї заготовки це стружка, яка надалі піде на переплавку. Отже за даним показником деталь нетехнологічна.

- оцінка технологічності конструкції по простановці розмірів.

Базовою інформацією для оцінки технологічності конструкції по даному пункту є креслення деталі «Шестерня». В цілому по простановці розмірів деталь технологічна, однак є певні застереження, а саме простановка діаметру міжцентрової відстані 6 отворів діаметром 50 мм з допуском  $\pm 2,3$  мм, що при відхиленні у такому діапазоні може призвести до деякого дисбалансу, хоча колесо і знаходиться на тихохідному валу, що обертається з невеликою кутовою швидкістю.

Також на кресленні є точні «класні» розміри:  $\varnothing 80H7$ ,  $\varnothing 344,894h8$ . Ці розміри, особливо перший вимагає трьох - чотирьох стадій обробки замість однієї - двох, що робить деталь нетехнологічною.

Також на кресленні є допуски розташування, а саме допуски радіального і торцевого биття  $0,045\text{мм}$ . Витримування цих допусків також несе додаткову трудомісткість в обробку, що нетехнологічно.

У технічних вимогах зазначено, що заготовка для деталі повинна виготовлятися за вимогами III-ї групи поковок, тобто ці поковки необхідно піддавати повному контролю твердості, що збільшує вартість деталі в порівнянні з I-ю групою поковок, які не підлягають контролю. Але в той же час конструктор не поставив в технічних вимогах виготовляти поковки IV-ї або V-ї групи, які піддаються 100% - му контролю та випробуванням на міцність характеристики, зразки для яких необхідно передбачити при отриманні заготовки, що призведе до зайвої маси, зменшення коефіцієнта використання матеріалу, а отже і до збільшення вартості деталі, що є нетехнологічним. Можна зробити висновок, що конструктор проставив III групу поковок грамотно і сходяться з службового призначення деталі і виробу. В цілому вимога креслення виготовляти деталь з III-ї групи поковок вважаємо технологічним.

- оцінка технологічності по правильності обґрунтування прийнятих значень граничних відхилень.

Дана оцінка проведена в аналізі технічних вимог докладно з усіма обґрунтуваннями в пункті 2. На основі цього можна зробити висновок, що деталь технологічна по даному показнику.

- оцінка по технологічності заготовки.

В умовах дрібносерійного виробництва способами отримання заготовки виходячи з технічних вимог креслення деталі можуть бути або поковка штампована на КГШП або поковка кована на молотах. Поковка штампована на КГШП має невеликі припуски і за формою нагадує форму майбутньої деталі, тому обробка різанням при знятті невеликих припусків може бути зменшена. Поковка, що отри-

мується вільним куванням на молотах має великі припуски і напуски (наприклад, на поверхню  $\varnothing 341$ ), це в свою чергу веде до збільшення маси, а отже і істотного збільшення вартості заготовки. Отримання поковки на молотах виконується універсальними інструментами, робочими високої кваліфікації (4-6 розряди), що також збільшує собівартість, а отримання поковок на КГШП може виконуватися робітниками 1-го або 2-го розрядів.

Єдиним мінусом отримання поковки на КГШП є висока вартість виготовлення спеціального штампа для отримання заготовки, але техніко-економічне обґрунтування методу отримання заготовки буде проводитися в наступному етапі курсового проекту.

За умови забезпечення технологічності подальшої механічної обробки більш раціональним є отримання заготовки на КГШП.

Деталь є жорсткою, так як відношення  $l / d < 1$  ( $80/341 < 1$ ) (більш докладно в пункті 2). Деталь можна обробляти в універсальних пристроях, але це веде до збільшення трудомісткості налагодження, тому на деяких операціях застосуємо спеціальні пристосування. Доступ ріжучого інструменту при обробці на одношпиндельних верстатах одним інструментом при послідовній схемі обробці необмежений. При обробці комбінованими інструментами, а також обробці декількома інструментами декількох поверхонь можуть виникнути проблеми.

В цілому ж конструкція деталі технологічна і більшого вдосконалення, ніж це зробив конструктор без шкоди для службового призначення деталі і виробу, на даному етапі розвитку науки і техніки запропонувати неможливо.

Кількісний аналіз технологічності деталі.

Визначення коефіцієнта використання матеріалу:

$$K_{им} = \frac{M}{M_3}, \quad (1.1)$$

де  $M$  – маса готової деталі,  $M = 28$  кг

$M_3$  – маса заготовки,  $M_3 = 44,8$  кг



$$M_3 = M \cdot K_p = 28 \cdot 1,6 = 44,8 \text{ кг} \quad (1.2)$$

$$K_{IM} = \frac{28}{44,8} = 0,625$$

Визначення рівня технологічності конструкції по використанню матеріалу:

$$K_{ym} = \frac{K_{б IM}}{K_{IM}}, \quad (1.3)$$

де  $K_{б IM}$  – базовий коефіцієнт використання матеріалу,  $K_{б IM} = 0,25$  (за даними підприємства, на якому виготовлялася деталь);

$$K_{ym} = \frac{0,25}{0,4} = 0,625.$$

Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів

Визначаємо коефіцієнт точності обробки:

$$K_m = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T \cdot n_i} \quad (1.4)$$

де  $\sum n_i$  – число розмірів відповідного класу точності;

$T$  – клас точності обробки.

$$\sum n_i = 1 + 1 + 1 + 5 + 1 = 9.$$

$$\sum T \cdot n_i = 7 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 14 \cdot 5 + 16 \cdot 1 = 110.$$

$$K_m = 1 - \frac{9}{110} = 0,91 > 0,8.$$

За цим показником деталь технологічна.

Визначаємо коефіцієнт шорсткості:

$$K_u = \frac{1}{\sum \text{Ш}_{cp}} = \frac{\sum n_{im}}{\sum \text{Ш} \cdot n_{im}}, \quad (1.5)$$

де  $\sum n_{im}$  – число поверхонь відповідного класу шорсткості

$$\sum \text{Ш} \cdot n_{im} = 0,8 \cdot 4 + 1,6 \cdot 2 + 6,3 \cdot 10 = 69,4.$$

$$K_u = \frac{16}{69,4} = 0,23 < 0,32.$$

За цим показником деталь технологічна.

### 1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Аналіз будемо проводити на підставі базового технологічного процесу. У цьому технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу.

На першій технологічній операції проводиться обробка поверхонь, які на подальших операціях будуть прийняті за базові (чистові).

Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Шестерня»

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	Пароповітряний молот
010	Токарно - гвинторізна	16К20
015	Токарно - гвинторізна	16К20

020	Радіально - свердлильна	2Л53У
025	Довбальна	7Д54
030	Зубофрезерна	5К32
035	Слюсарна	Верстак слюсарний
040	Технічний контроль	Стіл ОТК

Технологічний процес виготовлення деталі «Шестерня» в заводському варіанті виконаний як маршрутний, що відповідає одиничному типу виробництва. Він містить 8 операцій, з яких 5 операцій механічної обробки, решта – контрольні, слюсарні та заготівельна.

Аналізуючи заводський технологічний процес можна сказати, що операції обробки обрані вірно. Але є дрібні недоліки, які можливо викликані додатковими вимогами конструктора.

За нинішніх умов і конкуренції на ринку потрібно максимально використувати більш сучасні верстати, які дозволяли б обробляти деталь при високих швидкостях різання, були б жорсткими по конструкції і давали б необхідну точність. Цим вимогам відповідають верстати нових моделей з ЧПК, як наприклад 16P20Ф3. У маршрутному технологічному процесі не вказані способи базування і закріплення заготовки, на яких виконуються операційні розміри, докладно не розписаний ріжучий інструмент і вимірювальний інструмент. В даний час обраний застарілий інструмент (з напайними пластинами), що не дозволяє обробляти деталь на більш прогресивних режимах різання з використанням обладнання з ЧПК. Інструмент треба замінити на: різці з неперетачуваними багатограними пластинами з твердого сплаву, а також використовувати для обробки твердосплавні свердла і фрези замість інструменту зі швидкоріжучої сталі, які дозволяють проводити обробку в 3-4 рази швидше в порівнянні з інструментом з швидкоріжучої сталі.

Вимірювальний інструмент використовуються застарілих конструкцій або безшкальні. Здійснювати вимірювання скобами і калібрами досить швидко і точно, але дорого для даного типу виробництва. Потрібно проектувати нові вимірювальні пристрої, що були б більш дешевші, ніж скоби, але більш точні при вимірюван-

ні і відрізнялися б своєю універсальністю.

Режими різання обрані і розраховані правильно. Але через те, що обладнання та матеріали ріжучих інструментів на виробництві використовуються застарілі, то це ці режими недоцільно застосовувати для сучасних верстатів, так як ці верстати дозволяють працювати на більш прогресивних і форсованих режимах. При зміні цих недоліків можна буде підвищити режими різання до оптимальних. Отже, скоротити час обробки і підвищити точність виготовлення деталей.

Сучасні верстати з програмним управлінням поєднують точність спеціалізованих верстатів і мають більш високу продуктивність, ніж верстати загального призначення, що вироблялися раніше (в 2...5 разів). Область застосування верстатів з програмним керуванням досить широка як за характером технологічних операцій, так і за типами виробництв, для яких вони призначаються. За останньою ознакою створені й успішно використовуються верстати з програмним управлінням як для одиничного і дрібносерійного, так і для великосерійного і масового виробництва.

До основних умов доцільності застосування верстатів з програмним керуванням можна віднести наступне:

- обробку отворів складної геометричної форми, що вимагають застосування декількох послідовно працюючих інструментів, а також обробку груп отворів на свердлильних і розточувальних верстатах. Ці види обробки можуть бути виконані на верстатах з програмним керуванням без виготовлення спеціального оснащення (кондукторів, копирів і ін.), які зазвичай застосовуються на універсальних верстатах;

- необхідність побудови процесу за принципом концентрації операцій, тобто зосередження найбільшої кількості однотипних видів обробки на одному місці;

- необхідність зменшення частки допоміжного часу, який витрачається в розглянутій операції на прийоми, пов'язані зі зміною режимів різання, переходом з обробки однієї поверхні на іншу, зміною ріжучого інструменту та іншого,

що зазвичай має місце при послідовній обробці декількох поверхонь на універсальних верстатах;

- обробку кількох аналогічних деталей на одному верстаті, що має місце в умовах серійного виробництва. В цьому випадку застосуванням верстатів з ЧПК можна скоротити час на переналагодження обладнання;

- можливість скорочення числа операторів впровадженням багатOVER-татного обслуговування.

Порівнявши маршрутний технологічний процес з типовим технологічним процесом на однотипні деталі ми не знаходимо істотних відмінностей. Тому зміну порядку технологічних операцій можна вважати недоцільним. Але, розглядаючи рівень прогресивності методів обробки, ми бачимо, що вони не досить продуктивні.

Аналізуючи технологічний процес можна рекомендувати використовувати на токарній операції сучасні верстати з ЧПК наприклад 16P20Ф3, більш придатних за технічними характеристиками при обробці заданої деталі, ніж верстати 16K30Ф3, що дозволить значно скоротити час на обробку та збільшити точність обробки.

Аналіз вимірювального інструмента, яким проводиться контроль точності обробки, показав, що деякі параметри, такі як радіальне биття отворів, в базовому технологічному процесі не контролюються. Виходячи з цього необхідно розробити контрольно-вимірювальне пристосування для контролю радіального биття отворів.

Проводячи аналіз рівня механізації і автоматизації технологічного процесу можна зробити висновок, що в ньому практично не використовується пристрої.

Виходячи з цього, рекомендується розробити кілька пристроїв. Зокрема можна розробити пристрій для кріплення деталі на обробному центрі з ЧПК операцію з пневматичним затискачем, також можна розробити пневматичний пристрій для затиску деталі на свердлильній з ЧПК операції.

## 1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Якість виготовлення деталі у великій мірі залежить від правильності встановлення та закріплення заготовки на верстаті. Установка складається з базування, тобто орієнтації заготовки щодо виконавчих органів верстата, інструменту або траєкторії його переміщення, і закріплення, тобто докладання зусиль до заготовки для фіксації положення заготовки, досягнутого при базуванні.

Поверхня, використувувана для базування, повинна відповідати таким вимогам:

- великі розміри, геометрично правильна форма;
- низька шорсткість поверхні (без задирів, напливів, буртів, залишків ливникової системи і т.д.);
- безпосередній розмірний зв'язок з оброблюваною поверхнею, близьке розташування до оброблюваної поверхні;
- відсутність значущих деформацій і низької жорсткості базових поверхонь;
- використання принципу сталості баз;
- можливість простого і зручного закріплення заготовки.

У технології існує безліч технологічних способів обробки, які забезпечують приблизно однакові параметри одержуваних поверхонь, але відрізняються за собівартістю реалізації і тому раціональні у різних типах виробництва.

Виходячи з цього, одну і ту ж елементарну поверхню можна реалізувати деякою безліччю послідовно використаних технологічних способів, за якими і складаються різні маршрути обробки даної поверхні.

Так як кожен маршрут обробки поверхні складається з різних способів досягнення певної точності, отже, можна об'єднати в окремі етапи технологічного процесу. Крім цього механічна обробка може переривається термічними або іншими операціями. Все це підтверджує багатоваріантність технологічного проектування для однієї поверхні і тим більше для всього виробу.

Використовуючи довідкову літературу [4] і вищевикладені вимоги, вибираємо методи обробки поверхонь і пропонуємо варіанти забезпечення вимог:

а) механічні властивості матеріалу:

$HВ = 205 \dots 220$ ,  $\sigma_b \geq 588$  МПа,  $\sigma_T \geq 196$  МПа,  $\delta \leq 40\%$  забезпечуються застосуванням обраного матеріалу і проведенням його термічної обробки: нормалізація.

б) за шорсткістю – табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Способи досягнення точності і шорсткості деталі

Оброблювані поверхні	Квалітет	Ступінь шорсткості Ra, мкм	Метод забезпечення
1	2	3	4
Зовнішні циліндричні поверхні	12-14	6,3	точіння чорнове і напівчистове
			точіння чорнове
	9-11	3,2	точіння чорнове, напівчистове і чистове
			точіння чорнове і напівчистове
6-8	1,6	точіння чорнове, напівчистове, чистове і тонке	
		точіння чорнове, напівчистове, чистове і шліфування	
Отвори на циліндричній поверхні	12-14	6,3	свердління
Різьбові отвори	7	3,2	забезпечуються інструментом

в) по точності форми і розташування елементів деталі – табл. 1.9;

Таблиця 1.9 – Способи досягнення форми і взаємного розташування поверхонь деталі

Відхилення форми і взаємного розташування	Величина допуску, мм	Метод досягнення
Радіальне биття зовнішніх поверхонь деталі	0,02	обробка з одного установка
	0,02	принцип постійності баз
Торцеве биття поверхонь деталі	0,02	обробка з одного установка
	0,02	принцип постійності баз

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Вихідними даними для виконання цього етапу є знання про типові маршрути обробки поверхонь або груп поверхонь.

У багатьох випадках укрупнені операції включають переходи, що не можна виконати за один установ. Отже, необхідно прийняти рішення про принцип подальшого проектування - диференціації або концентрації побудови операцій.

При проектуванні маршрутного технологічного процесу необхідно врахувати:

- технологічні процеси рекомендується проектувати згідно з принципом поетапності, тобто необхідно забезпечити виконання чорнових, а потім чистових способів обробки;
- в першу чергу обробляють бази для наступних операцій;
- потім обробляють поверхні з найбільшим припуском і напуском, так як використовуються форсовані режими різання, а отже і будуть великі сили різання;
- обробка поверхонь, в яких можуть бути виявлені дефекти заготовки;
- найбільш точні поверхні обробляються в останню чергу.

Для зручності наведемо кілька технологічних маршрутів обробки і виберемо оптимальний з них.

Маршрут №1:

005 Заготівельна. Штамповка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Токарна чистова

030 Зубофрезерна



035 Довбальна

040 Слюсарна

Маршрут №2:

005 Заготівельна. Штамповка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Токарна чистова

025 Свердлильна

030 Довбальна

035 Зубофрезерна

040 Слюсарна

Маршрут №3:

005 Заготівельна. Ковка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Довбальна

030 Зубофрезерна

035 Токарна чистова

040 Слюсарна

Маршрут №2 є більш правильним, адже при попередніх свердлильних операціях в маршрутах №1 та №3 на подальшій токарній чистовій буде відбуватись обробка з ударами, що призведе до поломки інструменту та небажаним дефектам поверхонь.

## **2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки**

Від вибору технологічного процесу отримання заготовки залежить кількість матеріалу, що витрачається, якість і трудомісткість подальшої механічної обробки при виготовленні деталі. Оптимальний технологічний процес вибирають на основі

розрахунку і порівняння, можливих за даних умов варіантів виготовлення деталі, куди входить і вартість вихідної заготовки. Оцінку економічної ефективності нової технології, вибір найбільш економічного варіанта виробництва деталей здійснюють за допомогою порівняльного аналізу вартісних і натуральних техніко-економічних показників.

Основною умовою раціональної технології є максимальне наближення форми і розмірів заготовки до форми готової деталі.

Розглянемо варіанти виготовлення заготовки деталі «Шестерня», матеріал деталі – сталь 40Х ГОСТ 4543-71:

- лиття – не раціонально застосувати, так як для заданого обсягу випуску треба виготовляти спеціальні форми для лиття у кокіль, а потім піддавати деталь очистці піском під тиском та видаляти залишки литникових систем. При цьому способі отримання заготовки можуть з'явитись раковини та пори, що негативно вплине на працездатність шестерні, адже вона передає крутний момент у процесі роботи, а при цьому треба забезпечити ущільнення волокон матеріалу, що можливо лише при пластичному деформуванні.

- прокат – не раціонально застосовувати у середньо серійному виробництві через те, що шестерня має досить великий наскрізний отвір і при застосуванні прокату багато матеріалу піде в стружку.

- кування на молотах – не раціонально застосувати через достатньо невеликі габарити деталі та неможливість отримання центрального отвору. А як було сказано у середньосерійному виробництві потрібно прагнути до наближення форми заготовки до форми деталі, що можливе лише при штампуванні.

- штампування – дозволяє отримати заготовку з ущільненими волокнами, що добре позначиться на експлуатаційних характеристиках деталі, а також за формою та розмірами вона буде найбільш наближена до форми деталі. Серед усіх розглянутих способів отримання приймаємо даний варіант виготовлення заготовки – поковка штампована на кривошипних горячештампувальних пресах.

Кривошипні горячештампувальні преси (КГШП) раціонально застосовувати для виготовлення виробів, типу фланці, короткі вали з отворами, до яких належить і дана деталь «Шестерня».

Вони відрізняються більш високою вартістю, але пристосовані для високо механізованого та автоматизованого виробництва поковок, забезпечені нижнім і верхнім виштовхувачами. При штампуванні на КГШП отримують поковки ближчі за формою і розмірами до готової деталі, ніж при штампуванні на молотах. При штампуванні в штампах для видавлювання витрата металу знижується до 30%, продуктивність праці при подальшій механічній обробці збільшується більш ніж в 2 рази. У порівнянні з куванням гаряче об'ємне штампування має такі переваги: параметр шорсткості  $Rz80 \dots 20\text{мкм}$ , а після холодного калібрування  $Rz10 \dots 1,6\text{ мкм}$ , одержання деяких поверхонь, що не вимагають обробки різанням. Перспективно застосування штампування рідкого металу і штампування видавлюванням в матрицях. Штампування рідкого металу займає проміжне положення між звичайною штампуванням і литтям під тиском. Цим способом отримують тонкостінні заготовки різні за складністю та за масою (до 10кг).

У зв'язку з переведенням деталі в середньосерійне виробництво методом отримання заготовки приймаємо поковку штамповану на КГШП.

Спроекуємо заготовку, одержувану штамповкою на КГШП:

Визначаємо тип заготовки для вибору припусків і допусків згідно ГОСТ 7505-89.

а) Для отримання даної заготовки необхідно використовувати кривошипний горячештампувальний прес.

Клас точності поковки-Т4 [3]. Надалі всі табличні дані братимемо з ГОСТ 7505-89.

б) Марка сталі заготовки – Сталь 40Х, тому група сталі М2 [3].

в) Ступінь складності поковки визначається зі співвідношення маси поковки ( $M_{пк}$ ) до маси фігури, що описує поковку ( $M_{ф}$ ).

$$\frac{M_{\Pi}}{M_{\Phi}}, \text{ де } M_{\Pi} = M_{\text{д}} \cdot K_p, \quad (2.1)$$

де  $K_p$  – розрахунковий коефіцієнт.

$K_p = 1,6$  (для деталей типу шестерен, маточин, фланців)

$$\frac{M_{\Pi}}{M_{\Phi}} = \frac{m \cdot d \cdot K_p}{\rho \cdot V} = \frac{28 \cdot 1,6}{7,85 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 34,2^2 \cdot \frac{8}{4}} = 0,62$$

Звідси ступінь складності поковки – С2 по ГОСТ 7505, додаток 2.

Конфігурація поверхні роз'єму штампа- плоска.

г) На основі отриманих даних, знаходиться вихідний індекс-13 [4].

д) Знаючи вихідний індекс, розміри поверхонь і параметр шорсткості  $R_a$ , який необхідно досягти після механічної обробки, визначаються:

Основні припуски (на сторону), мм [4]:

3,3 - діаметр 341,9 та  $R_a5$ ;

2,2 - діаметр 120 та  $R_a6,3$ ;

3,0 - діаметр 303 та  $R_a6,3$ ;

2,6 - діаметр 80 та  $R_a2,5$ ;

2,2 - діаметр 50 та  $R_a6,3$ ;

2,2 - довжина 80 та  $R_a3,2$ ;

1,6 - довжина 30 та  $R_a6,3$ .

Додаткові припуски [4]:

- зсув по поверхні роз'єму штампа -1,0(мм).

- зігнутість і відхилення від площинності і прямолінійності - 0,6 (мм).

Визначаємо розміри поковки, мм:

$\text{Ø}341,9 + (3,3 + 1) \times 2 = 350,5$ - приймаємо 351;

$\emptyset 120 + (2,2 + 1) \times 2 = 126,4$ - приймаємо 127;

$\emptyset 330 - (3 + 1) \times 2 = 322$ - приймаємо 322;

$\emptyset 80 - (2,6 + 1) \times 2 = 72,8$ - приймаємо 72;

$\emptyset 50 - (2,2 + 1) \times 2 = 43,6$ - приймаємо 43;

$L 80 + (2,2 + 1) \times 2 = 86,4$ - приймаємо 87;

$L 30 + (1,6 + 1) \times 2 = 35,2$ - приймаємо 36;

Допустимі відхилення розмірів заготовки [3]:

$\emptyset 351 \begin{matrix} +3,2 \\ -1,8 \end{matrix}$

$\emptyset 120 \begin{matrix} +1,8 \\ -1,0 \end{matrix}$

$\emptyset 322 \begin{matrix} +3,2 \\ -1,8 \end{matrix}$

$\emptyset 80 \begin{matrix} +1,8 \\ -1,0 \end{matrix}$

$\emptyset 43 \begin{matrix} +1,6 \\ -0,9 \end{matrix}$

$L 80 \begin{matrix} +1,8 \\ -1,0 \end{matrix}$

$L 30 \begin{matrix} +1,6 \\ -0,9 \end{matrix}$

**Сумський державний університет**  
**Кафедра технології машинобудування,**  
**Верстатів та Інструментів**

Визначимо номінальну масу заготовки.

За допомогою програми КОМПАС 3D визначаємо масу заготовки, будуючи її за номінальними розмірами та задаючи густину матеріалу, що по ГОСТ 4543-71 дорівнює 7850 кг/м<sup>3</sup>. Маса заготовки  $M_3 = 39,6$  кг.

Визначаємо коефіцієнт використання заготовки для методу отримання заготовки за формулою:

$$K_3 = \frac{M_d}{M_3} \quad (2.2)$$

де  $M_d = 28$  - маса деталі, кг;

$M_3 = 39,6$  - маса заготовки, кг.

По формулі (2.2)

$$K_3 = \frac{28}{39,6} = 0,7.$$

Визначення коефіцієнта використання матеріалу:

Визначення маси відходів заготовки:

$m_{\text{ввз}} = 10\%$  від  $m$  заготовки;

$m_{\text{ввз}} = 39,6 \cdot 0,1 = 3,96$  кг

За формулою визначимо  $K_m$

$$K_m = \frac{M_d}{M_z + M_{\text{ввз}}} \quad (3.3)$$

$$K_z = \frac{28}{39,6 + 3,96} = 0,64$$

Отримане значення коефіцієнтів відповідають рівню ЕСТП. Підвищення коефіцієнтів використання заготовки та матеріалу можливо досягнути шляхом ускладнення конструкції штампа, а це одразу збільшує його собівартість та зменшує надійність. Тому приймаємо обраний метод отримання заготовки – поковка штампована на КГШП, який дозволяє отримати необхідні механічні властивості, для довговічності роботи деталі і всього вузла.

Зобразимо заготовку з розмірами на рис. 2.1.

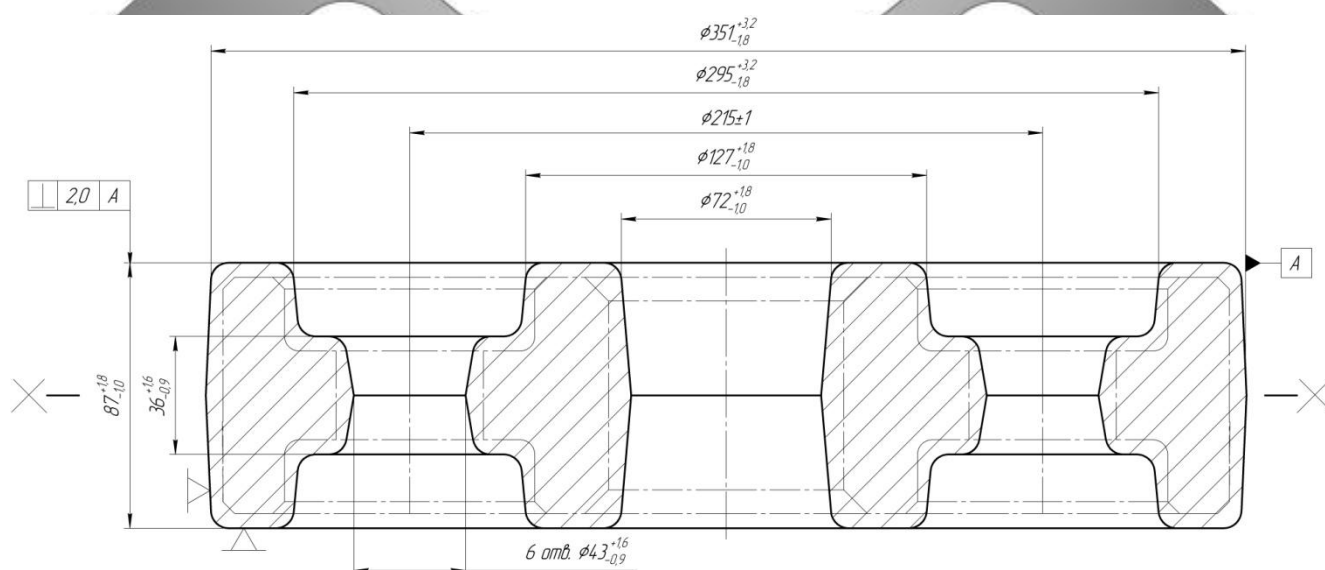


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

Призначимо технічні вимоги до заготовки:

1. Гр. III 40X 223...262 НВ ГОСТ 25054 - 81.
2. Поковка штампована на КГШП ГОСТ 7505-89.
3. Клас точності - Т4, група стали – М2, ступінь складності - С2, вихідний індекс-14.
4. Незазначені радіуси заокруглень - R 5 ... 6 мм.
5. Штампувальні ухили - 5-7°.
6. Допустима величина зсуву по поверхні рознімання штампа - 1 мм.
7. Допустимі відхилення по зігнутості від площинності і прямолінійності не більше 0,6 мм.
8. Маркірувати номер замовлення, номер позиції ударним способом шрифтом 3 ... 5 ГОСТ 2930 - 62.
9. Шорсткість поверхонь поковки Ra 50 мкм.

### 2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Виконаємо розрахунок припусків та знайдемо розміри на обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 80\text{H7}$  мм по принципу професора Кована В.М.

Розрахунок проведений на ЕОМ та показаний в додатку Б.

Розрахункова формула для знаходження припуску зовнішньої циліндричної поверхні має вигляд:

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.2)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\rho_{i-1}$  – величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\varepsilon_i$  - похибка на виконуваній операції (переході).

Перераховані показники є величинами табличними окрім  $\rho_{i-1}$ , яка розраховується як

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{зкс}^2 + \rho_{см}^2} = 1200 \text{ мкм},$$

а  $\rho_{i-1}$  знаходиться в відсотковому відношенні від  $\rho_{заг}$  тоді  $\rho_{черн} = \rho_{заг} k_y$ , де  $k_y = 0,04-0,06$ , в залежності від переходу. Знайдемо для кожного з переходів:

$$\rho_{чер} = 1200 \cdot 0,06 = 72 \text{ мкм}.$$

$$\rho_{н/ч} = 1200 \cdot 0,05 = 60 \text{ мкм}.$$

Вихідні данні для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в табл. 2.1, а самі результати розрахунку у додатку.

Таблиця 2.1 – Вихідні данні

Найменування переходу	Точність	Граничні відхилення	Допуск T, мм	Елементи припуска, мкм				
				R <sub>zi-1</sub>	h <sub>i-1</sub>	ρ <sub>i-1</sub>	ε <sub>y</sub> , мкм	
							ε <sub>6</sub> мкм	ε <sub>3</sub> , мкм
-	T4 ГОСТ 7505-89	+2,7 -1,3	4	200	250	1200	1000	800
Розточування чорнове	H14	+0,74	0,74	40	50	72	100	200
Розточування напівчистове	H9	+0,074	0,074	20	20	60	0	0
Розточування чистове	H7	+0,03	0,03	-	-	-	-	-



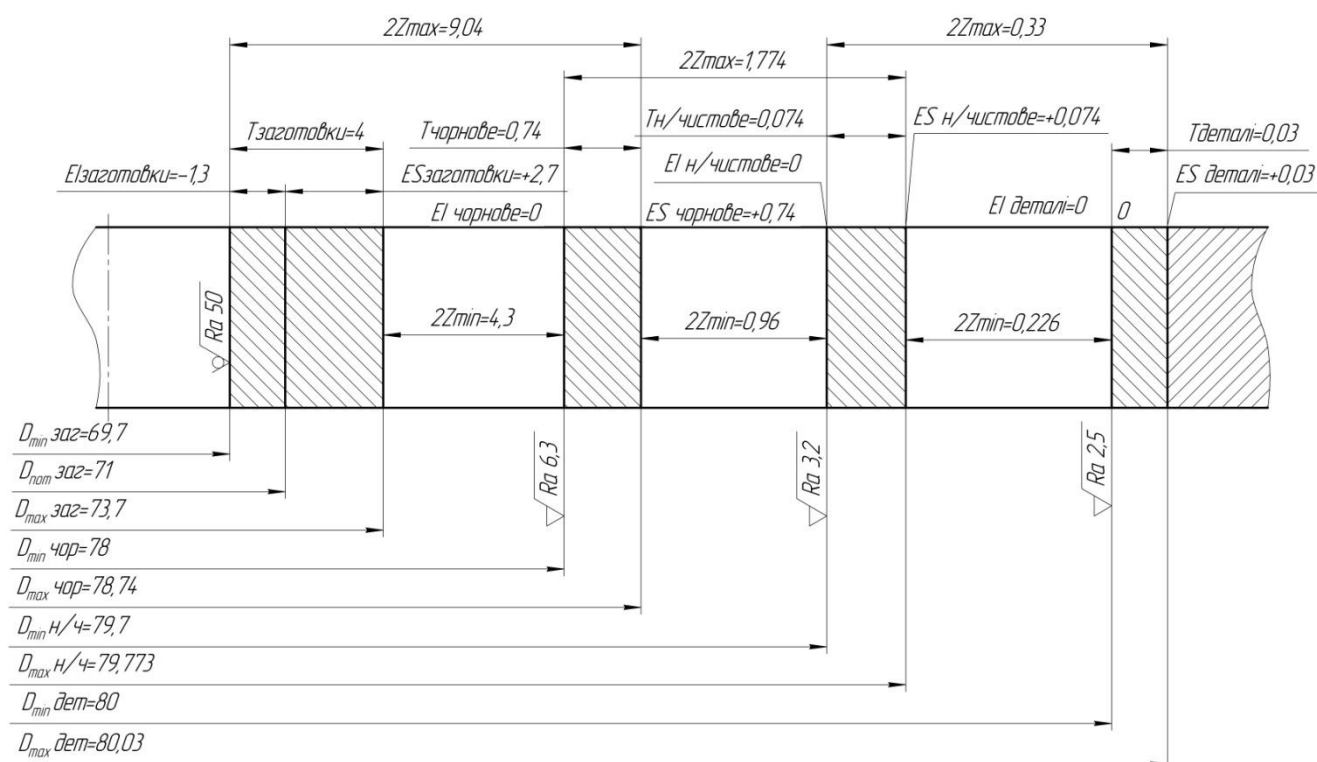


Рисунок 2.2 – Схема розміщення припусків на обробку діаметрального розміру  $\varnothing 80H7$  мм

Порівнюючи розмір, визначений аналітичним методом та за допомогою ГОСТ робимо висновок, що вони майже не відрізняються 70 мм за ГОСТ та 71 мм аналітичним методом відповідно, тому розрахунки проведені вірно.

## 2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Якість виготовлення деталі у великій мірі залежить від правильності встановлення та закріплення заготовки на верстаті. Установка складається з базирования, тобто орієнтації заготовки щодо виконавчих органів верстата, інструменту або траєкторії його переміщення, і закріплення, тобто докладання зусиль до заготівлі для фіксації положення заготовки, досягнутого при базуванні.

Поверхня, використовувана для базування, повинна відповідати таким вимогам:

- великі розміри, геометрично правильна форма;
- низька шорсткість поверхні (без задирих, напливів, буртиків, залишків ливникової системи і т.д.);

- безпосередня розмірна зв'язок з оброблюваною поверхнею, близьке розташування до оброблюваної поверхні;
- відсутність значущих деформацій і низькою жорсткості базових поверхонь;
- використання принципу сталості баз;
- можливість простого і зручного закріплення заготовки.

Для розгляду в цьому пункті було прийнято дві операції технологічного процесу:

- Операція 015 – токарна з ЧПК;
- Операція 035 – свердлильна з ЧПК.

На токарній операції 015 проводиться чорнова обробка заготовки, а саме знімаються напуски і готуються бази під наступне чистову обробку. Обробка відбувається за два установи. Операційний ескіз чорнкової обробки заготовки в базовому технологічному процесі наведено на рис. 2.3.

На даній операції заготовка на першому установі А закріплюється за зовнішню циліндричну поверхню  $\varnothing 351$  (чорнову базу) з упором в торець в патрон, що самоцентрує, в розточених кулачках на діаметр 360 мм. При цьому виникають дві бази: установча на торці деталі, яка позбавляє її трьох ступенів свободи і подвійна опорна база на циліндричній поверхні, яка позбавляє деталь двох ступенів свободи. На другому установі Б заготовка закріплюється за попередньо оброблену поверхню  $\varnothing 343$  з упором в торець. Базування аналогічно. На операції проводиться обробка заготовки згідно ескізу. Як нововведення пропонується дану операцію виконувати на токарному верстаті з ЧПК. Це обумовлено тим, що немає необхідності знімати великі напуски, так як заготовка - поковка штампована на КГШП.

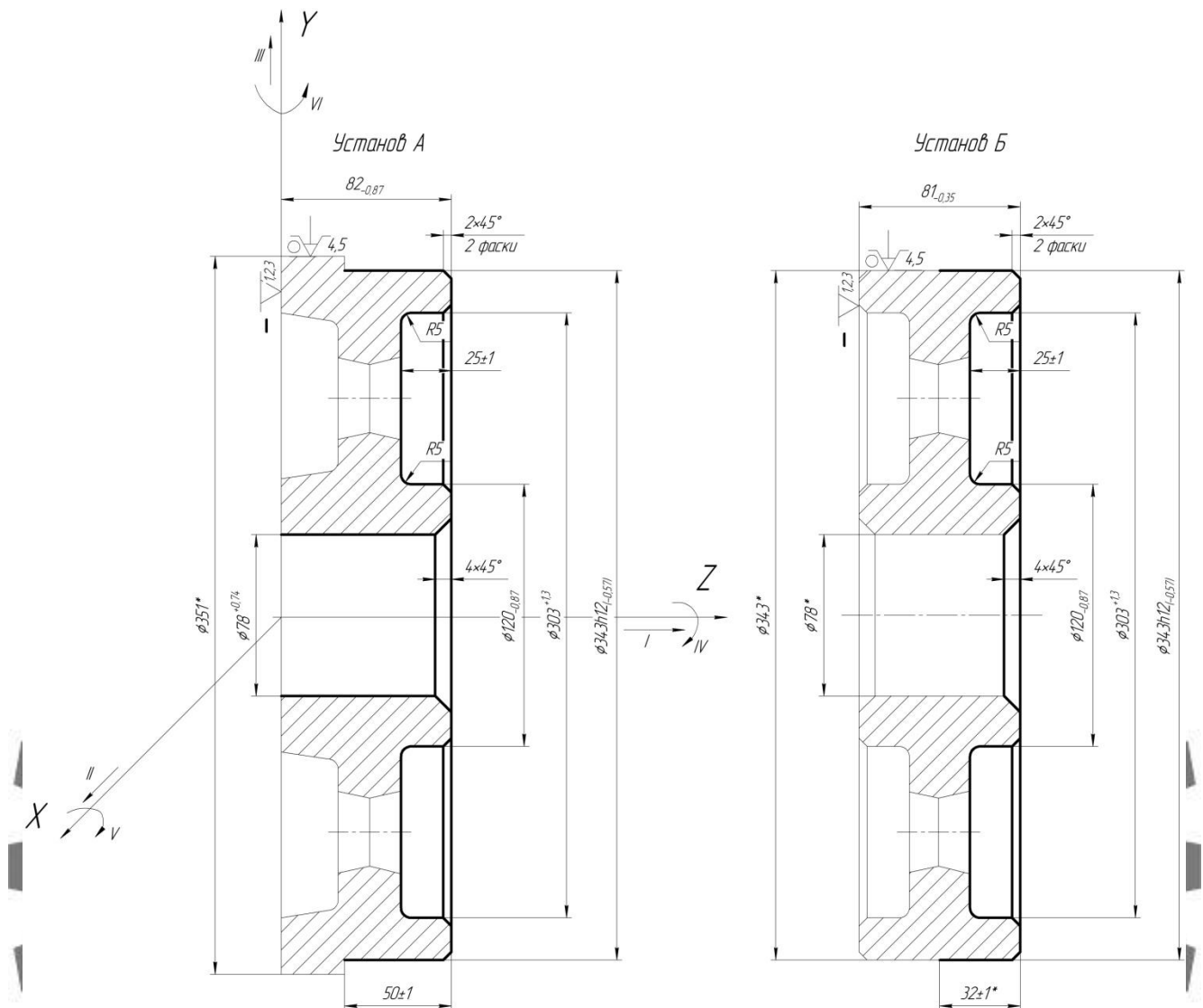


Рисунок 2.3 - Операційний ескіз операції 015 (варіант 1)

Таблиця 2.2– Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1,2,3	I, V, VI	УБ
5	II, III	ПОБ
-	IV	

Таблиця 2.3 – Матриця зв'язків

База		X	Y	Z
УБ	L	1	0	0
	$\alpha$	0	1	1
ПОБ	L	0	1	1
	$\alpha$	0	0	0

Припуски на заготовці в порівнянні з вільним куванням на молотах менше в 3 рази, а значить, заготовка точніше і при обробці по програмі не доведеться робити багато холостих ходів, щоб уникнути аварії або поломки інструменту. Також нововведення полягає в тому, що на даній операції буде відбуватися чорнова і напівчистова обробка деталі (чистова обробка відбуватиметься на іншому - чистовому верстаті, який буде знімати малі припуски і внаслідок довгий час забезпечувати нам досягнення високої точності), а в базовому технологічному процесі напівчистова обробка проводилася разом з чистовою на універсальному верстаті.

Базування заготовки на установі А буде здійснюватися, як і в варіанті 1, що не призведе до появи браку. А от на установі Б розглянемо 2-й варіант схем базування (рисунок 2.4). Бази будуть аналогічними (установча на торці та подвійно-опорна на циліндричній поверхні), проте похибка базування буде різною.

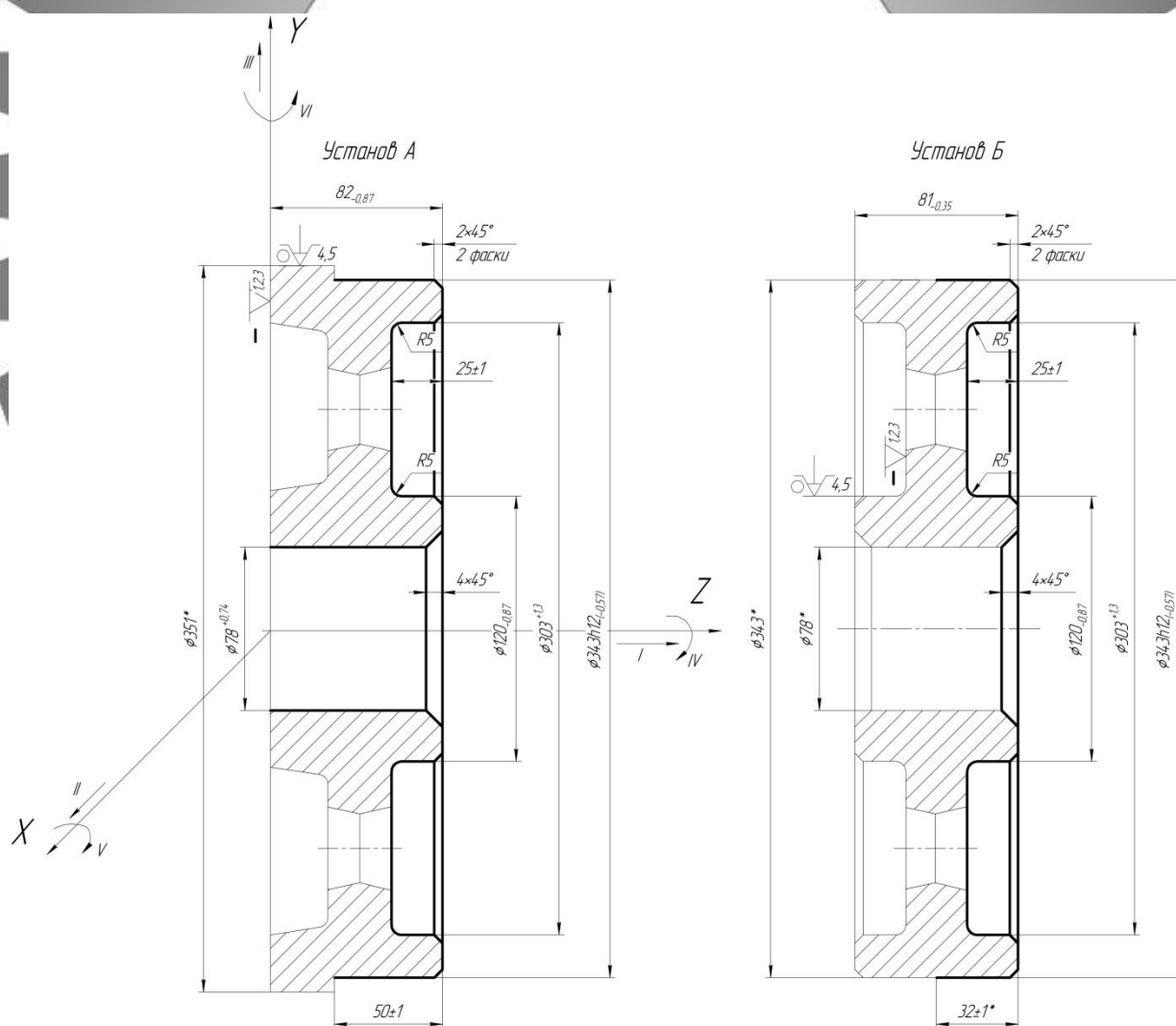


Рисунок 2.4 - Операційний ескіз операції 015 (варіант 2)

При такому базування на деякі розміри виникатиме брак, так як:

- для розміру  $25 \pm 1$  (варіант 1 по рис.6.2)  $\varepsilon_{\phi 25} = T_{\phi 25} = 0,35 < T_{\phi 25} = 2$  мм –браку нема;

- для розміру  $25 \pm 1$  (варіант 2 по рис.6.3)  $\varepsilon_{\phi 25} = T_{\phi 25} + T_{\phi 25} = 0,35 + 2 = 2,35 > T_{\phi 25} = 2$  мм – брак може виникнути.

Отже проаналізувавши дві схеми виберемо схему базування на установі Б за варіантом 1 (рис. 6.2), тобто за зовнішню циліндричну поверхню та лівий торець.

На свердильній з ЧПК операції відбувається свердління отворів діаметром 50 мм. На даній операції розглянемо дві схеми закріплення заготовки: на оправці  $\phi 80$  мм (варіант 1) на рис. 2.5 та закріплення за зовнішню циліндричну поверхню  $\phi 341,894$  з упором в торець в патрон, що самоцентрує, в розточених кулачках на діаметр 342 мм та упором у шпонковий паз для базування у кутовому напрямку (варіант 2) на рис. 2.6.

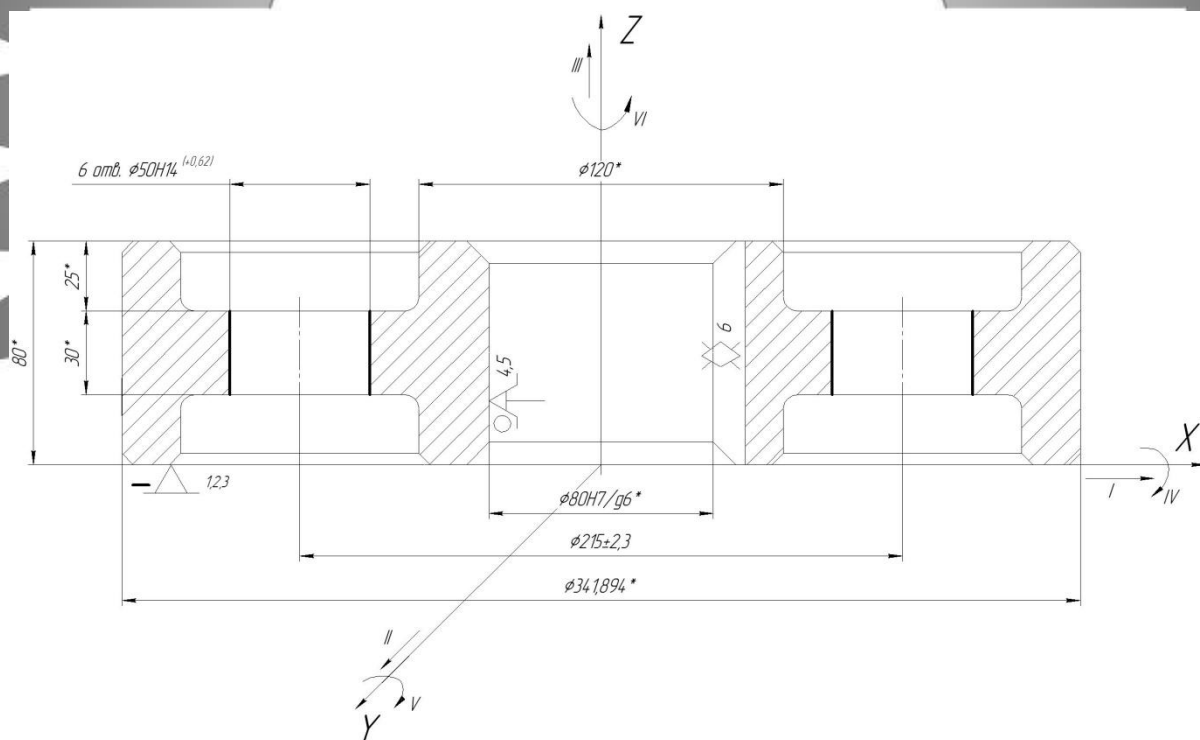


Рисунок 2.5 - Операційний ескіз операції 035 (варіант 1)

При цьому виникають три бази: установча на торці деталі, яка позбавляє її трьох ступенів свободи, подвійна опорна база на циліндричній поверхні, яка позбавляє деталь двох ступенів свободи та опорна – на поверхні шпонкового пазу.

Визначимо похибки базування для двох варіантів на розмір  $215 \pm 2,3$  мм:

- варіант 1 по рис.6.4  $\varepsilon_{\phi 215} = S_{\max} = 0,03 + 0,029 = 0,59 < T_{215} = 4,6$  мм – браку нема;

- варіант 2 по рис.6.4  $\varepsilon_{\phi 215} = T_{341,894} = 0,089 < T_{215} = 4,6$  мм – браку нема.

Таблиця 2.4– Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1,2,3	III,IV,V	УБ
5	I, II	ПОБ
6	VI	ОБ

Таблиця 2.5 – Матриця зв'язків

База		X	Y	Z
УБ	L	0	0	1
	$\alpha$	1	1	0
ПОБ	L	1	1	0
	$\alpha$	0	0	0
ОБ	L	0	0	0
	$\alpha$	0	0	1

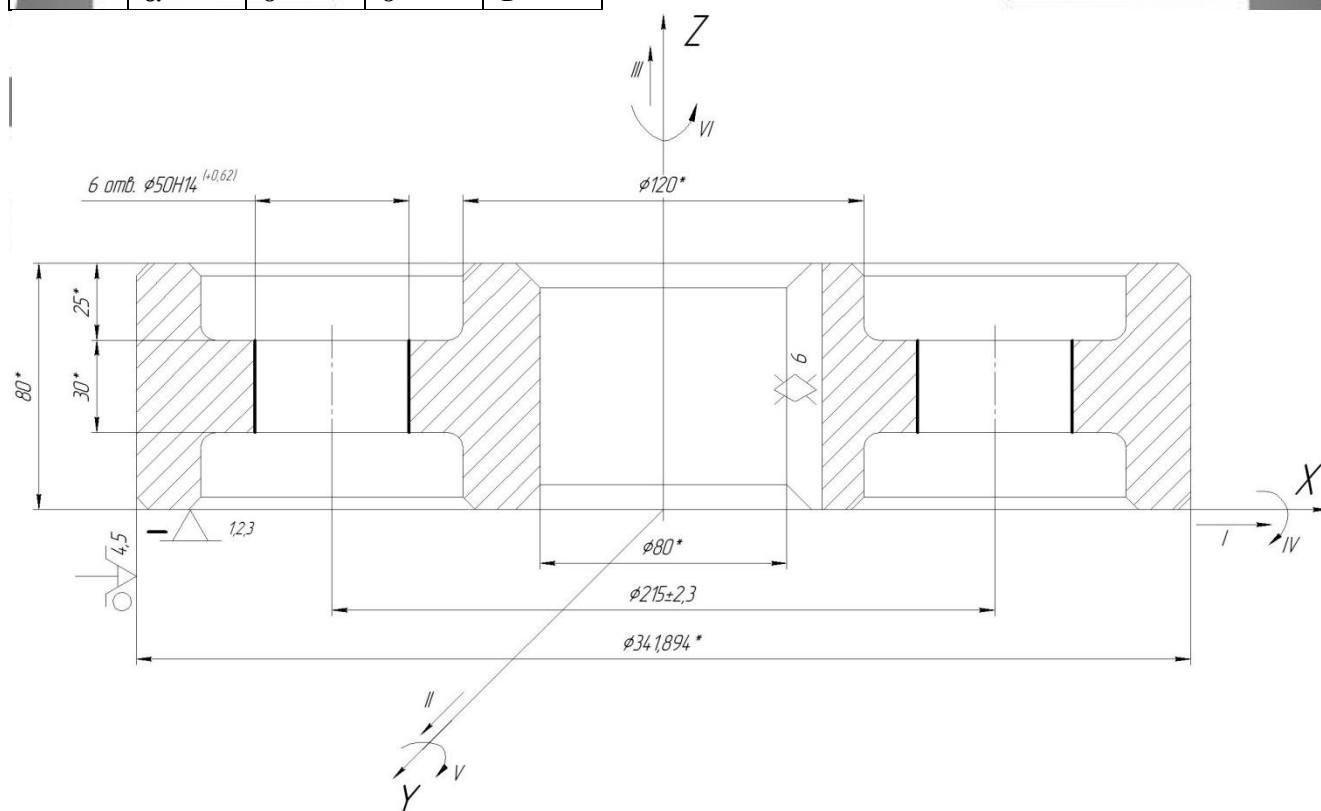


Рисунок 2.6 - Операційний ескіз операції 035 (варіант 2)

У обох схемах браку не виникне, тому з точки зору жорсткості та стійкості закріплення, а також доступу та вільного виходу інструменту та простоти обираємо схему базування за рис. 2.5.

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Металорізучий верстат вибирається виходячи з вимог до якості поверхні, яку необхідно отримати, необхідної потужності двигунів, габаритів, типу виробництва, кількості інструментів на даній операції.

Для операції 015 - токарна з ЧПК пропонуємо використовувати токарний верстат з ЧПК моделі 16Р30Ф3, паспортні дані якого взяті з [4].

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться точіння зовнішніх поверхонь і розточування ступеневої отвори) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції.

Потужність даного обладнання становить 22кВт, що має бути достатньо для здійснення даної операції.

Також зручно використання даного верстата з точки зору того, що частота обертання шпинделя (6,3 - 1250 об / хв) і привід подач (поздовжніх -1-2000 мм/хв, а поперечних 1-600 мм / хв) на ньому мають безступінчасте регулювання, що зручно при призначенні режимів різання, так як немає необхідності округляти розрахункове значення подачі і частоти обертання до фактичних по верстата.

Деякі параметри верстата:

- Найбільший діаметр оброблюваної заготовки:
- Над станиною - 630 мм;
- Над супортом - 320 мм;
- Найбільша довжина оброблюваної заготовки - 1400 мм;
- Швидкість швидкого переміщення супорта:
- Поздовжнього - 4800 мм / хв;
- Поперечного - 2400 мм / хв;

- К.п.д верстата 0,85.

Такі габарити дозволяють встановити трьохкулачковий патрон d315 мм 7102-0071-2-1 ГОСТ24351-80 зі зворотними кулачками, розточеними на діаметр 360 мм в якому встановлюється деталь, і безперешкодно її обробити із заданою точністю.

Для операції 035 - свердлильна з ЧПК пропонуємо використовувати металорізальний верстат моделі 2P135Ф2.

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться розфрезерування отворів) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції.

Потужність даного обладнання становить 7,5 кВт, що має бути достатньо для здійснення даної операції.

Також зручно використання даного верстата з точки зору того, що частота обертання шпинделя (10 - 2000 об / хв) і привід подач (1-1200 мм / хв) на ньому мають безступінчасте регулювання, що зручно при призначенні режимів різання (немає необхідності округляти розрахункове значення подачі і частоти обертання до фактичних по верстата).

Габарити робочого простору цілком задовольняють умовам даної операції, а саме:

Розміри робочої поверхні столу, мм 1200x800

Виліт шпинделя, мм 70

Відстань від торця шпинделя до робочої поверхні столу, мм 600

Найбільша маса оброблюваного виробу, кг 300

Найбільше переміщення столу:

- Поздовжнє, мм 600

- Поперечне, мм 500

Найбільший діаметр:

свердління в сталі, мм 35;



розсвердлювання в сталі, мм 65;

Дискретність відліку координат по осях, мм 0,01

Точність установки координат, мм 0,01

Число Т-подібних пазів 5

Ширина паза, мм 18

Конус шпинделя Морзе 5

Верстат також обраний відповідно до рекомендацій по вибору обладнання в дрібносерійному виробництві. Цей верстат оснащений системою з ЧПК що дозволяє робити його швидке переналагодження на обробку інших деталей.

## **2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів**

Виходячи з типу виробництва (дрібносерійне) найбільш доцільно застосувати систему універсально складальних пристосувань (УСП) згідно ГОСТ 14.305-73.

Для установки і закріплення деталі «Шестерня» на операції 015 в якості пристроїв використовуємо універсальне пристосування - трьохкулачковий патрон 7102-0071-3-1 ГОСТ 24351-80 з розточеними на діаметр 360 мм і довжину 30 мм кулачками. Патрон з ручним приводом. Трьохкулачковий патрон був обраний, враховуючи дрібносерійний тип виробництва. В даному пристосуванні шляхом нескладного переналагодження можуть оброблятися деталі подібні заданої (диски, фланці з  $l/d < 1$ ).

Для обробки заданих поверхонь на операції застосовуємо такі прогресивні ріжучі інструменти, взамін інструментів з напайними пластинами:

- Різець прохідний упорний PCLNR2525K12 з T5K10 - для точіння зовнішніх поверхонь і підрізання торців;

- Різець розточний прохідний упорний S32PCLNR з T5K10 - для розточування внутрішніх поверхонь і підрізання торців.

- Різець для торцевих канавок RF123-05-2525 з T5K10 – для розточування торцевих канавок глибиною 25 мм.

При обробці застосовуємо мастильно - охолоджуюча рідина 7-10% Укрінол-1 ТУ 38 - 101197 - 76 для можливості здійснення обробки з більш високими швидкостями різання.

Допоміжні інструменти для даної не потрібні так як всі ріжучі інструменти безпосередньо встановлюються в рсзцетримач верстата.

Для контролю розмірів на операції 015 - токарна з ЧПК застосовуємо універсальний шкальний інструмент, а саме штангенциркуль ШЦ-П-360-0,05 ГОСТ166-89, застосування якого обумовлено дрібносерійним типом виробництва, а також шаблон R5. Даними інструментами можна проконтролювати всі розміри.

Інструмент був підібраний з умови, щоб ціна поділки була менше 0,33 найменшого допуску розміру на даній операції, контрольованого штангенциркулем. Ціна поділки штангенциркуля 0,05 мм, а третя частина допуску на контрольований розмір 0,1 мм (розмір мм), що задовольняє умові.

Для установки і закріплення деталі на операції 035 доцільно буде використати спеціальний пристрій, так як він буде пневматичним та давати постійні зусилля закріплення та зменшить допоміжний час на закріплення. Також даний пристрій буде жорсткішим за універсальний патрон, що дозволить підвищити режими різання.

Всі поверхні на даній операції обробляються начорно (по 14-му квалітету).

Для обробки заданих поверхонь на операції застосовуємо такі ріжучі інструменти:

- Свердло спіральне d 50мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 10903- 77 - для обробки розсвердлювання отворів.

При обробці застосовуємо мастильно - охолоджуючу рідину 7-10% Укрінол1 ТУ 38 - 101197 - 76 для можливості здійснення обробки з більш високими швидкостями різання.

Для даної операції не передбачаємо допоміжні інструменти так як свердло буде установлюватись у шпindelь верстата без перехідних втулок.

Для контролю розмірів на операції 035 застосовуємо універсальний шкальний інструмент а саме штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166 – 89, яким можна проконтролювати отвори.

Застосування даних інструментів економічно обґрунтовано в дрібносерійному виробництві, так як вони універсальні і дозволяють проконтролювати розміри в усій межі вимірювання з однаковою точністю. Тобто можна контролювати різні розміри вимірювання штангенциркулем.

Інструменти також були підібрані з умови, щоб ціна поділки була менше 0,33 найменшого допуску розміру на даній операції, контрольованого штангенциркулем. Ціна поділки штангенциркуля 0,1 мм, а третя частина допуску на контрольований розмір 0,2 мм (розмір 50 (+0,62;0)), що задовольняє умові.

## 2.7 Розрахунок режимів різання

Режими різання аналітичним способом для операції 015 - токарна чорнова.

Дано:  $D = 351$  мм,  $d = 343$  мм,  $L = 52$  мм, матеріал – 40Х, ріжучий інструмент із матеріалу Т5К10.

Алгоритм визначення режиму різання:  $t \rightarrow S \rightarrow V \rightarrow n \rightarrow T_o$

Визначаємо глибину різання ( $t$ )

$$z = \frac{D - d}{2} = (351 - 343) / 2 = 4 \text{ мм}$$

шар металу який необхідно зняти;

$t = z / 2 = 4 / 2 = 2$  мм – глибина різання;

Визначаємо подачу ( $S$ )

$$S_{\text{таб}} = (0,4 \text{—} 0,8) \text{ мм/об}$$

Приймаємо  $S_{\text{таб}} = 0,6$  мм/об ;  $S_{\text{верст}} = 0,6$  мм/об.

Усі поправочні коефіцієнти дорівнюють 1, тому до уваги їх не беремо.

Розрахуємо швидкість різання ( $V$ )

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v, \quad (2.1)$$

Вибираємо необхідні дані з [5]

$$C_v = 217 \quad m = 0,2$$

$$X = 0,15 \quad T = 30 \text{ хв}$$

$$y = 0,15$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{nv}$$

$K_{nv}$  – вплив поверхні на швидкість;

$K_{iv}$  – вплив інструмента на швидкість;

$K_{mv}$  – вплив матеріалу на швидкість.

Приймаємо

$$K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = 1 \cdot \left(\frac{750}{980}\right)^1 = 0,77$$

згідно [5]

$$K_{iv} = 0,65 \quad K_{nv} = 0,9$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{nv} = 0,77 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 0,45$$

Знаходимо розрахункову швидкість за формулою:

$$V = \frac{217 \cdot 0,45}{30^{0,2} \cdot 3,75^{0,15} \cdot 0,6^{0,15}} = 101 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.2)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 101}{\pi \cdot 351} = 98 \text{ об/хв.}$$

За паспортними даними верстата приймаємо найближчу частоту 100 об/хв та перераховуємо швидкість різання.

$$V = \frac{\pi \cdot 351 \cdot 100}{1000} = 102 \text{ м/хв.}$$

Знаходимо силу різання  $P_z$

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^{X_{pz}} \cdot S^{Y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \cdot K_{pz}, \quad (2.3)$$

де  $C_{pz} = 300$ ;  $X_{pz} = 1$ ;  $Y_{pz} = 0,75$ ;  $n_{pz} = -0,15$ , згідно [5]

$$K_{pz} = K_{мпz} \cdot K_{фpz} \cdot K_{Ypz} \cdot K_{\lambda pz} \cdot K_{гpz}$$

$$K_{мпz} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{980}{750} \right)^{0,75} = 1,22; \quad (2.4)$$

де  $K_{фpz} = 0,98$ ;  $K_{гpz} = 0,93$

$K_{Ypz} = 1,0$ ;

$K_{\lambda pz} = 1,0$ ;

$$K_{pz} = K_{мпz} \cdot K_{фpz} \cdot K_{Ypz} \cdot K_{\lambda pz} \cdot K_{гpz} = 1,22 \cdot 0,98 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 1,11$$

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^{X_{pz}} \cdot S^{Y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \cdot K_{pz} = 10 \cdot 300 \cdot 5,75^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 36,61^{-0,15} \cdot 1,11 = 11158 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання  $N_{різ}$

$$N_{різ} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} = \frac{11158 \cdot 102}{60 \cdot 1020} = 16 \text{ кВт}$$

Визначаємо коефіцієнт використання верстата за потужністю:

Потужність верстата з урахуванням ккд:

$$N_{ккд} = N_{де} \cdot \mu = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ кВт},$$



де  $N_{дв}=24$  кВт – потужність двигуна головного руху з урахуванням ккд;  
 $\mu=80\%$  - ккд верстата;

( $16 < 24$ ) – потужності верстата вистачить для обробки.

Визначаємо основний час, тобто час на безпосередню обробку за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S_M} \cdot i, \quad (2.5)$$

де  $L = 50+2=52$  мм - довжина обробки з урахуванням врізання (перебігу немає);

$i=2$  – кількість проходів.

Основний час визначаємо за формулою 2.5:

$$T_o = \frac{52 \cdot 2}{100 \cdot 0,6} = 1,73 \text{ хв.}$$

Дані розрахунків режимів різання та основного часу по даній операції зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Параметри режимів обробки на операцію 015

Найменування переходу	Параметри режимів обробки					L, мм	$T_o$ , хв.
	t, мм	s, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i		
Установ А							
Підрізання торця	2	0,6	100	109	2	145	4,83
Точіння поверхні $\varnothing 343$	2	0,6	100	102	2	52	1,73
Точіння фаски	2	0,6	100	102	1	5	0,08
Розточування торцевої канавки $\varnothing 120$	3,5	0,1	62	200	1	28	1,4
Розточування радіуса канавки R5	1,5	0,1	67	200	1	5	0,25
Розточування торця канавки	5	0,1	94	100	18	5	9
Розточування радіуса канавки R5	1,5	0,1	96	100	1	5	0,5

Розточування торцевої канавки Ø303	3,5	0,1	96	100	1	28	1,4
Розточування фаски на Ø303	2	0,1	98	100	1	4	0,4
Розточування фаски на Ø120	2	0,1	62	200	1	4	0,2
Розточування отвору Ø78	2	0,5	99	400	2	85	0,85
Розточування фаски на Ø78	2	0,5	102	400	1	5	0,05
Установ Б							
Підрізання торця	2	0,6	100	109	2	145	4,83
Точіння поверхні Ø343	2	0,6	100	102	2	34	1,13
Точіння фаски	2	0,6	100	102	1	5	0,08
Розточування торцевої канавки Ø120	3,5	0,1	62	200	1	28	1,4
Розточування радіуса канавки R5	1,5	0,1	67	200	1	5	0,25
Розточування торця канавки	5	0,1	94	100	18	5	9
Розточування радіуса канавки R5	1,5	0,1	96	100	1	5	0,5
Розточування торцевої канавки Ø303	3,5	0,1	96	100	1	28	1,4
Розточування фаски на Ø303	2	0,1	98	100	1	4	0,4
Розточування фаски на Ø120	2	0,1	62	200	1	4	0,2
Розточування фаски на Ø78	2	0,5	102	400	1	5	0,05
Всього							39,93

### Операція 035

Проведемо розрахунок аналітичним методом розсвердлювання отвору Ø50 мм. Вихідні данні: оброблюваний матеріал сталь 40Х з межою міцності  $\sigma_B=558$  МПа, матеріал ріжучої частини свердла Р6М5, СОЖ – емульсія. Попередній діаметр отвору 43 мм

#### 1. Глибина різання дорівнює

$$t = \frac{50 - 43}{2} = 3,5 \text{ мм.}$$

2. Подача складатиме  $S_T = 0,36$  мм/об, з урахуванням коефіцієнтів

$K_1=0,9$  – коефіцієнт на глибину;

$K_0=0,5$  – коефіцієнт на якість поверхні;

$K_{ж}=0,75$  – коефіцієнт жорсткості системи ТС;

$K_i=1,0$  – коефіцієнт враховуючий матеріал ріжучого інструменту, тоді

$S=0,36 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 1,0=0,12$ , приймаємо  $S_{пр}=0,12$  мм/об.

2. Стійкість ріжучого інструменту  $T=30$  хв. [5]

Знаходимо швидкість різання за формулою [5]

$$V = \frac{C_V D^g}{T^m S^y} K_V, \quad (2.4)$$

де  $C_V=3,5$ ,  $g=0,5$ ,  $y=0,45$ ,  $m=0,12$  – коефіцієнти та показники в формулі швидкості різання [5];

$K_V$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання та знаходиться за формулою [5]:

$$K_V = K^{mv} K^{mv} K^{mv}, \quad (2.5)$$

де  $K^{mv} = 1,0$  - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [5];

$K^{mv} = 0,8$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий поверхню заготовки [5];

$K^{mv} = 0,5$  – поправочний коефіцієнт на інструментальний матеріал [5].

Тоді:

$$K_V = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 0,4.$$

З урахуванням показників знаходимо швидкість різання:

$$V = \frac{3,5 \cdot 19^{0,5}}{15^{0,12} \cdot 0,12^{0,45}} \cdot 0,4 = 28,8 \text{ м/хв.}$$

3. Знаходимо частоту обертання шпинделя по формулі



$$n_{ш} = \frac{1000V}{\pi \cdot D} \quad (2.6)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 28,8}{\pi \cdot 50} = 183 \text{ об/хв.}$$

Коректуємо значення обертання шпинделя з паспортним  $n^{np} = 160$  об/мин.

4. З урахуванням прийнятого значення розраховуємо фактичну швидкість різання по формулі:

$$V\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.7)$$

$$v = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 160}{1000} = 25,1 \text{ м/хв.}$$

5. Знаходимо крутний момент по формулі [5]:

$$M_{кр} = 10 C_M D^q S^y K_p \quad (2.8)$$

де  $C_M = 0,041$ ,  $q = 2,0$ ,  $y = 0,7$  – коефіцієнти та показники в формулі [5];

$K_p$  – поправочний коефіцієнт враховуючий вплив оброблюваного матеріалу;

$$K_p = (\sigma_B / 750)^n, \quad (2.9)$$

де  $n = 0,75$  – показник [5].

$$K_p = (\sigma_B / 750)^n = (558 / 750)^{0,75} = 0,8.$$

З урахуванням поправочних коефіцієнтів маємо:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,041 \cdot 50^{2,0} \cdot 0,12^{0,7} \cdot 0,8 = 22,3 \text{ Нм.}$$

6. Знаходимо осьове зусилля по формулі:

$$P_o = 10 C_p D^q S^y K_p, \quad (2.10)$$

де  $C_p = 143$ ,  $q = 1,0$ ,  $y = 0,7$  – коефіцієнти та показники сил різання [5].

$$P_o = 10 \cdot 143 \cdot 50 \cdot 0,12^{0,7} \cdot 0,8 = 1020 \text{ Н.}$$

Знаходимо потужність необхідну для обробки по формулі:

$$N = \frac{M_{кр} n}{9750}. \quad (2.11)$$

$$N = \frac{22,3 \cdot 160}{9750} = 2,85 \text{ кВт.}$$

7. Потужність різання менше потужності верстата з урахуванням КПД (0,8) ( $2,85 < 5,5 \cdot 0,8$  кВт), обробка можлива.

8. Розраховуємо основний час по формулі:

$$T_o = \frac{L_p}{S \cdot n} \quad (2.12)$$

$$l_p = l + l_1' + l_2'' \quad (2.13)$$

де  $l_1' = 0,3 D = 0,3 \cdot 50 = 15$  мм, беремо 15 мм, при подвійному заточуванні врізування свердла;

$l_2'' = 3$  мм, перебіг свердла.

Тоді:

$$l_p = 30 + 15 + 3 = 48 \text{ мм}$$

$n = 160$  об/хв - частота обертів шпинделя;

$S = 0,12$  мм/об - подача;

$$T_o = \frac{48}{160 \cdot 0,12} = 2,5 \text{ хв.}$$

Таблиця 6.7 – Параметри режимів обробки на операцію 035

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки					L, мм	T <sub>o</sub> , хв
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i		
Розсвердлити отворів ø50 6	3,5	0,12	160	25,1	6	48	18
Всього							18

## 2.8 Технічне нормування операцій

Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу.

Метою даного нормування є визначення норми штучно - калькуляційного часу на операції.

Дані про режими різання беремо з попереднього пункту.

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

Визначаємо допоміжний час, для операції 015, за формулою:

$$T_d = T_{уст} + T_{уп} + T_{вим}, \quad (2.13)$$

де  $T_{уст} = 3,68$  хв - час на установку і зняття заготовки [5];

$T_{уп} = 3,4$  - допоміжний час з управління верстата [5];

$T_{вим} = 2,5$  хв - час на вимірювання [5].

$T_d = 3,68 + 3,4 + 2,5 = 9,58$  хв.

Визначаємо оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d, \quad (2.14)$$

$$T_{оп} = 39,93 + 9,58 = 49,51 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу [5]:

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{оп}} 4\% = 49,51 \cdot 0,04 = 1,98 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{в}}. \quad (2.15)$$

$$T_{\text{шт}} = 49,51 + 1,98 = 51,49 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + T_{\text{пз}}/N, \quad (2.16)$$

де  $T_{\text{пз}} = 35$  хв - підготовчо-заклучний час, що складається з часу: отримання креслення і наряду, ознайомлення з роботою та кресленням, інструктаж майстра, настроювання пристрою подачі ЗОР;

$N = 190$  шт. - кількість деталей у партії.

$$T_{\text{шт-к}} = 51,49 + 35/190 = 51,67 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час, для операції 035, за формулою:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{вим}},$$

де  $T_{\text{уст}} = 4,2$  хв - час на установку і зняття заготовки [5];

$T_{\text{уп}} = 6,3$  - допоміжний час з управління верстата [5];

$T_{\text{вим}} = 2,2$  хв - час на вимірювання [5].

$$T_{\text{д}} = 4,2 + 6,3 + 2,2 = 12,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час за формулою 2.14:

$$T_{\text{оп}} = 18 + 12,7 = 30,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{оп}} \cdot 4\% = 30,7 \cdot 0,04 = 1,22 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою 6.15:

$$T_{\text{шт}} = 30,7 + 1,22 = 31,92 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою 2.16:

де  $T_{\text{п.з}} = 30 \text{ хв}$  - підготовчо-заклучний час, що складається з часу: отримання креслення і наряду, ознайомлення з роботою та кресленням, інструктаж майстра, настроювання пристрою подачі ЗОР;

$N = 20 \text{ шт}$  - кількість деталей у партії.

$$T_{\text{шт-к}} = 31,92 + 30/190 = 32,08 \text{ хв.}$$

## 2.9 Проектування верстатного пристрою

Проектування верстатного пристрою на свердлильну з ЧПК операцію.

Обґрунтування необхідності створення пристосування. Вибір системи пристосування.

В даний час заготовка обробляється на універсальному обладнанні в трикулачковому патроні (встановленим на ділильну головку) з ручним приводом. Застосування спеціального пристосування з механізованим приводом дозволить

знизити трудомісткість обробки, підвищити стабільність точностних параметрів операції. Орієнтовно в заданих умовах слід визнати найбільш раціональної систему нерозбірних спеціальних пристосувань (НСП) [8].

Дана операція свердлильна з ЧПК виконується на верстаті моделі 2P135Ф2.

Уточнення мети технологічної операції.

На даній операції повинні формуватися такі розміри: 6 наскрізних отворів  $\varnothing 50$  мм.

Отвори  $\varnothing 50$  мм є вільними розміром, а значить відповідно до технічних вимог на виготовленні деталі, допуск беремо по 14 квалітету точності [10].

Точність лінійних розмірів аналізувати недоцільно, тому що отвори наскрізні.



Рисунок 2.10 - Схема базування заготовки на свердлильній з ЧПК операції

Шорсткість оброблюваних поверхонь.

Шорсткість оброблюваних поверхонь, яка вказана на кресленні, має значення 6,3 мкм за критерієм Ra.

Аналіз базових поверхонь.

Конструкція пристосування буде припускати базування заготовки по торцю і по внутрішній циліндричній поверхні  $\text{Ø}80\text{H}7$ .

Згідно креслення отвір  $\text{Ø}80$  обробляється по IT7.Согласно [10] знаходимо значення допуску:  $T_{\text{Ø}80} = 30$  мкм.

Це означає, що діаметр отвору виконаний з параметрами  $\text{Ø}80\text{H}7 (+0,03; 0)$ . Довжина отвору 80 мм. Відношення  $l/d < 1$ , що свідчить про можливість використання отвори як подвійної опорної бази.

Шорсткість базових поверхонь.

Шорсткість поверхні, зазначена на кресленні для діаметра  $\text{Ø}80\text{H}7$  та торцю відповідає за критерієм Ra 2,5 мкм, що є достатнім досягнення необхідної точності на даній операції.

У проєктованому пристосуванні планується обробляти заготовки з базовими поверхнями саме такими або в межах  $\pm 10$  мм розмірів з вказаними параметрами точності. Іншими словами, адаптивні властивості настановних елементів пристосування повинні знаходитися в межах допусків зазначених розмірів.

Визначення умов в яких буде виготовлятися і експлуатуватися проєктоване пристосування.

Річна програма випуску визначена в 200 деталей. Така програма з урахуванням трудомісткості передбачає дрібносерійний тип виробництва. Але проєктування даного пристосування проводиться в навчальних цілях.

Заготівля буде оброблятися на багатоцільовому верстаті 2P135Ф2 з системою ЧПК. Паспортні дані верстата наведені в пункті 2.6.

Обробка на даній операції здійснюється свердлом  $\text{Ø}50$  мм. Пристосування має обслуговуватися верстатником 3-го розряду.

Складання переліку реалізованих функцій.

0. Переміщення і попередня орієнтація заготовки.
1. Базування заготовки.
2. Закріплення заготовки.
3. Базування пристосування на верстаті.
4. Закріплення пристосування на верстаті.
5. Підведення і відведення енергоносія.
6. Освіта вихідної сили для закріплення.
7. Управління енергоносієм.
8. Об'єднання функціональних вузлів (корпус).
9. Обробка поверхонь згідно ескізу.
10. Створення безпечних умов праці.

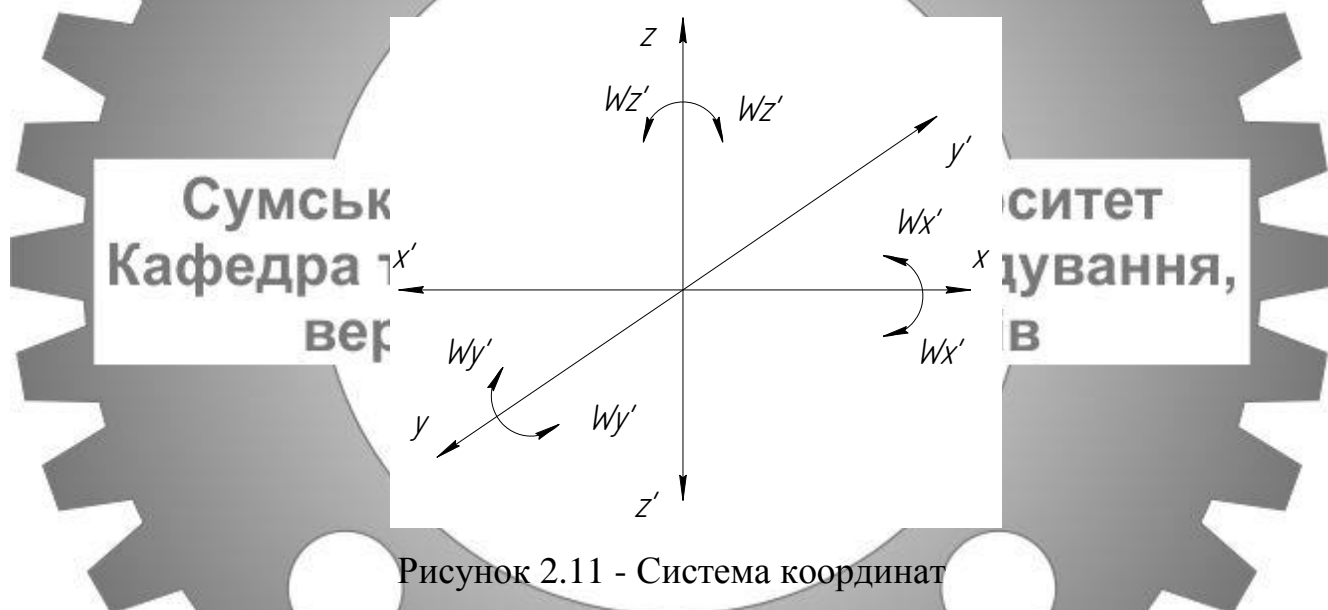


Рисунок 2.11 - Система координат

З таблиці 2.6 видно, що на заготовку накладено 11 односторонніх зв'язків, причому усі повні, що обумовлено відсутністю зазору між деталлю і пристроєм.

Щоб система стала врівноваженою під час обробки, необхідно позбавити заготовку можливості переміщатися по координаті  $Z$ .

Побудова функціональної структури і загальної компоновки пристрою.

З набору функцій, наведених у п.5, виділимо ті, які реалізуються в перебігу оперативного часу: 0,1,2,5,6,7. 3,4 Функції впливають на підготовчо-заклучний час; 9 функція прямого впливу на штучний час не робить.



Таблиця 2.6 – Таблиця односторонніх 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	R	R	R

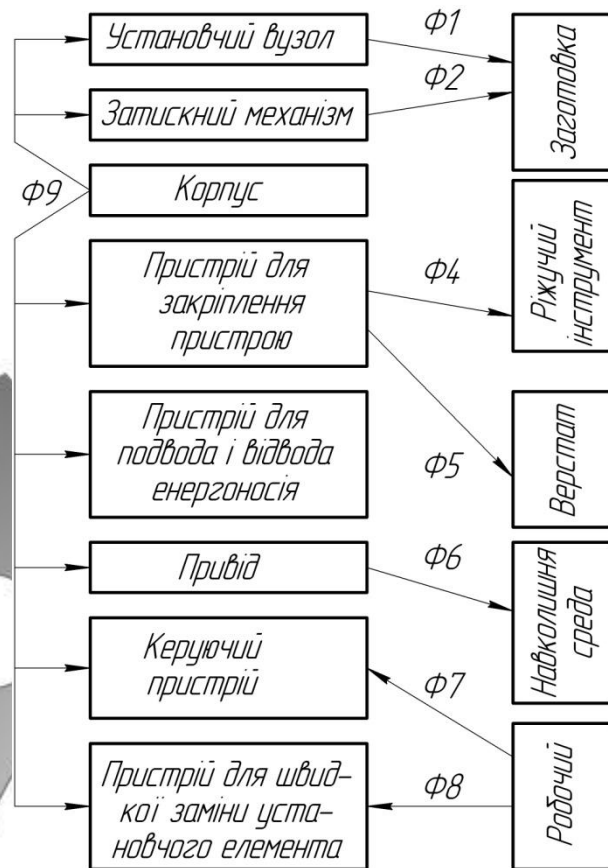
Керуючись нормативами часу, складемо структуру потоку функцій при їх послідовній реалізації.

Послідовна структура реалізації потоку функцій є найбільш тривалою за часом, проте в даному випадку це єдина можливість обробки заготовки на даній операції при дрібносерійному типі виробництва, де обробка ведеться по можливості стандартним ріжучим інструментом і суміщення переходів не представляється можливим.

Функціональна структура проектованого пристосування представлена на рис. 2.12.

Розробка і обґрунтування схеми закріплення. Аналіз взаємодії силових полів з позицій врівноваженості системи. ріжучий інструмент - заготовка - пристрій – верстат.

Для визначення взаємного впливу поля сил, що обурюють і поля призначені врівноважити сил побудуємо графічну модель сил, що обурюють у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування і модель поля врівноважуючих сил, створюваних затискним механізмом.



Сумський державний університет  
 Кафедра технології машинобудування,  
 Розрахунок сил закріплення  
 верстатів та інструментів

Розрахуємо коефіцієнт запасу за формулою з [12]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad , \quad (2.23)$$

де  $k_0$  - коефіцієнт гарантованого запасу.  $k_0 = 1,5$ ;

$k_1$  - коефіцієнт враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях ( $k_1 = 1,1$ );

$k_2$  - коефіцієнт що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту ( $k_2 = 1,7$ );

$k_3$  - коефіцієнт враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні ( $k_3 = 1$ );

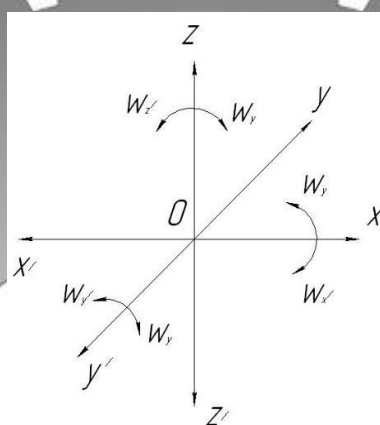
$k_4$  - коефіцієнт що характеризує сталість сили закріплення зажимного механізму ( $k_4 = 1,2$ );

$k_5$  - коефіцієнт що характеризує ергономіку ручних ЗМ ( $k_5 = 1$ );

$k_6$  - коефіцієнт враховує наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку;.

За формулою 2.23:

$$K = 1,5 \times 1,1 \times 1,7 \times 1,0 \times 1,2 \times 1,1 = 3,366.$$



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

Виходячи з того, що найбільша сила та крутний момент будуть виникати при розсвердлюванні отвору  $\varnothing 50$  мм розрахунок сили затиску будемо проводити саме по критерію величини сил та моментів, що виникають при обробці даної поверхні. Осьова сила  $P_o$  при цьому буде діяти радіально на центральну оправку, на якій базується деталь, тому в розрахунках її можна не враховувати.

З попередніх розрахунків  $M_{кр} = 22,3$  Нм, тобто визначимо силу  $P_z$ , що буде намагатися опрокинути заготовку.

$$P_z = 2M_{кр}/D_{св} \quad (2.21)$$

де  $D_{св} = 50$  мм- діаметр свердла.

$$P_z = 2 \cdot 22,3 / 0,05 = 892 \text{ Н}$$

Складемо рівняння моментів сил і визначимо силу закріплення  $W$ .

Сили тертя  $F_{тр1}$  і  $F_{тр2}$  будуть діяти на середньому діаметрі опорних площин. Запишемо умову  $M_{тр} > M$

Представимо

$$M_{тр} = K \cdot l \cdot P_z$$

$$F_{мп1} \times \left(\frac{R_1}{2}\right) + F_{мп2} \times \left(\frac{R_2}{2}\right) = K \times l \times P_z$$

$$W \times f_1 \times \left(\frac{R_1}{2}\right) + W \times f_2 \times \left(\frac{R_2}{2}\right) = K \times l \times P_z$$

Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів

$$R_1 = \frac{D_{\text{ш}} + D_0}{2} = \frac{120 + 80}{2} = 100 \text{ мм},$$

де  $D_{\text{ш}}$  - зовнішній діаметр шайби

$R_2 = (351 + 80) / 2 = 215,5$  мм, де 351 і 80 – розміри, що характеризують опорний торець деталі.

$$l = 215 / 2 = 107,5 \text{ мм}$$

$f_1 = f_2 = 0,25$  – коефіцієнти тертя по площинах шайби - деталь і деталь-торець пристосування відповідно.

Виразимо силу закріплення  $W$

$$W = \frac{K \times l \times P_z}{f \times \left[ \frac{R_1 + R_2}{2} \right]} = \frac{3,366 \times 107,5 \times 892}{0,25 \times (100 + 215,5) / 2} = 8052 \text{ Н}.$$

Обґрунтування вибору приводу.

Для розкріплення досить ходу 5-10 мм, отже, раціонально вибрати тарілчасту гумовотканинну пневмокамеру однобічної дії з діаметром діафрагми визначається за формулою [27]:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{W}{p}} = 1,13 \times \sqrt{\frac{8052}{0,4}} = 157,3 \text{ мм} \quad (2.22)$$

де  $p = 0,4$  МПа - тиск повітря в мережі.

Приймаємо по ГОСТ найближчий більший діаметр  $D = 160$  мм.

Отже розраховуємо фактична силу закріплення при діаметрі пневмокамери 160 мм по ГОСТ.

$$W_{\phi} = \frac{D^2 \times p}{1,13^2} = \frac{160^2 \times 0,4}{1,13^2} = 8100 \text{ Н}$$

Точнісні розрахунки пристосування

З інформаційної точки зору розрахунки допусків на виготовлення елементів пристосування являють собою перетворення інформації про обробки поверхонь деталі на даній операції в точнісні до пристосування.

Перш ніж приступити до розрахунку точності, визначимо розрахункові параметри, які більшою мірою впливають на досягнення заданих допусків обробляє деталі. При обробці заданої деталі на операції до розрахунковим параметрам слід віднести найбільш жостким допуском на кресленні  $\epsilon 45 \pm 0,31$  мм.

Деталь базується на даній операції по поверхні  $\text{Ø}255\text{H}7$  \*тобто можна говорити про те що технологічна та вимірювальна бази збігаються.

Визначимо допустиму похибку на паралельність верхнього торця склянки до настановної поверхні плити за формулою [29]:

$$\varepsilon_{np} = T - K_T \cdot \sqrt{K_{T1} \cdot \varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + K_{T2} \cdot \omega^2 + \varepsilon_{noz}^2}, \quad (2.23)$$

де  $T$  - допуск розміру  $T = 0,62\text{мм} = 620\text{ мкм}$ ;

$K_T$  - коефіцієнт, що враховує можливе відступ від нормального розподілу окремих складових, приймаємо  $K_T = 1,2$ ;

$K_{T1}$  - коефіцієнт, який враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування, що приймається до уваги, коли похибки базування не дорівнюють нулю, в даному випадку  $K_{T1} = 0,85$ ;

$\varepsilon_{\delta}$  - похибка базування заготовки, яка в даному випадку буде дорівнює максимальному зазору між оправленням і отвором деталі.

$$\varepsilon_{\delta} = S_{\max} = 80,03 - 79,98 = 0,05\text{ мм} = 50\text{мкм}.$$

$\varepsilon_z$  - похибка закріплення заготовки, тому привід механізований і похибка закріплення буде постійною, то враховуємо її один раз при налаштуванні верстата, приймаємо  $= 0$ ;

$\varepsilon_y$  - похибка установки пристосування на верстаті, враховує зазори між установочними елементами пристосування і посадочними елементами верстата (шпонками). Пристосування встановлюється на стіл за двома шпонками по посадці 18H9 / h9. Але величина зазору на похибку отримуваних розмірів не впливає, так як вони вимірюються в різних напрямках.

$\varepsilon_n$  - похибка перекосу інструменту. Обробка вестиметься спіральними свердлами відповідного діаметру, але перед цим отвори необхідно зацентрувати центрувальним свердлом, щоб виключити (або принаймні мінімізувати відведення свердла). Тобто похибка перекоса  $= 0$ .

$\varepsilon_u$  похибка, що виникає внаслідок зносу настановних елементів пристосування. Величина зносу залежить від програми випуску деталей і форму настановної поверхні.

Похибка зносу настановних елементів пристосування визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_u = \beta_2 \cdot N, \quad (2.24)$$

де  $\beta_2 = 0,001$  - постійний коефіцієнт, узятий за рекомендаціями [9];

$N$  - Число контактів заготовки з опорою. Річний випуск деталей = 2000 шт. Пристосування передбачається експлуатувати без ремонту і заміни деяких настановних елементів 2 роки, тому

$$N = N_r \cdot n = 200 \cdot 2 = 400 \text{ штук.}$$

$$\varepsilon_u = 0,001 \cdot 400 = 0,4 \text{ мм} = 40 \text{ мкм.}$$

$K_{T2}$  - коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки, приймаємо за рекомендаціями [19]  $K_{T2} = 0,6$ ;

$w$  - середня економічна точність обробки, по [29] при свердлінні отворів середня економічна точність - 12 квалітет. Отже в розрахунках приймаємо допуск на найбільший діаметр оброблюваного отвору по 12-му квалітету тобто для отвори  $\varnothing 50H12$   $w = 250$  мкм;

$\varepsilon_{noz}$  - Похибка позиціонування верстата. З паспорта верстата 2P135Ф2, на якому буде проводиться обробка = 20 мкм.

Виконуємо розрахунок допустимої похибки пристосування, яку не можна перевищити при виготовленні його деталей і їх складанні.

$$\varepsilon_{np} = 620 - 1,2 \cdot \sqrt{0,85 \cdot 50^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 300^2 + 0,6 \cdot 250^2 + 20^2} = 620 - 516,3 = 103,7 \text{ мкм}$$

За ГОСТ 24643-81 приймаємо найближче менше значення допуску паралельною торцевої поверхні деталі опора до підстави плити. Дана вимога, а саме паралельність двох поверхонь прийнято тому, що саме ця похибка буде надавати

найбільший вплив на точність обробки, а саме витримування в заданих межах допуску.

Найближче стандартне значення допуску паралельності по [29] 100 мкм для діапазону розмірів 250-360 мм, в який входить розмір Ø351 - плоскості торця, відповідає 10-й ступені точності.

Отже, на кресленні пристосування проставляємо допуск паралельності торця стакану до основи плити рівний 0,1 мм.

Опис пристрою і принципу дії пристосування.

Пристосування у збірці має задовольняти технічним вимогам-ям креслення загального вигляду і забезпечувати якісну обробку заготовки по заданих розмірах.

Пристрій складається з плити під якою змонтована пневмокамера і на якій встановлено стакан. При подачі стисненого повітря в і верхню порожнину відбувається закріплення заготовки. Подача повітря здійснюється через триходовий розподільний кран. При відключенні подачі повітря по-засобом перемикання триходового крана відбувається процес розкріплення заготовки за допомогою пружини (камера односторонньої дії).

Розрахунок на міцність. Розраховуємо на міцність різьблення штока. По конструктивних міркувань і попередньої компонованні пристосування приймемо різьбу на штоку М12х1,75-6g. Сила на штоку  $W = 8100$  Н, матеріал гвинта - Сталь 40 ГОСТ 1050-88.

Внутрішній діаметр різьби розраховується за формулою:

$$d_B = d_n - (0,541P) \cdot 2 \quad (2.25)$$

де  $d_n$  – зовнішній діаметр різьби;

$P$  – шаг різьби.

$$d_g = 12 - (0,541 \cdot 1,75) \cdot 2 = 10,2065 \text{ мм}$$



Мінімальна площа поперечного перерізу різьби розраховується за формулою:

$$S_{\min_{рез}} = \frac{\pi d_6^2}{4} \quad (2.26)$$

де  $d_6$  – внутрішній діаметр різьби.

$$S_{\min_{рез}} = \frac{\pi \cdot 10,2065^2}{4} = 60,22 \text{ мм}^2$$

Межа текучості для Сталі 40 дорівнює 300 МПа.

Допустимі напруги розтягування визначається за формулою:

$$\sigma_{P-} = 0,5 \cdot \sigma_T \quad (2.27)$$

Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів

$$\sigma_{P-} = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ МПа.}$$

Запишемо умова міцності на розтяг:

$$\sigma_P = \frac{W}{S_{\min_{рез}}} \leq \sigma_{P-} \quad (2.27)$$

$$\sigma_P = \frac{265}{60,22} = 4,41 < 150 \text{ МПа}$$

отже міцність штока забезпечується, так як міцність забезпечується навіть в його мінімальному перетині (на різьбовій ділянці).

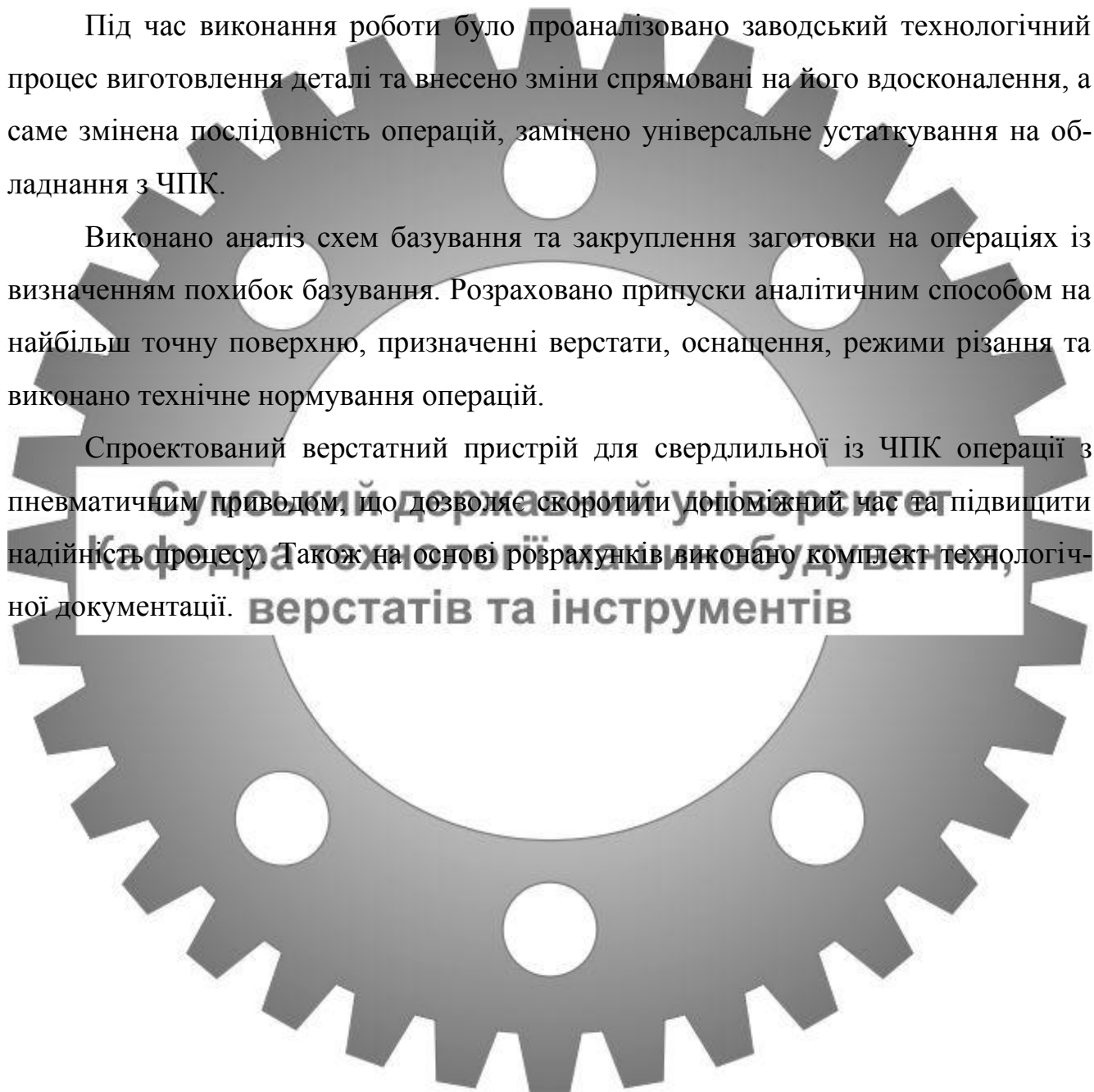
## 2.10 Висновки

Таким чином у розділі удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі шестерня у якості заготовки була прийнята поковка на КГШП, так як вона більш економічно вигідна, ніж вільна ковка.

Під час виконання роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК.

Виконано аналіз схем базування та закруплення заготовки на операціях із визначенням похибок базування. Розраховано припуски аналітичним способом на найбільш точну поверхню, призначенні верстати, оснащення, режими різання та виконано технічне нормування операцій.

Спроектований верстатний пристрій для свердлильної із ЧПК операції з пневматичним приводом, що дозволяє скоротити допоміжний час та підвищити надійність процесу. Також на основі розрахунків виконано комплект технологічної документації.



## РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Сучасний стан досліджень у галузі проектування та оптимізації конструкцій верстатних пристроїв

На даний час у світі розвиваються різні підходи до проектування та дослідження ВП для операцій механічної обробки деталей різних класів. Для аналізу сучасного стану досліджень у галузі проектування ВП та визначення актуального напрямку досліджень розглянуті основні підходи до проектування, а саме дослідження точності, гнучкості та оптимізації конструкцій ВП.

Авторами статті [21] проведені дослідження в галузі проектування затискних елементів ВП та запропоновано використовувати принцип «форми затискних елементів» та величини сил закріплення, для визначення їх оптимального місця положення на заготовці та залежно від цього оптимальну величину сили. При цьому застосовувався алгоритм, аналогічний алгоритму за яким працюють елементи захвату у роботів. Результатом є розроблення програмних додатків, що дозволяють з'єднати даний алгоритм із бібліотеками затискних елементів та проводити підбір або автоматизоване проектування затискних елементів з параметрами під конкретну деталь.

У роботах [22–24] авторами розроблена скінченноелементна модель системи «затискні елементи ВП – заготовка», що дозволяє визначати деформації поверхонь заготовки залежно від сили закріплення та проводити їх автоматизовану оптимізацію. При цьому модель враховує зміну коефіцієнта тертя між затискними елементами ВП та заготовкою у результаті змінання мікронерівностей на контактуючих поверхнях. Таким чином за рахунок оптимізації величини сил закріплення можна попередити виникнення пластичної деформації заготовки та здійснити надійне закріплення, адже змінання мікронерівностей на контактуючих поверхнях, що викликає зменшення контактного тиску буде враховано. Крім того, у роботі [24] представлено методику та алгоритм виконання прискорених розрахунків, що знижує вимоги до оперативної пам'яті комп'ютера.

У роботі M. Vasundara et. al. [25] виконали дослідження максимальної величини пружної деформації заготовки при її закріпленні у різних ВП за допомогою використання комплексу методів: скінченноелементного аналізу, штучних нейронних мереж та методології поверхні відгуку. Таким чином, виконувався підбір оптимальної конструкції ВП, де перевага надавалась тій конструкції ВП, де деформації найменші за інших рівних умов. Штучні нейронні мережі дозволяли суттєво прискорити розрахунки.

Li B. та Melkote S. у роботі [26] представили метод багатократної (повторної) оптимізації визначення місця розташування затискних елементів ВП при розрахунках динамічних параметрів системи «ВП – заготовка». Авторами встановлено та доведено ефективність використання оптимізаційних методів для 3D-моделей даних систем при їх розрахунках у програмах скінченноелементного аналізу. Максимальна величина позиційного вектора похибки обробки була скорочена на 58% за рахунок оптимізаційних методів.

У своїй роботі Nalbandh та Rajuaguru [27] запропонували використовувати «генетичний алгоритм» проектування та оптимізації конструкцій ВП, що базується на імовірнісних методах розрахунку. Це може бути впроваджено за рахунок використання методів, аналогічних до проектування технологічних процесів (ТП) у системах автоматизованого проектування.

Робота [28] присвячена розробці способу моделювання та оптимізації ВП для закріплення деталі при здійсненні свердлильної операції зі змінними конфігураціями ВП та режимів механічної обробки. У дослідженні використовуються системи комп'ютерного проектування та моделювання (CAD/CAE). У моделі задавались нестационарні умови, подібно до реального процесу різання, та виконувався модальний аналіз з метою виявлення оптимальної конструкції ВП.

Parastathis у роботі [29] підкреслює важливість впровадження переналагоджуваних ВП, але акцентує увагу на складності вибору оптимальної конструкції ВП для обробки тонкостінних деталей, що мають недостатню жорсткість. При

цьому вирішується питання щодо регулювання величини сили закріплення залежно від величини сили різання.

Робота [30] присвячена використанню методу балансування миттєвих сил та законів тертя для визначення оптимальної величини сили закріплення для мінімізації деформацій заготовки. За допомогою гармонічного аналізу у програмі ANSYS Workbench та застосування методики поділу шляху інструмента на 5 кроків навантаження (адже при фрезеруванні глибина різання змінюється від нуля до максимуму або навпаки, залежно від прийнятої схеми фрезерування) визначається оптимальна величина сили закріплення. У роботі враховується ефект видалення матеріалу.

Н. Deng у роботі [31] аналогічно роботі [30] на відміну від попередників, які розглядали систему «ВП – заготовка» як квазістатичну, розглянув вплив видалення оброблюваного матеріалу на поведінку та динаміку системи «ВП – заготовка» у процесі механічної обробки. Виконав оптимізацію визначення стійкості положення ВП та моделювання динамічної дії (удар) у процесі механічної обробки.

Аналіз літературних джерел показав, що у даний час науковці займаються розрахунками та розробкою моделей процесів взаємодії у системі «ВП – заготовка», а також дослідженням точності механічної обробки при зміні параметрів ВП. Вирішення питань оптимізації в основному присвячені оптимізації сил закріплення та стабільності положення ВП у процесі обробки. Проте недостатньо уваги приділяється підвищенню гнучкості ВП та зниженню їх металомісткості при забезпеченні достатньої точності у межах усього діапазону розмірної групи деталей, що є актуальною задачею. Використання гнучких ВП дозволяє скоротити допоміжний час на переналагодження, що може бути вигідним з точки зору собівартості продукції при невеликих партіях та частій зміні номенклатури, а зменшення їх металомісткості посилить економічний ефект.

### **3.2 Важливість верстатних пристроїв у виробничому процесі**

ВП відіграють важливу роль у виробництві якісної та конкурентоспромож-

ної продукції, особливо в умовах багатомоделного виробництва, яке вимагає швидкого переоснащення при переході до обробки деталей іншої номенклатури.

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується багатомоделністю виробів і нестабільністю обсягів випуску продукції. Зі збільшенням номенклатури виробів при використанні спеціальних ВП зростає час проектування та виготовлення технологічної оснастки, що призводить до збільшення собівартості готової продукції. Переналагодження збірних ВП, до яких належать універсально-збірні пристрої (УЗП), передбачає їх часткове або повне перекомпонування при переході до обробки деталей іншого типорозміру, що також потребує витрат часу. До того ж жорсткість збірних ВП через велику кількість з'єднань та наявність Т-подібних пазів часто є недостатньою для продуктивної обробки з режимами різання, що рекомендують світові виробники різального інструменту. Проблемою також є надмірна металомісткість зазначених вище ВП. Тому в останній час сучасні виробництва впроваджують гнучкі ВП, які забезпечують переналагодження на інший типорозмір деталей і мають достатню жорсткість при мінімально можливій масі. Разом із тим впровадження гнучких ВП повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності та якості поверхонь, заданих конструктором на кресленнях деталей, що можуть бути оброблені у ВП даного типу.

Варто відмітити, що враховуючи розширення технологічних можливостей сучасних верстатів, їх високу вартість та необхідність здійснення великої кількості переналагоджень при переході до обробки деталей іншого типорозміру, стрімкого розвитку набуває інтенсифікація виробництва. Інтенсифікація передбачає підвищення гнучкості ВП, скорочення підготовчо-заключного та допоміжного часу, а також можливості багатокоординатну обробку деталей за один установ, що повинно забезпечуватись саме конструкцією ВП, що повинні давати максимальну інструментальну доступність до усіх оброблюваних поверхонь.

У даний час у світовому машинобудуванні найбільш розповсюдженими типами виробництва є дрібно- та середньосерійний типи виробництва. Тенденціями до

розвитку ефективного виробництва в Україні та світі є:

- збільшення номенклатури виробів;
- зменшення непродуктивних витрат часу (допоміжного та підготовчо-заклучного);
- поширення багатокординатних верстатів із ЧПК;
- скорочення кількості технологічної оснастки.

### **3.3 Методика проведення та виявлення резервів оптимізації верстатних пристроїв**

Основним напрямком підвищення ефективності обробки заготовок у багатономенклатурному виробництві є автоматизація виробничих процесів. Підвищення автоматизації відбувається за рахунок використання верстатів із ЧПК та швидкого переналагоджування при переході до обробки заготовок іншого типу-розміру або конфігурації в межах технічних характеристик переналагоджуваних модулів.

Виконання умов до проектування ВП, що розглядалися у другому розділі, породжує наступні залежності та протиріччя [36, 37]:

- висока точність ВП залежить від його жорсткості;
- висока жорсткість ВП забезпечується за рахунок збільшення розмірів усіх елементів ВП;
- збільшення розмірів ВП призводить до збільшення металомісткості ВП, а це є неприпустимим, адже спричиняє зростання собівартості ВП, і як результат – збільшення собівартості деталей, які у ньому виготовляються. Також надмірна металомісткість ВП викликає потребу застосування підйомних механізмів при транспортуванні та встановленні на верстаті, а також верстатів з більшою вантажопідйомністю робочого стола, що також негативно впливає на собівартість кінцевого продукту, знижуючи його конкурентоспроможність.

Для вирішення вищевказаних протиріч можуть бути застосовані методи оптимізації. Проблема зниження металомісткості та відповідно маси конструкцій іс-

нувала завжди, проте зараз вона стала ще більш актуальною. Інженери-проектувальники за допомогою складних математичних розрахунків визначали оптимальні розміри елементів ВП, але даний підхід мав досить великі похибки через те, що для спрощення розрахунків та економії часу деталі складної геометричної форми розкладалися на простіші складові, що розраховувалися окремо. У результаті цього для деталей машинобудування приймали коефіцієнт запасу міцності 2–2,5, а це, у свою чергу, збільшує металомісткість у стільки ж разів. Термін служби ВП визначається або терміном його роботи до капітального ремонту, або періодом випуску деталей, що у ньому обробляються, а це, як правило, не більше 5 років. Тому ВП із завищеною металомісткістю є економічно не вигідними, адже морально застарівають, не відпрацювавши свій запланований термін роботи.

Сучасні комп'ютерні технології дозволяють конструкторам технологічної оснастки застосовувати автоматизовані засоби оптимізації, які забезпечують швидкий та точний розрахунок спроектованих конструкцій на міцність, аналіз напружено-деформованого стану (НДС), визначення власних частот та власних амплітуд коливань ВП. Точність розрахунків та їх продуктивність при використанні комп'ютерних програм безсумнівно набагато вища, ніж при традиційному підході.

Тому на основі розробленого технічного рішення [34] запропоновано методику проведення та виявлення резервів оптимізації ВП за критерієм мінімізації маси ВП при забезпеченні достатньої його жорсткості.

Оптимізаційні розрахунки ВП за допомогою комп'ютерних програм запропоновано здійснювати за вдосконаленим алгоритмом (рис. 3.1), який дозволяє визначити оптимальні розміри та конфігурацію ВП.

Розміри та металомісткість ВП можуть бути зменшені (при виконанні перш за все умови досягнення необхідної точності) за рахунок проведення наступних заходів при проектуванні:

- зменшення довжини вильотів консольних частин елементів ВП;



– використання у конструкціях ребер жорсткості, що розташовані у протилежному напрямку дії сили. При цьому можна уникнути необхідності збільшувати перетин деталі, що піддається навантаженням;

– проектування деталей з карманами та пустотілих конструкцій або хоча б при можливості мінімізувати товщину стінок;

– використання матеріалів з високою межею міцності;

– використання композиційних матеріалів;

– спрощення конструкції;

– зменшення кількості стиків.

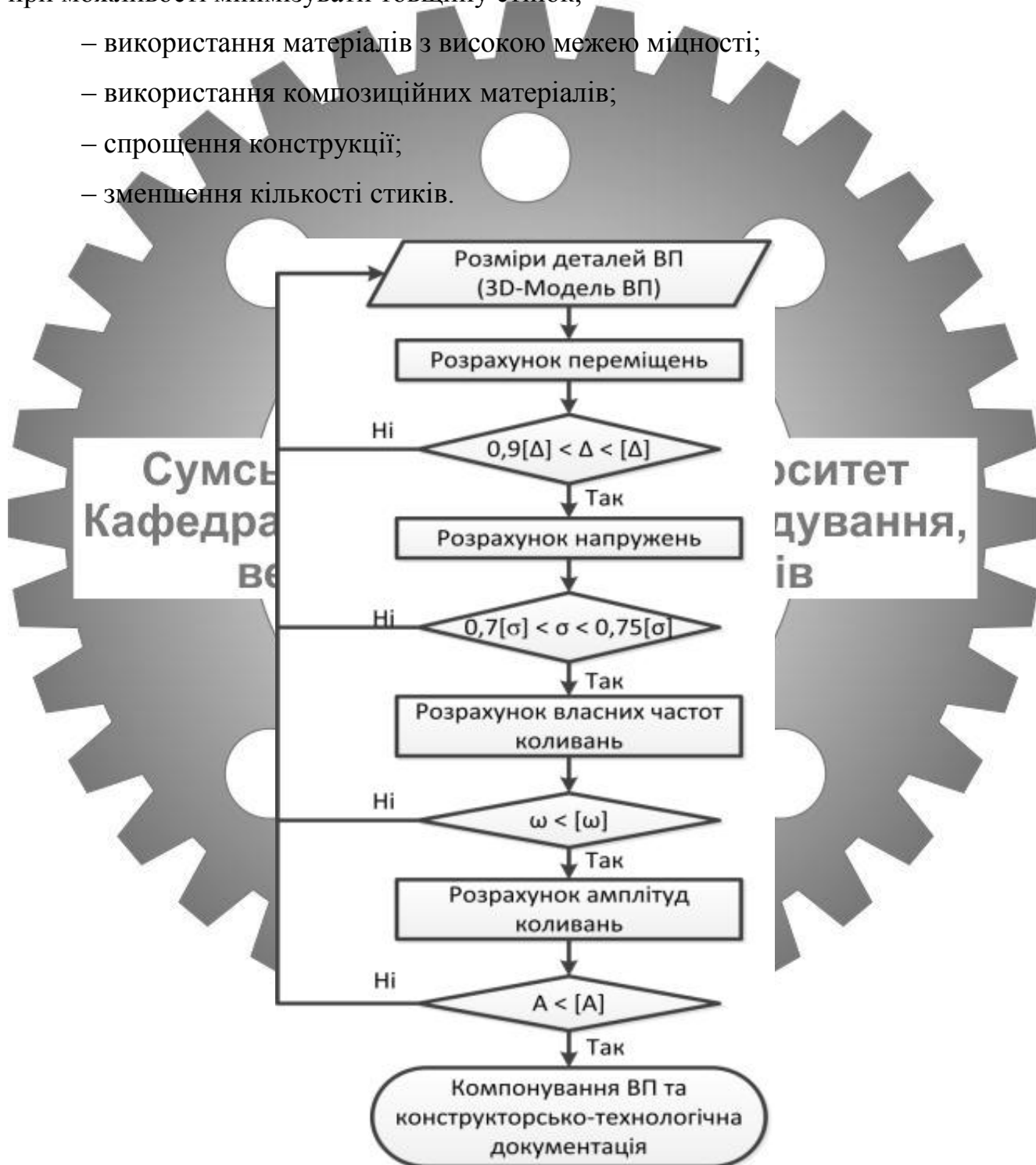


Рисунок 3.1 – Алгоритм параметричної оптимізації конструкції ВП

Обмеженнями при проведенні оптимізації є:

- конструктивні особливості деталі, що вимагає застосування ВП ускладненої конструкції;
- ціна матеріалів, що мають високу межу міцності та складність їх механічної обробки;
- недостатнє поширення композиційних матеріалів у машинобудуванні та їх ціна;
- обмежені технологічні можливості обладнання на конкретному підприємстві.

Як і в багатьох проектних ситуаціях має місце протиріччя між основними вимогами. Наприклад ВП, що має велику масу може мати гарну стійкість, але бути невигідним з економічної та експлуатаційної точок зору. Тому такі питання повинні вирішуватись оптимізаційними розрахунками. Для цього необхідно математично записати цільові функції (3.1) та технічні обмеження (3.2) для конкретної задачі, а саме досягнення мінімальної металомісткості ВП при дотриманні ним точнісних параметрів при обробці деталі.

$$M_{ВП} = \sum_{i=1}^n (\rho_i \cdot V_i) \rightarrow \min \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} 0,7 \sigma < \sigma < 0,75 \sigma \\ 0,9 \Delta < \Delta < \Delta \\ \omega > \omega \\ A < [A] \end{aligned} \quad (3.2)$$

Таким чином згідно алгоритму, обмеження будуть виражені величиною допустимих напружень  $[\sigma]$ , що обмежується межею міцності/текучості матеріалу, тому фактичні напруження  $\sigma$  повинні знаходитись у межах  $(0,7-0,75)[\sigma]$ , що відповідає коефіцієнту запасу міцності 1,3–1,4, значення яких обґрунтовані наявністю точних розрахункових моделей. Також вузький діапазон відхилень еквівалентних напружень забезпечує принцип рівномірності конструкції. Величина фактичних деформацій  $\Delta_f$  повинна знаходитись у межах  $(0,9-1)[\Delta]$ . Допустиме значення

деформації  $[\Delta]$  визначається допуском на обробку і якщо  $\Delta < 0,9 [\Delta]$ , то є резерв для зменшення розмірів елементів ВП, адже допуски на обробку в цьому випадку будуть гарантовано витримані. Якщо  $\Delta > [\Delta]$ , то необхідно збільшувати розміри елементів ВП, або здійснювати його перекомпонування.

Аналіз конструкції ВП для багатокординатної обробки деталей типу важелів різних типорозмірів виконується на основі запропонованого верстатного пристрою, що розроблений у розділі 2.10 (рис. 3.2).

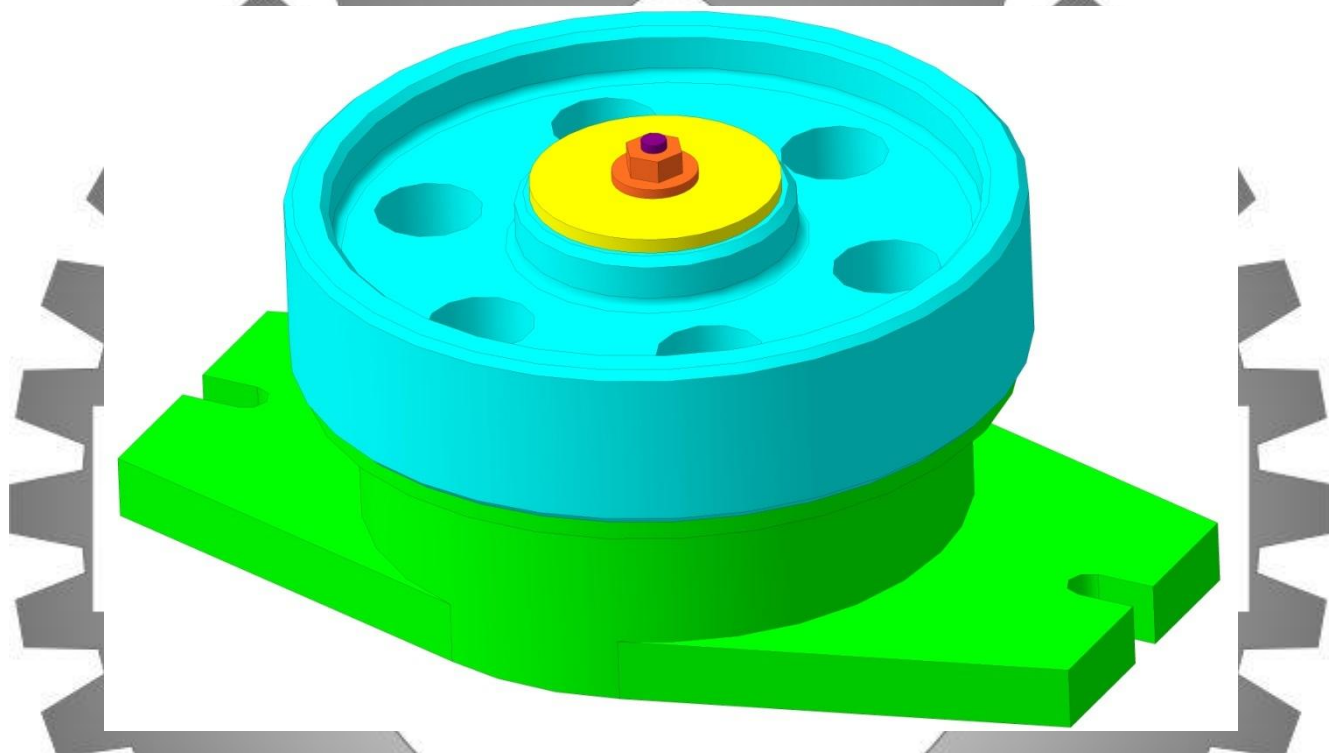


Рисунок 3.2 – Розроблений ВП для свердлильної операції

Під час здійснення аналізу виконано деталювання ВП згідно з рис. 3.2 та розглянуто можливість зміни розмірів кожної з деталей окремо. При цьому враховано необхідність зміни приєднувальних розмірів інших деталей, що контактують з аналізованою [38, 39].

Згідно з рис. 3.2 виконувався детальний аналіз можливості зміни розмірів всіх деталей, спираючись при цьому на розміри стандартних деталей, що присутні у компонентуванні ВП.

### 3.4 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) виконувалось для визначення оптимальних розмірів ВП, які будуть задовольняти всім точнісним параметрам для обробки деталі. При цьому визначались похибки при обробці, що виникають у результаті деформацій елементів ВП, та виконувалось порівняння їх з допустимими значеннями на відповідній операції механічної обробки для деталі шестерня. Допустимі значення похибок обмежуються допусками згідно з кресленням деталі «Шестерня». Також дослідження НДС ВП передбачає перевірку на міцність, виявлення концентраторів напружень та елементів, де напруження більші, ніж допустимі для конкретного матеріалу, та при їх наявності удосконалення конструкції. На даному етапі досліджень виконувалась перевірка еквівалентних напружень, які виникають у місцях контакту між установлювально-затискними елементами та заготовкою у результаті дії сил закріплення та силових факторів процесу різання (сили різання та моменти), а також умови за допустимими напруженнями для деталей із конкретних матеріалів. Для цього поряд з вирішенням задачі з визначення НДС вирішувалась контактна задача. Механічні властивості матеріалів, які використовуються у моделі, наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості матеріалів заготовки та елементів ВП

Матеріал	Модуль пружності $E$ , ГПа	Коефіцієнт Пуассона $\mu$	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Границя міцності при розтягуванні $[\sigma_{\text{раст}}]$ , ГПа	Границя міцності при стисненні $[\sigma_{\text{ск}}]$ , ГПа	Границя текучості $\sigma_T$ , ГПа
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	200	0,3	7850	0,980	0,980	0,785
Сталь 45 ГОСТ 1050-88 (термооброблена)	200	0,3	7850	0,950	0,950	0,726

Першим етапом при вирішенні вищевказаних задач згідно оптимізаційного алгоритму було розроблення скінченноелементної розрахункової моделі ВП. Кінематичні та силові граничні умови моделі ВП відповідають реальним схемам закріплення із зовнішнім навантаженням та задавалися жорстким закріпленням по нижній поверхні основи ВП, що еквівалентно встановленню ВП на стіл верстата. Усі елементи ВП жорстко зв'язані між собою шляхом об'єднання вузлів, а на поверхнях, які зв'язані одна з одною за рахунок дії сил тертя, встановлена можливість переміщення з відповідним коефіцієнтом тертя між цими поверхнями. Можливі переміщення елементів ВП із зазначенням типу контактів і характеристик контактних пар, а також коефіцієнтів тертя [4] між елементами.

За допомогою розрахункового комплексу ANSYS [41, 42] отримані результати переміщень та напружень, що виникають у конкретних деталях та в місцях їх контакту. Значення максимальних еквівалентних напружень, визначених за IV гіпотезою міцності Мізеса [43, 44], та максимальних переміщень, що виникли при моделюванні процесу механічної обробки зі сталі 40X наведені у табл. 3.2. Як приклад, ілюстрації зі скінченно елементною сіткою, розрахунковими схемами навантажень, переміщеннями та напруженнями при обробці шестерні наведені на рис. 3.3 – 3.6.

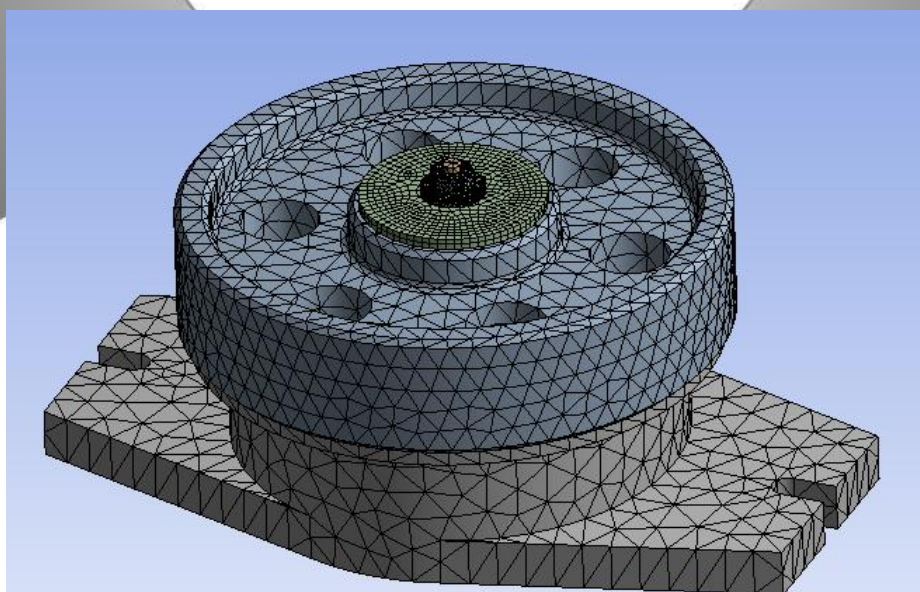


Рисунок 3.3 – ВП та деталь зі скінченно елементною сіткою



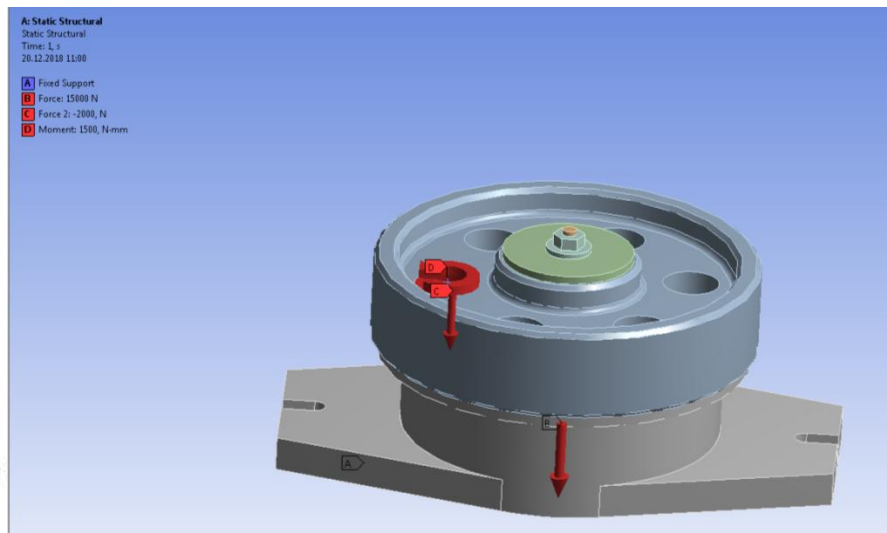
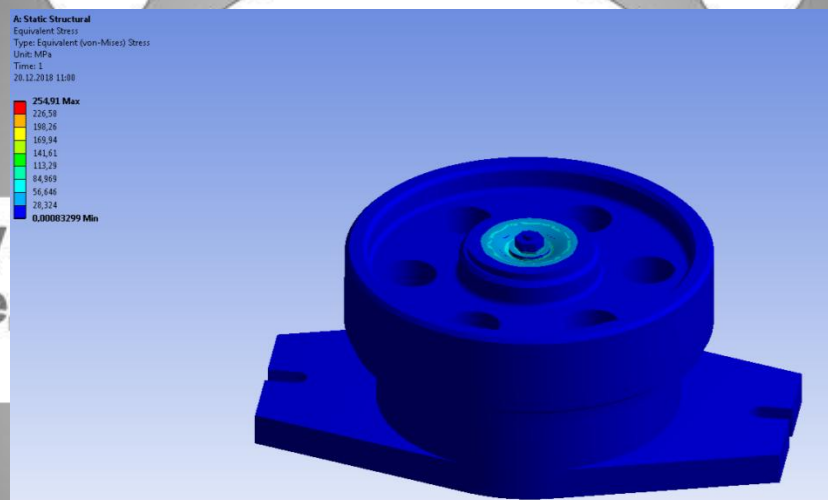
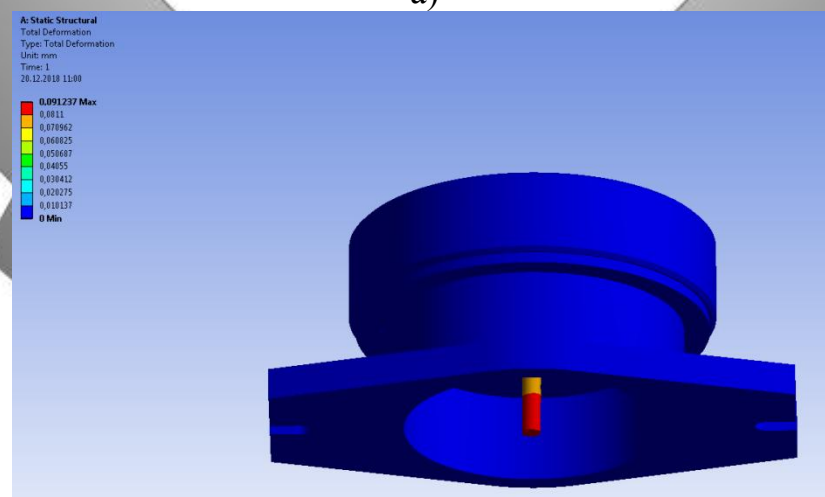


Рисунок 3.4 – Схема прикладення навантажень від сил закріплення та сил різання



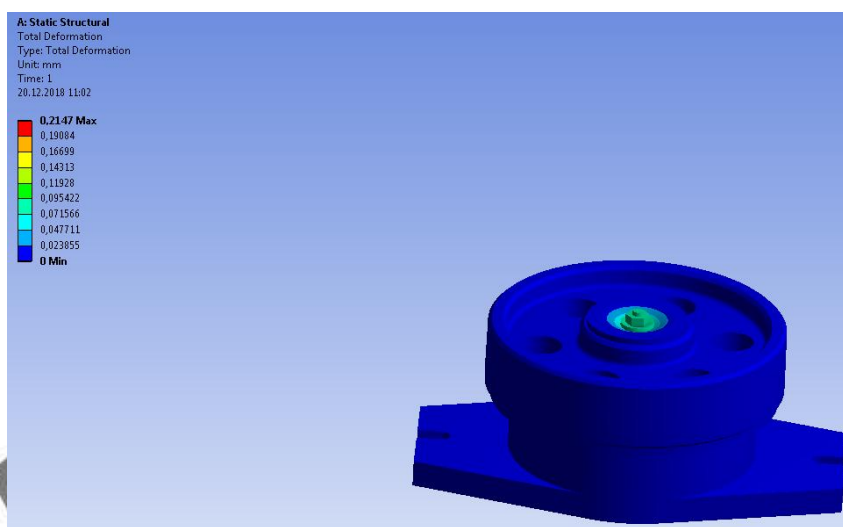
а)



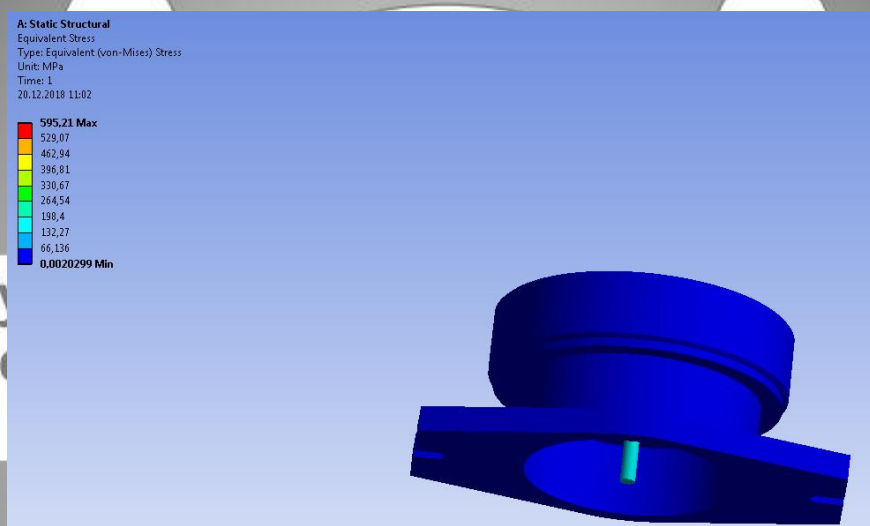
б)

Рисунок 3.5 – Переміщення елементів системи «ВП-заготовка»:

а) – вид зверху; б) – вид знизу



а)



б)

Рисунок 3.6 – Напруження елементів системи «ВП-заготовка»:

а) – вид зверху; б) – вид знизу

Таблиця 3.2 – Результати чисельного моделювання у програмному комплексі ANSYS для розробленого ВП

Технологічний перехід	Максимальні переміщення, мм	Допустимі переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа
Розсвердлювання отвору Ø50 мм	0,07	0,2	416	650

### 3.5 Модальний аналіз запропонованого верстатного пристрою

Для запобігання виникнення явища резонансу в процесі механічної обробки важеля необхідно, щоб частота власних коливань елементів ВП не співпадала з частотою процесу різання. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є призначення інших режимів різання [45]. Для цього за допомогою вбудованого модуля у програмному комплексі ANSYS визначаються частоти власних коливань запропонованого ВП та порівнюються з частотами, що виникають у процесі механічної обробки (табл. 3.3). Результати цього аналізу за необхідності дозволяють відлаштуватися від резонансу. Рисунки з виглядом форм власних коливань для досліджуваної системи «ВП – заготовка» наведені на рис. 3.7 – 3.9.

Таблиця 3.3 – Порівняльна таблиця власних частот, які виникають у процесі механічної обробки

1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота процесу різання, Гц
302	305	1685	38

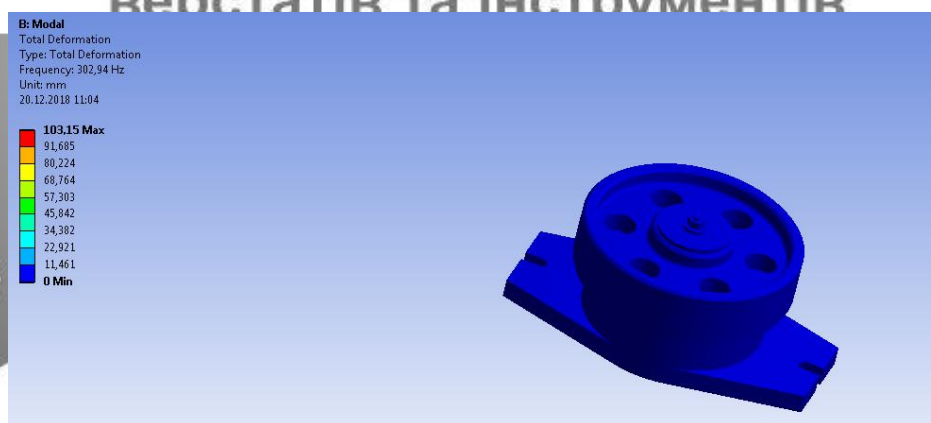


Рисунок 3.7 – Ілюстрація 1-шої критичної частоти системи «ВП – заготовка»



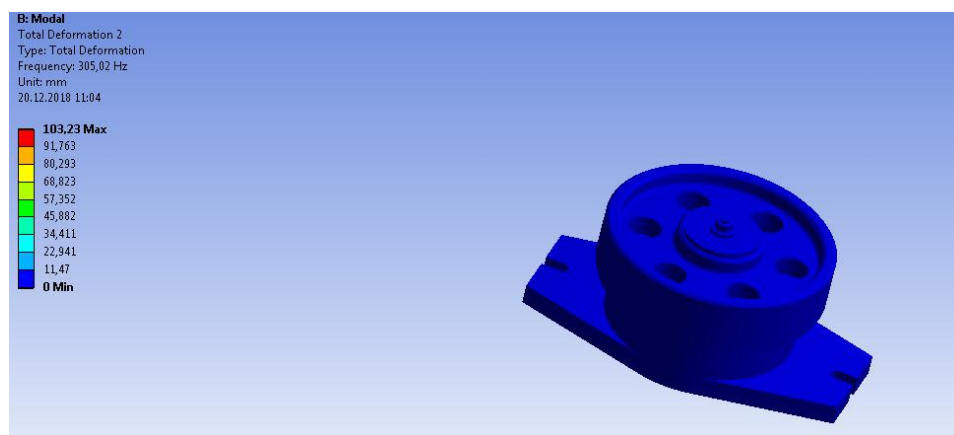


Рисунок 3.8 – Ілюстрація 2-ї критичної частоти системи «ВП – заготовка»

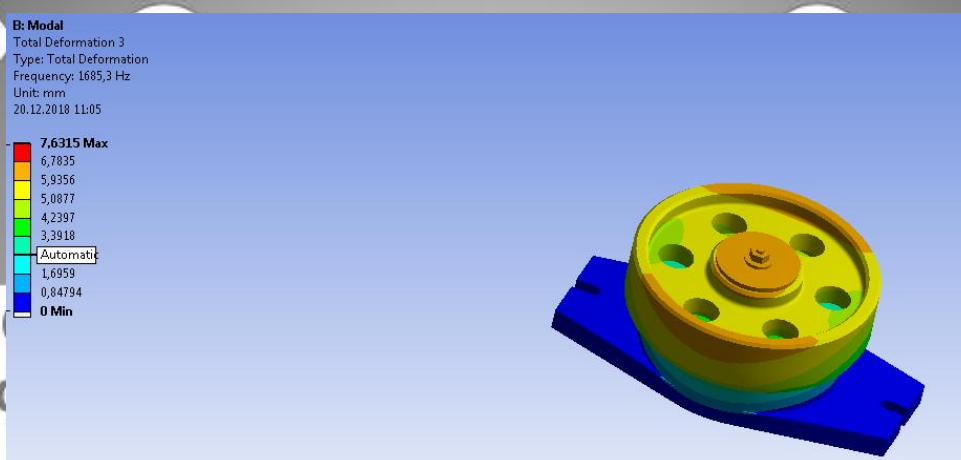


Рисунок 3.9 – Ілюстрація 3-ї критичної частоти системи «ВП – заготовка»

Із табл. 3.3 видно, що для запропонованої конструкції ВП резонансу не виникає, оскільки перша критична частота власних коливань ВП набагато вища за максимальну частоту процесу різання.

Також із отриманих значень форм коливань 1-ї та 2-ї частоти (рис. 3.7 – 3.8) та їх величини 302 Гц та 305 Гц відповідно дуже близькі за значеннями, отже це є доказом того, що розрахунки виконані вірно та модель адекватна. Результати модального аналізу дозволяють висунути гіпотезу, що динамічна жорсткість запропонованого ВП оптимізованої конструкції буде достатньою для проведення механічної обробки без виникнення резонансних режимів.

### 3.6 Гармонічний аналіз запропонованого верстатного пристрою

Остаточно впевнитись у тому, що динамічна жорсткість запропонованого ВП є достатньою, дозволить визначення величини амплітуди коливань у місцях оброблюваних поверхонь, що виникають при зміні величини зовнішніх навантажень. Визначення амплітуд коливань можна виконати за допомогою гармонічного аналізу, тобто дослідження динамічного стану елементів системи «ВП – заготовка» при механічній обробці деталі «Шестерня» у запропонованому ВП.

Гармонічний аналіз виконувався за допомогою вбудованого модуля Harmonic Analysis програми ANSYS Workbench. Амплітуди динамічних складових сил та моментів різання обирались у межах 20% від номінального значення їх величин. Модель враховує кулонівське тертя між контактними поверхнями ВП, які мають приблизно однакову величину шорсткості (1,6 мкм за критерієм Ra) з коефіцієнтом 0,1 [4]. Величини коефіцієнтів тертя для контактних пар між елементами ВП та заготовкою взяті з [4].

Діапазон частот коливань був вибраний із міркувань забезпечення охоплення трьох перших частот власних коливань всіх ВП, значення яких були отримані раніше. Максимальна третя частота власних коливань склала 1685 Гц, тому обираємо діапазон  $0 \dots 2 \cdot 10^3$  Гц. Для вказаного діапазону частот коливань отримані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) елементів ВП, виявлені до- та зарезонансні режими. Попередні дослідження показали, що діапазон робочих частот процесу різання при обробці важеля не перевищує 100 Гц, що дозволяє обмежитись діапазоном  $0 \dots 100$  Гц на графіках АЧХ при визначенні величини переміщень. Для забезпечення рівних умов порівняльний аналіз величини переміщень проводимо на максимально можливій частоті, що може виникнути у процесі обробки – 100 Гц.

У результаті чисельного моделювання динаміки системи «ВП – заготовка» отримані значення амплітуд коливань і резонансних частот, зумовлених процесом різання. Визначені значення переміщень точок у зоні обробки для запропонованої конструкції ВП для найбільш навантаженого переходу розсвердлювання отвору

Ø50 мм (табл. 3.4, рис. 3.10). За результатами досліджень НДС найбільш навантаженим переходом для ВП з мінімальними та максимальними розмірами є свердління бобишки допоміжного отвору, що розташований паралельно головному.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку динамічної жорсткості ВП при свердлінні

Номінальна величина сили різання, Н	Амплітуда динамічної складової сили різання, Н	Максимальна амплітуда переміщення точки, мкм	Розрахункова динамічна жорсткість, $10^7$ Н/мм
3650	662	24	0,27

Frequency Response

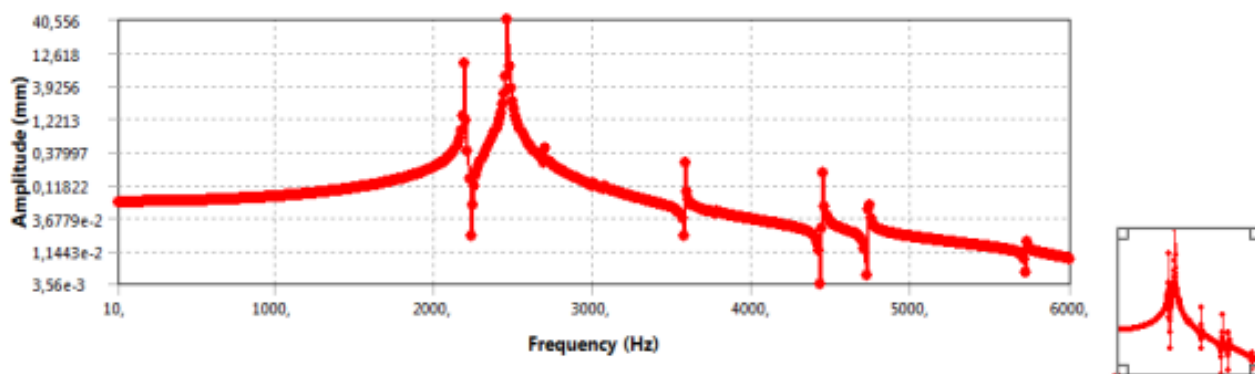


Рисунок 3.10 – АЧХ запропонованого ВП при свердлінні

### 3.7 Висновки

1. Запропоновано алгоритм оптимізації запропонованої конструкції ВП, де цільовою функцією є зниження металомісткості. За запропонованим алгоритмом встановлено оптимальні параметри елементів розробленої конструкції ВП для свердління.

2. Визначено максимальні величини переміщень та напружень у запропонованому ВП, та за отриманими результатами доведено можливість обробки деталі «Шестерня» у розробленому ВП.

3. Визначені власні частоти коливань запропонованого ВП та встановлено, що при даних режимах обробки резонанс не виникне.

4. Визначені амплітуди коливань, що виникають при механічній обробці деталі «Шестерня» та встановлено, що динамічна жорсткість запропонованого ВП є достатньою.



## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів на ділянці з виготовлення деталі «Шестерня»

Проведемо аналіз умов праці в механоскладальному цеху Сумського державного університету, де виготовляється деталь «Шестерня».

Даний аналіз проводимо з використанням нормативних правових актів, до яких відносяться:

- стандарти системи безпеки (ССБТ);
- будівельні норми і правила (СНиП);
- санітарні норми і правила (Санпін);
- міжгалузеві правила по охороні праці;

– галузеві правила з охорони праці; міжгалузеві і галузеві організаційно-методичні документи (положення, методичні вказівки, рекомендації); та інструментів

- типові галузеві інструкції з охорони праці;
- інструкції з безпеки.

Технологічний процес обробки деталі «Корпус» здійснюється на ділянці, розміщеній у механічному цеху, зібраному з типових секцій висотою 5 м.

У технологічному процесі обробки деталей задіяні наступні верстати та обладнання:

- токарні верстати;
- координатно-розточні верстати;
- фрезерні верстати;
- сведильні верстати;
- комплексний оброблюваний центр із ЧПК.

Тип виробництва – багатомономенклатурний. Обладнання розставлено за груповою ознакою.

Для транспортування і зберігання деталей, заготовок і відходів виробництва використовується тара-контейнери, виготовлені відповідно до ГОСТ 14861. Згідно ГОСТу контейнери використовуються для заготовок і деталей: Тара1-1-100-80.

Установка заготовок на верстатах при обробці на токарних, координатно-розточувальних верстатах проводиться в стандартних умовах – 3-х кулачкових патронах і лещатах відповідно. Крім того на координатно-розточний і багатоцільовий операції, застосовуються для установки та закріплення заготовок спеціальні пристосування з гідроприводом, що працюють при тиску в мережі 0,4 МПа. При встановленні заготовки в пристосування застосовується кран-балка вантажопідйомністю  $Q=1$ т. Ця ж кран-балка застосовується для установки пристроїв на верстаті. Маса пристосування на операції до 30 кг. На контрольній операції використовується спеціальне пристосування масою 30 кг встановлення якого також здійснюється за допомогою кран-балки.

Ріжучий інструмент застосовується в основному стандартний, але є й спеціальні різці, використовувані на токарних і розточувальних операціях. На токарних операціях інструмент здійснює зворотно-поступальний рух, а при фрезеруванні - обертальний рух. При контролі на робочому місці і столі ВТК в якості вимірювального інструменту застосовується стандартний – шкальний та граничний інструмент.

Аналіз виробничого ділянки дозволяє виділити наступні потенційні небезпеки і шкідливості:

- можливість контакту з рухомими частинами обладнання (пересуваються столом, супортом, обертювим інструментальним магазином);
- можливість контакту з рухомим технологічним транспортом;
- можливість падіння заготовки при встановленні і знятті її з верстата в результаті відсутності схеми стропування;
- можливість появи небезпечної зони при транспортування тари, пов'язана з відсутністю маршруту переміщення або його порушенням;
- руйнування конструкцій інструменту, в результаті перевищення нава-

нтаженнями гранично допустимих значень;

- розкріплення деталі в пристосуванні з пневмоприводом під час її обслуговування на координатно-розточувальному верстаті з ЧПК з-за раптового припинення підведення повітря (при відмові компресора).

- замикання електричного ланцюга на металеві нетоковедущі частини обладнання в результаті порушення цілісності ізоляції струмоведучих частин; По пожежній небезпеці приміщення проектного ділянки відноситься до категорії «Д», тобто в приміщенні використовуються негорючі речовини і матеріали в холодному стані. Обладнання підключається до електричної мережі з трифазним струмом напругою 380 В і частотою 50 Гц.

- недостатня освітленість робочого місця при обробці поверхонь; Освітлення виробничого приміщення здійснюється природним і штучним світлом. Природне освітлення здійснюється за комбінованою схемою: через світлові отвори в бічних стінах і світлоаераційних ліхтарях. Загальне штучне освітлення здійснюється світильниками з лампами денного світла, застосування яких дозволено ДБН В.2.5-28-2006 [11]. Для місцевого освітлення застосовуються світильники, встановлені безпосередньо на робочому місці.

- контакт робочого, при виконання технологічних операцій (контроль, встановлення і зняття деталі), з гострими кромками, задирок на поверхнях заготовок;

- контакту робітника, при виконанні технологічних операцій (під час механічної обробки) з вилітає стружкою, утвореної в процесі різання;

- контакту робітника, при виконанні технологічних операцій (контроль, встановлення і зняття деталі), з поверхнями обладнання, заготовок, інструментів, що мають підвищену температуру в результаті виділення тепла при різанні і при терті контактуючих поверхонь;

- підвищений сумарний рівень шуму при спільній роботі обладнання;

- підвищення вібрації обладнання через переривчастих процесів різання;



– запиленість і загазованість повітря робочої зони пилом і парами речовин, що утворюються при випаровуванні ЗОР.

Як МОР при обробці заготовок на ділянці використовується 5% розчин «Аквол-2». До її складу входять ПАР з додаванням мінеральних масел та інгібіторів корозії. Дана ЗОР має малу токсичність, не володіє дратівливою дією і не є активним джерелом забруднення повітря. ЗОР відноситься до 4-му класу небезпеки.

Виконувані робітниками на ділянці операції відносяться до робіт середньої важкості, категорія 2-б. Категорія зорових робіт за ДБН В.2.5-28-2006 від малої, середньої точності на чорнових операціях, до високої точності на чистових і контрольних операціях.

При обробці деталей, матеріалом яких є в'язка сталь, утворюється зливна стружка на токарних операціях і елементна стружка при фрезеруванні. На чорнових операціях при обробці по кірці утворюється пил від окалини з розмірами частинок від 2 до 60 мкм. На робочому місці забирається стружка з устаткування з допомогою гачка і шляхом змитання за допомогою щіток. Навколо устаткування і робочого місця забирається стружка допоміжними робітниками в контейнери, які потім транспортуються у відведене місце в цеху для подальшого вивезення.

Виконувані робітниками на ділянці операції відносяться до робіт середньої тяжкості, категорія II-б. Категорія зорових робіт по ДБН В.2.5-28-2006 від малої, середньої точності на чорнових операціях, до високої точності на чистових і контрольних операціях.

Для розроблення організаційних заходів, що забезпечують безпечні умови праці на ділянці з виробництва деталі типу корпус виконаємо порівняння допустимих та фактичних величин температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень шляхом порівняння показників у таблицях 4.1 та 4.2.

Відповідно до вимог техніки безпеки, викладеними в стандартах ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ. «Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки» в дипломному проекті передбачається комплекс таких заходів:



- для запобігання контакту робочого з рухомими частинами обладнання, передбачити відповідно до застосування додаткових захисних пристроїв, відповідних вимогам. Це, зокрема, додаткові огороження, що закривають рухомі частини обладнання (супорт, стіл, інструментальний магазин верстата);
- для забезпечення безпечного руху наземного транспорту транспортні шляхи встановлюються відповідно до СНиП 2.05.02 і повинні відповідати вимогам;
- для запобігання падінню заготовки при установці і знятті її з верстата розробити схему стропування;
- при транспортуванні тари, розробити маршрут переміщення і розташувати його на видному місці;
- відповідно до в комплекті до верстатного обладнання передбачити запобіжні пристрої (запобіжні патрони, оправки), що захищають від перевантаження, здатної викликати поломку інструменту і травмування працюючих;
- відповідно до в комплекті до пристосування з гідроприводом передбачити запобіжні пристрої - зворотні клапани для запобігання розкріплення деталей при раптовому припиненні подачі масла;
- для запобігання замикання через тіло людини електричного кола з підвищеним значенням напруги відповідно до передбачаються наступні заходи: підключення виробничого обладнання до заземлювального пристрою; наявність подвійної або посиленої ізоляції з пробивним напругою не менше 4000 В; на кожному робочому місці близько верстата повинні бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони, а за шириною не менше 0,6 м від частин верстата. Передбачається також застосування засобів індивідуального захисту (гумові калоші, килимки);
- для забезпечення освітленості робочих місць передбачити використання додаткових світильників місцевого освітлення на токарних операціях;
- для запобігання контакту робочого з поверхнями мають гострі кромки, задирки, шорсткість передбачити індивідуальні засоби захисту (рукавиці);

– для обмеження зони поширення стружки використовувати захисні екрани, як стаціонарно встановлені на обладнанні, так і окремо. На металорізальних верстатах зону обробки закривати захисними кожухами;

– для запобігання контакту робочого з поверхнями мають підвищену температуру (в основному поверхні обладнання, інструменту, стружки і оброблюваних деталей) використовувати захисні кожухи, індивідуальні засоби захисту (рукавиці). Для зниження температури в зоні різання використовувати МОР;

– для зменшення рівня шумів на робочому місці передбачити раціональну розстановку устаткування, що враховує фактор спрямованості, рекомендувати для облицювання стін і стель використовувати шумопоглинаючі матеріали для покриття внутрішніх поверхонь виробничих будівель, уникати по можливості переривчастого різання;

– для зменшення вібрації використовувати віброізоляцію обладнання. У конструкції виробничого обладнання передбачити виконання всіх вимог по вібраційній безпеці. Уникати переривчастих процесів різання. Для підтримки обладнання у відповідності з його технічними характеристиками передбачити систему планово-попереджувальних ремонтів;

– для недопущення перевищення гранично-допустимих значень концентрацій шкідливих речовин і пилу в повітрі робочої зони зазначених використовувати систему загальнообмінної вентиляції та очищення повітря.

Таблиця 4.1 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна (%) на робочих місцях - постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) робочих місцях - постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період	Середньої важкості Пб	21	23	15	13	75	не більше 0,4
Теплий період	Середньої важкості П	27	29	15	15	70 - при 25°С	0,5 - 0,2

Таблиця 4.2 – Фактичні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочих місцях постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) на робочих місцях постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період руху	Середньої важкості Пб	20	19	18	14	75	не більше 0,4
Теплий період року	Середньої важкості Пб	22	25	20	20	70 - при 25°С	0,5 - 0,2

#### 4.2 Розрахунок освітленості робочої зони, розрахунок природнього та штучного освітлення

Необхідно визначити ефективність природнього освітлення в цеху. Виробнича ділянка відноситься до групи механічних ділянок і має площу – 400 м<sup>2</sup>. При цьому, ширина прольоту – 18 м, крок внутрішніх колон – 12 м, а висота цеху – 7,2 м. Розміри ділянки: довжина – 50 м, ширина – 8 м.

Вихідні дані:

Розміри віконних проємів (висота × ширина), м – 5×2;

Кількість вікон - 12 шт.

Висота від підлоги до вікна – 1,5 м.

Вікна розміщені вздовж більш довгої стіни.

Середньозважений коефіцієнт відбиття внутрішніх поверхонь  $\rho_{\text{ср}}$  – 0,4.

Найбільш віддалене місце від вікна – 8,0 м.

Рішення:

Нормоване значення коефіцієнта природнього освітлення для четвертого кліматичного пояса України,  $e_{\text{н}}^{\text{IV}}$ , визначаємо за формулою:

$$e_{\text{н}}^{\text{IV}} = e_{\text{н}}^{\text{III}} \cdot m \cdot c \quad (4.1)$$

де  $e_n^{III}$  - нормоване значення КПО для III світлового пояса за ДБН В.2.5-28-2006.

Для верстатників у цеху, в якому виконуються роботи IV розряду (середньої точності), для бокового верхнього освітлення  $e_n^{III} = 1,5\%$ .

$m$  - коефіцієнт світлового клімату (для України  $m = 0,9$ );

$s$  - коефіцієнт сонячності (для м. Суми  $s = 0,8$ ).

$$e_n^{III} = 1,5\% \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,08\%$$

Визначимо фактичне значення КПО за формулою:

$$e_\phi = \frac{100 \cdot S_o \cdot t_o \cdot r_1}{S_n \cdot n_o \cdot K_3 \cdot K_{3d}} \quad (4.2)$$

де  $S_o$  - площа усіх вікон у приміщенні,  $m^2$ ;

$$S_o = 2 \cdot 5 \cdot 12 = 120 \text{ м}^2;$$

$S_n$  - площа підлоги в приміщенні,  $m^2$ ;

$$S_n = 50 \cdot 8 = 400 \text{ м}^2;$$

$t_o$  - загальний коефіцієнт світлопропускання віконного проєма; для заданих умов  $t_o = 0,5$ ;

$r_1$  - коефіцієнт, який враховує відбиття світла від внутрішніх поверхонь приміщення  $r_1 = 1,2$ ;

$n_o$  - світлова характеристика вікна.

Виходячи з відношення довжини приміщення до його глибини рівної:  $50/8=6,1$  та відношення глибини приміщення до його висоти від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна до верху вікна рівної:  $8/5=1,75$  значення світлової характеристики  $n_o = 13$ .

$K_{3d}$  - коефіцієнт який враховує затемнення вікон будинками, що розташовані навпроти. При їх відсутності  $K_{3d} = 1$ .

$K_3$  - коефіцієнт запасу, знаходиться в межах  $1,3 \div 1,5$ .

Прийmemo середє  $K_3 = 1,4$ .

$$e_{\phi} = \frac{100 \cdot 120 \cdot 0,5 \cdot 1,2}{400 \cdot 13 \cdot 1,4 \cdot 1} = 0,71\%$$

При порівнянні фактичного КПО  $e_{\phi} = 0,71\%$  з нормативним  $e_{н}^{IV} = 1,08\%$  приходимо до висновку, що природнє освітлення в цеху не ефективне. Для поліпшення освітлення у цеху пропонується пофарбувати стіни у білий колір та встановити додатково штучні джерела освітлення, які необхідно розрахувати.

Прийемо вид джерела світла – лампи розжарювання.

Кількість світильників – 12.

Кількість ламп у світильнику – 1.

Значення розрахункової освітленості, лм, знайдемо за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку за формулою:

$$F_{\phi} = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot k \cdot Z}{n_{н} \cdot N \cdot n} \quad (4.3)$$

Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів

Розрахункова освітленість повинна задовольняти умовам нормативної величини і складає для ламп розжарювання не менше 50 лк. Знайдемо мінімально необхідний світловий потік лампи:

$$F_{\phi \min} = \frac{50 \cdot 400 \cdot 1,75 \cdot 1,15}{0,5 \cdot 12 \cdot 1} = 1380 \text{ (лм)}$$

де  $n_{н}$  – коефіцієнт використання світлового потоку;  $n_{н} = 0,4 \div 0,6$  (приймаємо середнє значення 0,5);

$N$  – кількість світильників, шт.;

$n$  – число ламп у світильнику, шт.;

$S$  – площа приміщення,  $m^2$ .  $S = 400 m^2$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1,5 \div 2$  (приймаємо середнє значення 1,75);

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для ламп розжарювання– 1,15.

Фактична освітленість визначається за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{л}} \cdot n_{\text{Н}} \cdot N \cdot n}{S \cdot k \cdot Z} \quad (4.4)$$

За нормативами обираємо найближче більше значення  $F_{\text{л}} = 2000$  лм при потужності 150 Вт для ламп розжарювання.

$$E_{\phi} = \frac{2000 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 1}{400 \cdot 1,75 \cdot 1,15} = 59,4(\text{лк})$$

Задану кількість світильників необхідно розміщувати рівномірно по площі приміщення, по можливості за сторонами квадрата, виконуючи умови:

сторона квадрата:

$$L = 1,4 \cdot H_p \quad (4.5)$$

де  $H_p$  – висота підвіса світильника над робочою поверхнею.

$$H_p = 5 - 0,8 = 0,4 = 3,8(\text{м});$$

$$L = 1,4 \cdot 3,8 = 5,32(\text{м});$$

Відстань від світильника до стіни обираємо в межах

$$l = 0,3 \div 0,5 \cdot L \quad (4.6)$$

$$l = 0,4 \cdot 5,32 = 2,28(\text{м})$$

У результаті розрахунку знайшли значення фактичного освітлення  $E_{\phi} = 59,4$  лк, порівнюючи його з нормованим за ДБН В.2.5-28-2006  $E_{н} = 50$  лк можна зробити висновок, що комбіноване штучне освітлення у цеху ефективно за умови використання ламп розжарювання потужністю не менше 150Вт.

### 4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайна ситуація (НС) - стан, при якому в результаті виникнення джерела надзвичайної ситуації на об'єкті, визначеній території порушуються нормальні умови життя і діяльності людей, виникає загроза життю і здоров'ю, завдається шкода населенню, народному господарству, навколишньому природному середовищу.

За характером джерел виникнення НС діляться на:

- а) природні явища і процеси;
- б) техногенні промислові аварії і катастрофи (радіаційні, хімічні, біологічні, гідродинамічні аварії);
- в) пожежі, вибухи, небезпечні пригоди на транспорті або транспортні аварії;
- г) інфекційні хвороби людей (епідемії);
- д) криміногенні.

Осередком ураження - називається територія з розташованими на ній будівлями, спорудами, інженерними мережами, комунікаціями, обладнанням і людьми, які постраждали від руйнування або зараження в результаті виникнення НС.

Безпека в НС - стан захищеності населення.

Захищеність в НС - стан, при якому запобігають, долають або гранично знижують негативні наслідки виникнення потенційних небезпек при НС для людей.

Одним з основних способів захисту є своєчасний і швидкий вивіз людей з небезпечної зони, тобто евакуація.

Вид евакуації визначається видом, характером і умовами НС. Екстрена евакуація викликається швидкоплинними накопиченнями негативних факторів в зоні

НС або від самого початку високими рівнями цих факторів.

У числі заходів щодо захисту персоналу підприємства, які розробляються об'єктовою комісією, вказуються дії по евакуації, як при загрозі так і при виникненні НС.

Питання евакуації для вивчення включаються в тематику занять робітниками і службовцями в системі цивільної оборони.

З урахуванням аналізу визначається вид евакуації, проводиться розрахунок службовців і робітників, встановлюються заходи щодо безаварійної зупинки виробництва, намічаються схеми руху евакуйованих із зони НС до пунктів тимчасового розміщення.

Керівник об'єктової комісії з НС приймає одне з рішень:

- а) провести евакуацію всередині цеху;
- б) вивести персонал за межі об'єкта;
- в) застосувати комбінований метод.

У зв'язку з можливістю загорання, вибуху газомісних балонів або виникнення НС іншої категорії. На проєктованій ділянці повинен бути передбачений план евакуації.

У цеху повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння:

- а) ящики з піском;
- б) пожежні відра;
- в) лопати;
- г) пожежний інструмент (лом, сокира);
- д) вогнегасники.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 планування будівель і споруд повинні забезпечувати швидку евакуацію людей у разі виникнення пожежі.



#### 4.4 Висновки

- Проведено аналіз шкідливих і небезпечних факторів на дільниці з виготовлення деталі «Шестерня» та визначені шляхи щодо їх усунення.
- Виконаний розрахунок природнього та штучного освітлення, який дозволяє підібрати лампи для цеху, де виготовляється деталь «Шестерня», що буде забезпечувати достатню освітленість на робочих місцях.
- Визначено заходи в разі виникнення надзвичайних ситуацій.



**Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів**

## ВИСНОВКИ

Тема дипломного проекту – удосконалення технологічного процесу виготовлення шестерні 174.14.84.08 шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою на свердлильно-фрезерно-розточувальній операції.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступний обсяг робіт.

При аналізі службового призначення були відображені основні технічні характеристики і призначення машини. Що стосується самої деталі, то був проведений аналіз усіх її поверхонь, а також функцій, виконуваних ними.

Виконано аналіз технологічності конструкції згідно ЕСТП.

При аналізі технічних вимог ми описали властивості сталі 40, а також були проаналізували вимоги, пропонувані при виготовленні деталі конструктором, їх відповідність загальноприйнятим стандартам.

Був визначений тип виробництва – дрібносерійний і визначена партія запуску  $n = 21$  штуки.

В якості заготовки була прийнята поковка штампована на КГШП, так як вона більш економічно вигідна, ніж вільна ковка.

Розраховані припуски аналітичним способом за допомогою методу професора Кована на внутрішню циліндричну поверхню.

Під час виконання роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК.

Спроектований спеціальний верстатний пристрій для свердлильної із ЧПК операції. До операції 015 токарна з ЧПК розроблена карта операційного налагодження.

У розділі «науково-дослідна частина» запропоновано алгоритм оптимізації запропонованої конструкції ВП, де цільовою функцією є зниження металомісткості. За запропонованим алгоритмом встановлено оптимальні параметри елементів

розробленої конструкції ВП для свердління. Визначено максимальні величини переміщень та напружень у запропонованому ВП, та за отриманими результатами доведено можливість обробки деталі «Шестерня» у розробленому ВП. Визначені власні частоти коливань запропонованого ВП та встановлено, що при даних режимах обробки резонанс не виникне. Визначені амплітуди коливань, що виникають при механічній обробці деталі «Шестерня» та встановлено, що динамічна жорсткість запропонованого ВП є достатньою.

У розділі «охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» виконано розрахунок освітленості робочої зони, який дозволяє забезпечити сприятливі для робітників умови.



**Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів**

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Захаркин А.У.** Методические указания для практических работ по курсам «Теоретические основы изготовления деталей и сборки машин» и «Технология машиностроения» для студентов направления 0902 «Инженерная механика» всех форм обучения [Текст] : А. У. Захаркин, В. Г. Евтухов. - Сумы изд. СумДУ 2004. – 75 с.
2. **Горбачевич А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения [Текст] : [учеб. пособие для машиностроит. спец.] / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. - Мн.: Выш. Школа, 1983. — 256 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски [Текст]. – Введ. 1990-01-07. – Москва. : Изд-во стандартов, 1990. – 55 с.
4. **Косилова А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. – М.: Машиностроение, 1985. – 2 т. – 656 с.
5. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 / М.: Экономика, 1990. – 472 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ, [Текст]: в 2 ч. Ч. 1 / М.: Экономика, 1989. - 402 с .
7. **Горошкин А. К.** Приспособления для металлорежущих станков [Текст] : А. К. Горошкин. – М: Машиностроение, 1979. – 302 с.
8. **Колев Н. С.** Металлорежущие станки [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Колев Н. С., Красниченко Л. В., Никулин Н. С. -М.: Машиностроение, 1980. - 500 с.
9. **Кушніров П. В.** Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка” [Текст] : П. В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – 52 с.
10. **Гжиров Р. И.** Краткий справочник конструктора [Текст] : Р. И. Гжиров. - Л: Машиностроение, 1984. – 464 с.
11. **Дунаев И. М.** Организация проектирования системы технического контроля [Текст] : Дунаев И. М., Скворцов Т. П., Чутырин В. Н. - М: Машиностроение, 1981. –

191 с.

12. **Штейнберг Б. И.** Справочник молодого инженера конструктора [Текст] : Б. И. Штейнберг, Б. М. Брайнман. – Киев: Техника, 1983. – 184 с.

13. **Цейтлин Я. М.** Нормальные условия измерения в машиностроении [Текст] : Я. М. Цейтлин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

14. **Євтухов В. Г.** Методичні вказівки до практичної роботи "Вибір засобів вимірювання та його обґрунтування" з дисципліни "Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв" для студентів спеціальності 7.090202 та 8.090202 "Технологія машинобудування" денної та заочної форм навчання [Текст] : / В. Г. Євтухов. – Суми, Вид-во СумДУ, 2008. – 20 с.

15. **Чумаков Г. С.** Методические указания к выполнению контрольной работы по курсу "Проектирование контрольно-измерительных приспособлений" для студентов специальностей 12.01 "Технология машиностроения" [Текст] : / Г. С. Чумаков. – Харьков, ХПИ, 1990. – 56 с.

16. **Кузнецов Ю. И.** Оснастка для станков с ЧПУ [Текст] : Кузнецов Ю. И., Маслов А. Р., Байков А. Н. - М: Машиностроение, 1990. – 512 с.

17. **Юдин Е. Я.** Охрана в машиностроении [Текст] : Юдин Е. Я., Белов С. В., Баланцев С. К.— М: Машиностроение, 1983. - 432 с.

18. **Ансеров М. А.** Приспособления для металлорежущих станков. Расчеты и конструкции [Текст] : М. А. Ансеров. – М: Машиностроение, 1964. – 428 с.

19. **Бабаков А. А.** Нержавеющие стали. Свойства, обрабатываемость и химическая стойкость в различных агрессивных средах [Текст] : А. А. Бабаков. – М: Госхимиздат, 1956. – 328 с.

20. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технологія машинобудування» денної та заочної форм навчання / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017.

21. Automated fixture configuration for rapid manufacturing planning / S.Nelaturi, A. Rangarajan, C. Fritz, T. Kurtoglu // Computer-Aided Design. – 2014. – Vol. 46. – P. 160–169.

22. Finite element modelling and analysis of workpiece-fixture system / N. M. Kumbhar, G. S. Patil, S. S. Mohite, M. A. Sutar // International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 2. – P. 60–65.
23. **Asante J. N.** A combined contact elasticity and finite element-based model for contact load and pressure distribution calculation in a frictional workpiece-fixture system / J. N. Asante // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2008. – Vol. 39. – P. 578–588.
24. Multi-objective optimization design of a fixture layout considering locator displacement and force–deformation / Z.Liu, M. Wang, K. Wang, X. Mei // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2012. – Vol. 67. – P. 1267–1279.
25. Machining fixture layout design for milling operation using FEA, ANN and RSM / M.Vasundara, K. P. Padmahaban, M. Sabareeswaran, N. RajGanesh // Procedia Engineering. – 2012. – Vol. 38. – P. 1693–1703.
26. **Li B.** Optimal Fixture Design Accounting for the Effect of Workpiece Dynamics / B. Li, S. Melkote // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2001. – Vol. 28. – P. 701–707.
27. **Nalbandh A. H.** Fixture design optimization using genetic algorithm-a review / A. H. Nalbandh, C. C. Rajyaguru // Journal of information, knowledge and research in mechanical engineering. – 2013. – Vol. 2. – P. 466–471.
28. **Amaral N.** Finite Element Analysis Study on Fixtured Workpiece Deformation : Bachelor of Science Thesis – Worcester, USA, 2000. – 109 p.
29. **Papastathis T. N.** Modelling and Design Methodology for Fully-Active Fixtures : PhD Thesis. – The University of Nottingham, Great Britain, 2010.
30. Clamping force optimization for minimum deformation of workpiece by dynamic analysis of workpiece-fixture system / S.Selvakumar, K. P. Arulshri, K. P. Padmanaban, K. S. Sasikumar // World Applied Sciences Journal. – 2010. – Vol. 7. – P. 840–846.
31. **Deng H.** Analysis and synthesis of fixturing dynamic stability in machining

accounting for material removal effect : PhD Thesis. – Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2006.

32. **Карпусь В. Є.** Інтенсифікація процесів механічної обробки: монографія / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр та ін.; за ред. В. Є. Карпуся. – Суми : Сумський державний університет, 2012 – 436 с.

33. **Карпусь В. Е.** Обоснование выбора системы приспособлений в серийном производстве / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов // Високі технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2008. – Вип. 1 (16). – С. 125–134.

34. **Батищев Д. И.** Методы оптимального проектирования / Д. И. Батищев. – М : Радио и связь, 1984. – 248 с.

35. **Батищев Д. И.** Поискные методы оптимального проектирования / Д. И. Батищев. – М : Сов. Радио, 1988. – 112 с.

36. **Пасічник В. А.** Конструктивно-технологічне моделювання композиційних конструкцій з використанням системного аналізу / В. А. Пасічник, О. О. Хмуренко. // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2015. – № 4. – С. 15–20.

37. **Пасічник В. А.** Синтез інструментального забезпечення для оброблення отворів на основі декомпозиції виробу на оброблювані поверхні // В. А. Пасічник В. М. Юхимчук // Вісник НТУУ «КП», Машинобудування № 74. – 2015. – С. 18–23.

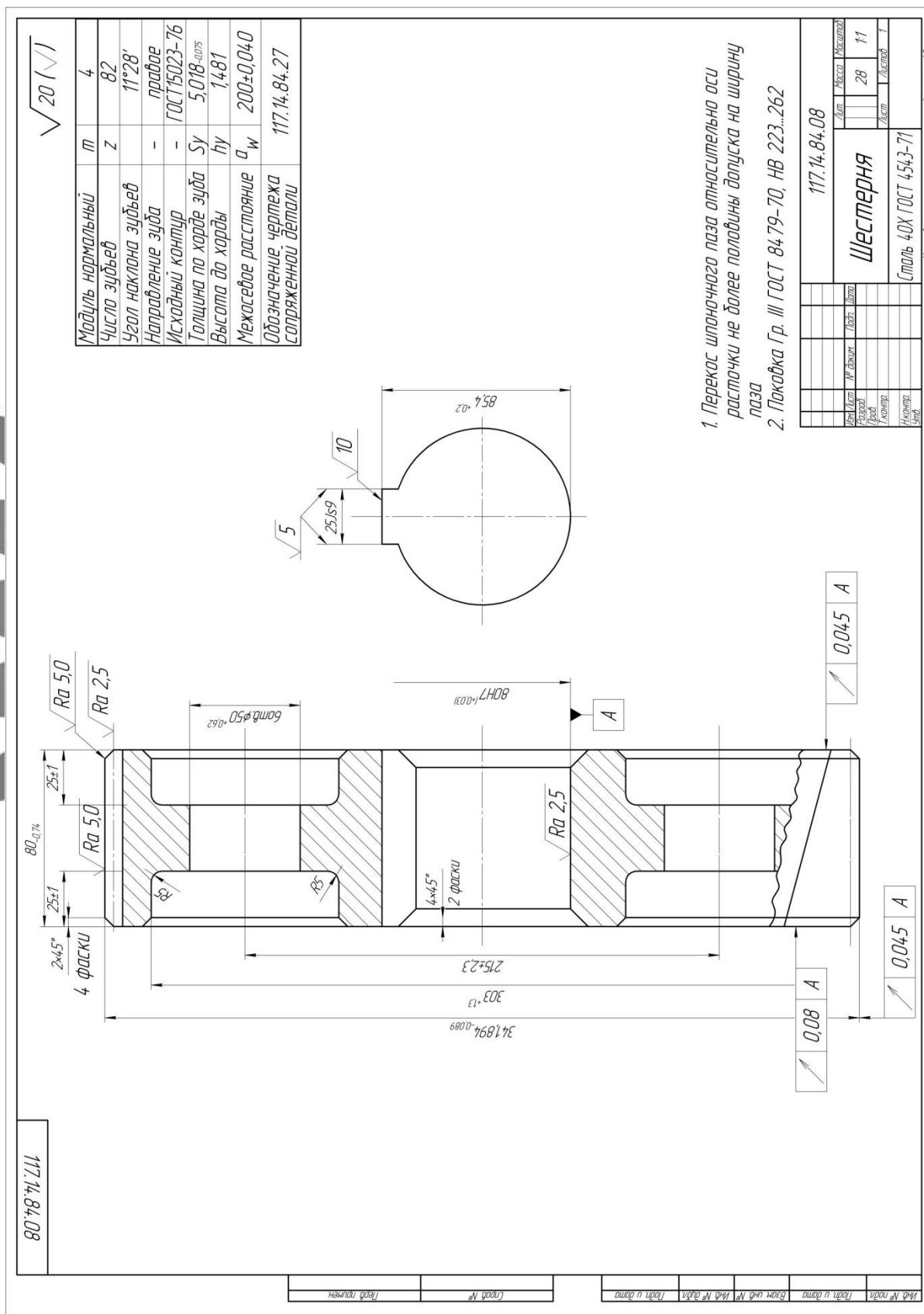
38. **Яковенко И. Э.** Оптимизация режимов резания при обработке инструментальными блоками / И. Э. Яковенко, А. А. Пермяков // Вісник НТУ "ХП" : – Харків : НТУ "ХП". – 2015. – № 4 (1113). – С. 89–92.

39. **Норри Д.** Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. – Москва. : Мир, 1981. – 304 с.

40. **Зенкевич О. К.** Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 420 с.

41. **Тимошенко С. П.** Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М. : Наука, 1975. – 576 с.

## ДОДАТОК А КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ ШЕСТЕРНЯ





## ДОДАТОК Б

### РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПРИПУСКІВ

#### РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА ДИАМЕТРАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ

Программа - 'prip' ver.7.1

СумГУ. Вычислительный центр факультета ТЕСЕТ

10.11.2018

Расчет выполнен для Андреев В.А. группа - ТМм-72

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

обрабатываемая поверхность - внутренняя цилиндрическая  $\phi 80^{+0.030}_0$

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 базис Еб (i)	загр. Ез (i)
Поковка ковкой	ГОСТ 7505-89	+2.700 -1.300	-	-	-	-	-
Chernovay	квалитет 14 +0.74 0	+0.74 0	250	1000	2119	500	500
Polychistovay	квалитет 9 +0.074 0	+0.074 0	125	240	127	200	100
Chistovay	квалитет 7 +0.030 0	+0.030 0	20	125	105	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.				миним	максим	миним	расч.	макс.	
-	-	71.232	71	71	+2.700 -1.300	69.7	73.7	-	-	-
968	1968	78.25	78	78	+0.74 0	78.0	78.4	1400	1340	1430
145	1875	79.75	79.75	79.7	+0.074 0	79.7	79.774	270	900	1055
50	655	164	80	80	+0.030 0	80.0	80.030	145	170	373

К О Н Е Ц   Р А С Ч Е Т А





**ДОДАТОК Г**  
**ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ШЕСТРЕННЯ**

