

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»
на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»**

08-26.МКР.010.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, гр. 1ПМ-18м
спеціальності 131 – Прикладна механіка

Казарян К. Ю. _____

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

Дерібо О. В. _____

« ____ » _____ 201_ р.

Рецензент: _____

« ____ » _____ 201_ р.

Вінниця ВНТУ – 2019 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ТАМ
д.т.н., професор Козлов Л. Г.

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Казаряну Кирилу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»

керівник МКР Дерібо Олександр Володимирович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «___» _____ 20__ року №__.

2. Строк подання студентом МКР: _____

3. Вихідні дані до МКР: креслення деталі «Ступиця ГБ 20.006»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 5000 шт.; довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Фланець»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»; аналіз точності обробки, що забезпечується тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК високої точності; розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»; економічна доцільність удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»; охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Ступиця ГБ 20.006» (A2); заготовка деталі (випуск) (A2); маршрут механічної обробки (2A1); розмірний аналіз технологічного процесу (A1); карта налагоджень на 010 операцію (A1); аналіз точності обробки, що забезпечується тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК високої точності (3A1); план дільниці механічного цеху (A1); техніко-економічні показники (A1)

6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Дерібо О. В., професор кафедри ТАМ		
Економічна частина	Руда Л. П., доцент кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І. В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження		
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач		
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень		
4	Розв'язання поставлених задач		
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів		
6	Виконання розділу «Економічна частина»		
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»		
8	Попередній захист МКР		
9	Перевірка роботи на плагіат		
10	Нормоконтроль МКР		
11	Рецензування МКР		
12	Захист МКР		

Студент

(підпис)

Казарян К. Ю.

Керівник МКР

(підпис)

Дерібо О. В.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	7
ABSTRACT	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «ФЛАНЕЦЬ»	12
1.1 Сутність технічної проблеми	12
1.2 Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення та технічні умови на виготовлення	12
1.3 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Фланець»	14
1.4 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	18
1.5 Характеристика удосконаленого технологічного процесу	19
1.6 Економічна доцільність розробки удосконаленого технологічного процесу	23
1.7 Розробка технічного завдання на МКР	26
1.8 Висновки	27
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»	28
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	28
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	32
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	39
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	54
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	56
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	59

	5
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	62
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	66
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	74
2.10 Призначення режимів різання	80
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	86
2.12 Визначення технічних норм часу	87
2.13 Висновки	90
3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ	92
3.1 Постановка задачі дослідження	92
3.2 Результати дослідження	93
3.3 Висновки	102
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»	104
4.1 Розрахунок приведеної програми	104
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	111
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	113
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	114
4.5 Висновки	117
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»	118
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки	118
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»	125
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	130

	6
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	134
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	135
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	136
5.7 Висновки	138
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	139
6.1 Аналіз умов праці	139
6.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	140
6.3 Техніка безпеки	144
6.4 Пожежна безпека	145
6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях	146
6.6 Висновки	150
ВИСНОВКИ	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	153
ДОДАТКИ	156

АНОТАЦІЯ

Казарян К. Ю. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» : кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / К. Ю. Казарян. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2019.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» та порівняльний аналіз техніко-економічних показників обробки заготовок партії деталей на верстатах з ЧПК з побудовою технологічних маршрутів з використанням на фінішній операції абразивної обробки і точної лезової обробки, а також виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК і визначення коефіцієнта уточнення, який досягається такою обробкою.

Для досягнення поставленої мети проведено огляд технологій виготовлення деталей типу «Фланець»; виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» з використанням сучасних верстатів з ЧПК та вибір кращого з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників; удосконалено діляницю механічної обробки.

В науковій частині роботи виконано порівняльний аналіз показників точності, що забезпечуються тонким розточуванням довгих точних отворів на токарному верстаті з ЧПК.

В економічній частині МКР розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект, одержаний в результаті удосконалення технологічного процесу та діляниці механічної обробки.

В МКР також розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Графічна частина ілюстративно доповнює матеріали, які представлені в пояснювальній записці.

ABSTRACT

Kazaryan K. Yu. Improvement of the technological process of mechanical processing of a workpiece of the type «Nuber GB 20.006»: the dissertation for obtaining the educational qualification level of master's degree in the specialty 131 «Applied Mechanics» / K. Yu. Kazaryan. – Vinnytsia National Technical University. – Vinnytsia, 2019.

The purpose of the Master's qualification work (MCR) is to improve the technological process of machining workpiece workpiece type «Nuber GB 20.006» and a comparative analysis of the technical and economic indicators of processing workpieces of parts on CNC machines with the construction of technological routes using finishing abrasive abrasive processing machining, as well as detection of the influence of elementary errors on the total error of machining by thin boring of long holes on CNC lathes and determining the coefficient of ment, achieved such treatment.

To achieve this goal, a review of technologies for manufacturing parts of the type «Flange» was carried out; made a variant choice and feasibility study of the method of manufacturing the workpiece; variants of the route of machining of the details of the type «Nuber GB 20.006» using modern CNC machines and the choice of the best of them at the minimum of the resulted costs are developed; dimensional-accurate modeling of advanced technological process of machining is carried out; cutting modes and time limits are defined; the program, the number of equipment and employees are calculated; machining section has been improved.

In the scientific part of the work a comparative analysis of precision indicators is provided, which is ensured by the fine drilling of long precision holes on a CNC lathe.

In the economic part of the MCR, the capital investments, the cost of machining the workpiece details, payback period and the economic effect obtained as a result of the improvement of the technological process and the machining section are calculated.

Occupational safety and health measures have also been developed in the MKR.

The graphic part illustrates, in an illustrative way, the materials presented in the explanatory note.

ВСТУП

Актуальність. Технологічний процес (ТП) механічної обробки – це частина виробничого процесу, безпосередньо пов'язана зі зміною форми, розмірів або властивостей оброблюваної заготовки, що виконується в певній послідовності. Технологічний процес складається з низки операцій.

Проектування технологічних процесів механічної обробки деталей машин – один із самих відповідальних етапів, що пов'язаний з виробництвом виробів в машинобудівній промисловості. Побудований з використанням прогресивних підходів та рішень, технологічний процес забезпечує можливість одержання якісної продукції, високої продуктивності праці та низької собівартості виробів. Використання засобів автоматизації дозволяє полегшити працю робітників, зробити її більш ефективною.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» та порівняльний аналіз техніко-економічних показників обробки заготовок партії деталей на верстатах з ЧПК з побудовою технологічних маршрутів з використанням на фінішній операції абразивної обробки і точної лезової обробки, а також виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК і визначення коефіцієнта уточнення, який досягається такою обробкою.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні **завдання:**

- провести огляд технології виготовлення деталі типу «Фланець»;
- на основі робочого креслення деталі виконати якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі;
- встановити тип виробництва та форму організації роботи;
- вибрати метод та оптимальний спосіб виготовлення заготовки, виконавши відповідне техніко-економічне обґрунтування;
- вибрати методи обробки поверхонь деталі «Ступиця ГБ 20.006»;
- обґрунтувати вибір чистових та чорнових технологічних баз;

- розробити удосконалені варіанти маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»;
- вибрати кращий з розроблених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;
- провести розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки деталі;
- розрахувати режими різання;
- виконати нормування операцій технологічного процесу;
- визначити величини елементарних похибок, що виникають під час тонкого розточування отвору і впливають на поле розсіювання його діаметрального розміру;
- проаналізувати вплив елементарних похибок на сумарну похибку;
- визначити коефіцієнт уточнення для переходу тонкого розточування;
- встановити приведену програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та працюючих, що необхідні для забезпечення механічної обробки деталі;
- провести розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталі типу «Фланець».

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримав подальший розвиток метод порівняльного аналізу показників точності, які забезпечується тонким розточуванням довгих точних отворів на токарних верстатах з ЧПК.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ

20.006» на базі використання сучасних підходів до побудови технологічних процесів механічної обробки, впровадження прогресивного автоматизованого обладнання, що дозволяє підвищити якість оброблених деталей, зменшити їх собівартість, суттєво скоротити при цьому виробничі площі. При цьому запропоновані такі рішення:

- для найдоцільніших способів виготовлення заготовки – лиття за виплавним моделями та лиття в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші) спроектовано заготовки та техніко-економічним порівнянням встановлено, що економічно доцільнішим варіантом є виготовлення заготовки литтям в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші), оскільки вартість заготовки при цьому складає 404,7 грн., що менше у порівнянні з литтям за виплавним моделями – 416,22 грн.;

- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК; техніко-економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є економічно доцільним;

- для удосконаленого маршруту механічної обробки спроектовано дільницю механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи дільниці в середньосерійному виробництві, яка складає 75470 шт.; дільниця механічної обробки повинна містити 6 верстатів, що обслуговуються 5 основними і 4 допоміжними працівниками.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на конференції:

- XLVIII науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ (м. Вінниця, ВНТУ, 13-15 березня 2019 р.).

Публікації. Оpubліковано тезу доповіді:

- Порівняльний аналіз точності обробки отвору остаточним розточуванням на токарному верстаті з ручним та числовим програмним керуванням / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, Р. Ю. Басистюк, К. Ю. Казарян // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7410>.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «ФЛАНЕЦЬ»

1.1 Сутність технічної задачі

Темою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006». В процесі виконання роботи потрібно розробити декілька маршрутів механічної обробки заданої деталі і серед них обрати найкращий, побудований на базі використання передових технологій обробки сучасного високопродуктивного обладнання для заданих умов виробництва (попередньо встановлено, що має місце серійний тип виробництва). Розроблений маршрут механічної обробки має швидко переналагоджуватися на інший об'єкт виробництва (для завантаження об'єкта до рекомендованого рівня в умовах серійного виробництва, як правило, завантажуються обробкою інших подібних до заданої деталей), має використовуватися швидкодіюча технологічна оснастка тощо. В результаті визначених вимог можна отримати зниження собівартості продукції, підвищення її якості, збільшення продуктивності виробничого процесу.

1.2 Характеристика об'єкта виробництва, службове призначення, технічні умови на виготовлення

Розглядувана деталь «Ступиця ГБ 20.006» (рис. 1.1) виготовляється із сталі 40л і слугує для встановлення вала в складальній одиниці. Має ступінчасту зовнішню поверхню, яка є поєднанням двох поверхонь обертання. Внутрішня поверхня – циліндричний отвір, що має шпонковий паз. Для закріплення деталі «Ступиця ГБ 20.006» у вузлі передбачені кріпильні отвори. Маса деталі – 4,92 кг.

Деталь має ряд високоточних поверхонь (наприклад, $\varnothing 110s7^{(+0,114}_{+0,079)}$, внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$ та ін.), що потребують багаторазової обробки із застосуванням точного обладнання.

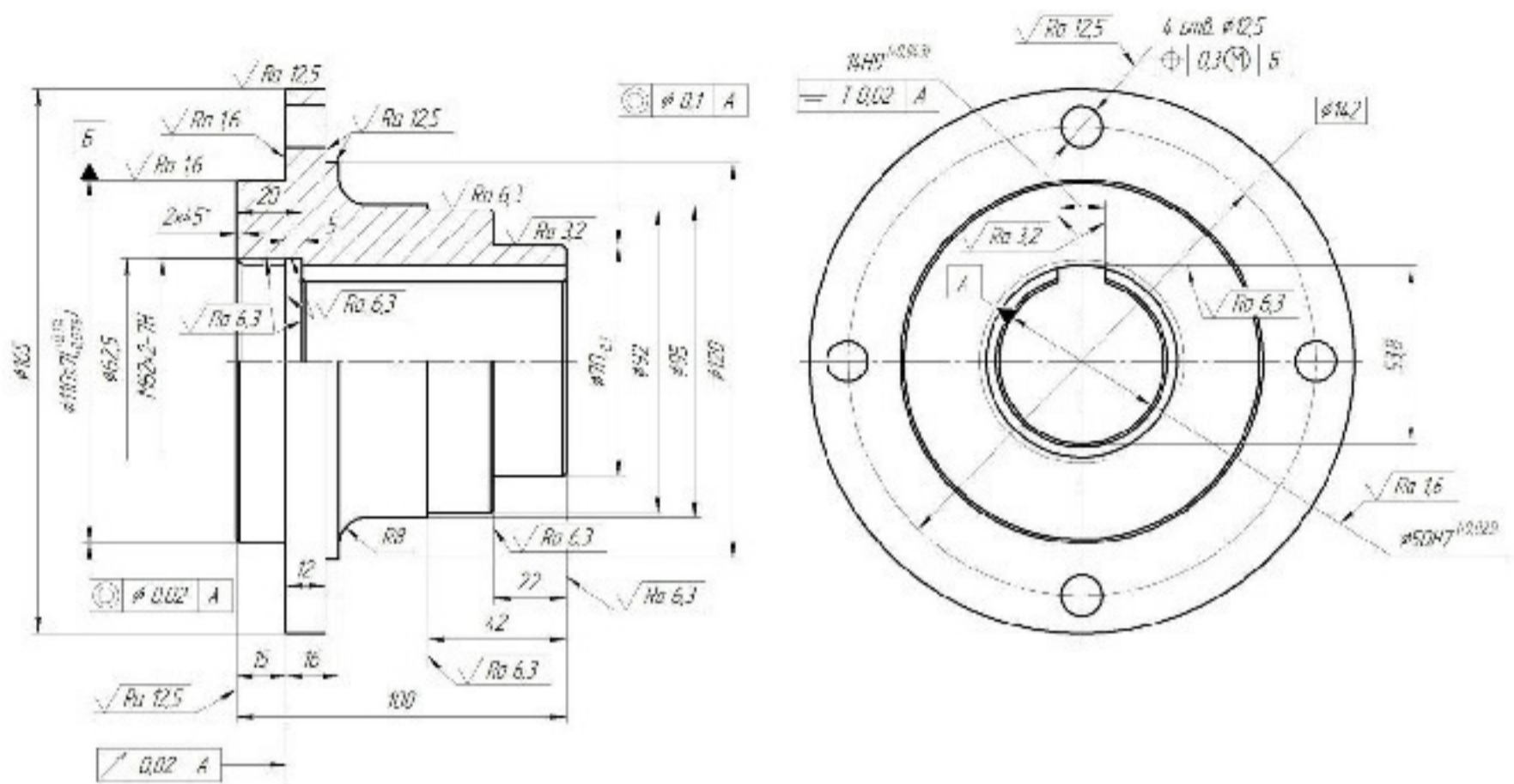


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Ступиця ГБ 20.006»

Основними конструкторськими базами деталі є отвір $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$ мм торець, що прилягає до нього, та шпонковий паз $14H9^{(+0,04)}$ мм.

Допоміжними конструкторськими базами є поверхня $\varnothing 110s7^{(+0,114/+0,079)}$ мм та торець, що прилягає до неї.

Кріпильними є чотири отвори $\varnothing 12,5$ мм та різь $M62 \times 2-7H$. Решта поверхонь є вільними.

Згідно з призначенням поверхонь до них ставляться відповідні вимоги: найточнішими є основні та допоміжні конструкторські бази.

Поставлені вимоги щодо відносного розташування поверхонь:

- допуск співвісності осі поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114/+0,079)}$ відносно бази А;
- допуск співвісності осі поверхні $\varnothing 70_{-0,12}$ відносно бази А;
- допуск торцевого биття торця розміром $\varnothing 165$ відносно бази А;
- допуск симетричності шпонкового пазу $14H9^{(+0,04)}$ відносно бази А;
- позиційний допуск отворів $\varnothing 12,5$ до бази Б.

Базою А є вісь отвору $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$ мм.

Квалітети точності та шорсткість оброблених поверхонь можуть бути забезпечені завдяки застосуванню відповідних способів обробки та кількості переходів. Вимоги відносного розташування поверхонь можуть бути забезпечені

за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильній організації змісту технологічних операцій.

Для всіх відповідальних поверхонь, які обробляються з високою точністю існує відповідність вказаних на креслені допустимих відхилень розмірів, шорсткості та відхилень геометричної форми і відносного розташування поверхонь, тобто поверхні з малими відхиленнями розмірів повинні мати малу шорсткість та незначні відхилення від правильності геометричної форми.

1.3 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Фланець»

Для проектування технологічного процесу виконано аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах серійного виробництва [1].

При розробці маршруту механічної обробки доцільно орієнтуватися на типові або групові ТП обробки подібних деталей. При цьому скорочується терміни проектування і покращується якість розробки.

Задана деталь «Ступиця ГБ 20.006» відноситься до класу корпусних але за своєю конфігурацією вона близька до деталей типу «Стакан» або «Фланець». Тип виробництва серійний.

В серійному виробництві доцільно використовувати високопродуктивне обладнання, верстати з ЧПК, багатоцільові верстати тощо. Оснастка може бути стандартною, УСП, так і спеціалізована.

На першій операції необхідно обробляти базові поверхні, які в подальшому будуть слугувати технологічними базами. Базування заготовки здійснюється по необробленим чорновим базам.

Після обробки базових поверхонь здійснюється токарна обробка всіх зовнішніх поверхонь деталі. Установка заготовки може бути в 3-х кулачковому патроні, цанговому, повідцевому з плаваючим переднім центром тощо. Найпродуктивнішим способом обробки є точіння або розточування отворів різцями з надтвердих матеріалів.

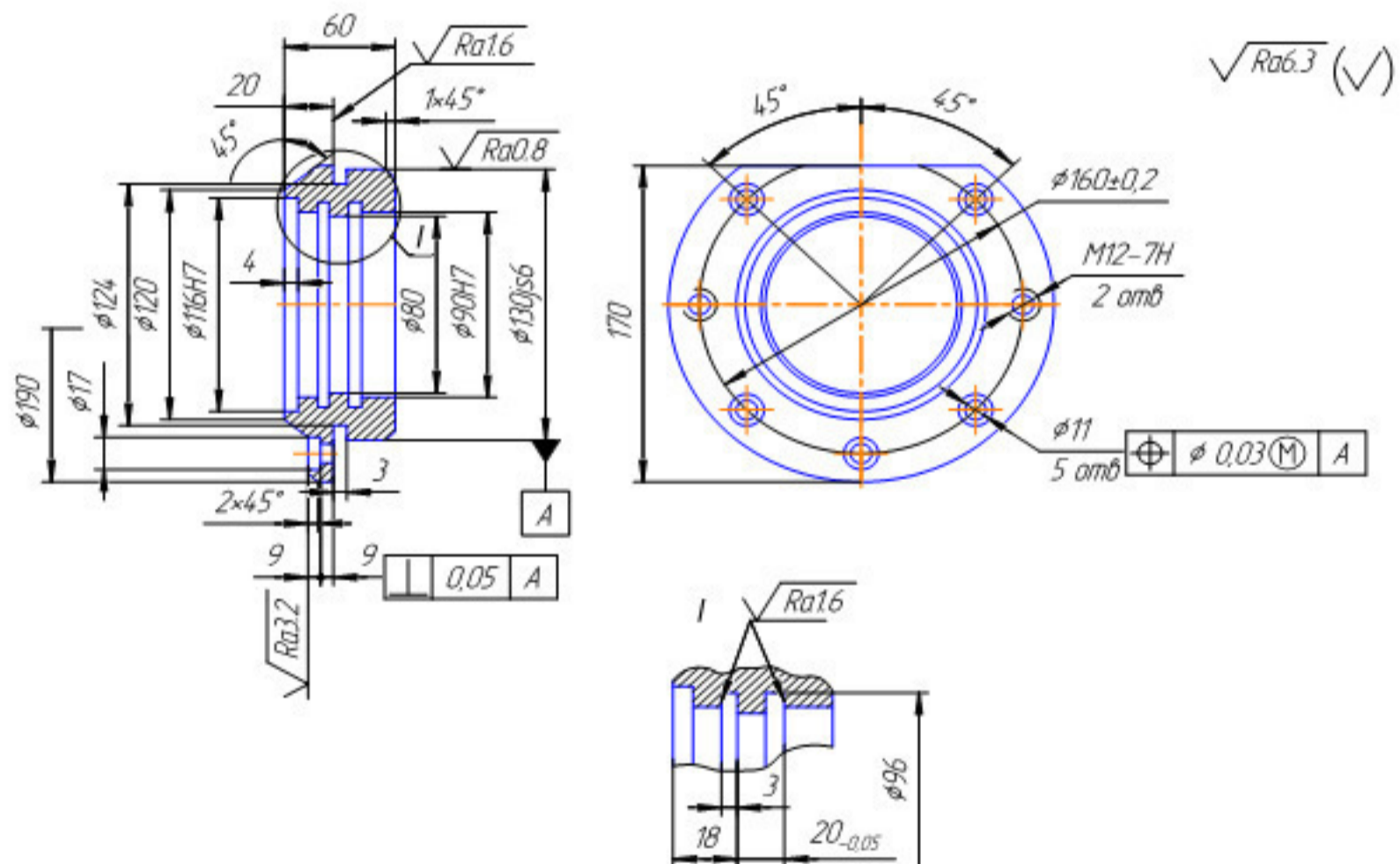
Після чистової обробки проводиться обробка місцевих елементів:

фрезерування або протягування шпонкових пазів, шліцьових поверхонь, обробка різьбових отворів тощо. Різьбові кріпильні отвори обробляють по кондуктору або на верстатах з ЧПК, точність яких складає $\pm 0,01$ мм.

Фінішною операцією є шліфування, яке здійснюється після термообробки. Базування заготовки проводять на центрові отворах у повідцевому патроні. При шліфуванні можна досягти 6-7 квалітет точності і чистоту поверхні шорсткістю Ra 0,4-0,8 мкм.

Типізація механічної обробки вносить подібність в технологію виготовлення деталей даного класу, скорочує кількість різних варіантів обробки до мінімуму, скорочує строки проектування і покращує якість проекту, дозволяє впроваджувати обладнання і оснастку на базі типових схем і уніфікованих складальних одиниць.

Типовий маршрут обробки деталі «Стакан» (рис. 1.2) представлений у вигляді таблиці 1.1 [1].



Вид заготовки - виливок.
Матеріал - чавун СЧ20.

Рисунок 1.2 – Ескіз деталі «Стакан»

Таблиця 1.1 – Маршрут механічної обробки деталі типу «Стакан»

Операція	Зміст та найменування операції	Верстат, обладнання	Пристосування
1	2	3	4
005	Лиття.		
010	Обрубка і очищення виливка.		
015	Підрізати торці $\varnothing 130Js6/\varnothing 90H7$, торець $\varnothing 190$ (правий торець), точити поверхню $\varnothing 130Js6$, точити канавку, розточити отвори $\varnothing 80$ і $\varnothing 90H7$ з підрізанням внутрішнього торця $\varnothing 90H7/\varnothing 80$.	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон
020	Підрізати торці $\varnothing 190$ (лівий торець), торець $\varnothing 144$, розточити отвір $\varnothing 116H7$, точити поверхні $\varnothing 190$ і конічну поверхню $\varnothing 144 \times 45^\circ$.	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон
025	Термічна обробка.		
030	Підрізати торець $\varnothing 130Js6/\varnothing 90H7$ остаточно, точити поверхню $\varnothing 130Js6$ з підрізанням торця $\varnothing 190$ (правий торець) під шліфування, фаски, канавку остаточно. Розточити отвір $\varnothing 90H7$ з підрізанням внутрішнього торця $\varnothing 90H7/\varnothing 80$ і отвір $\varnothing 80$, канавки $3 \times \varnothing 96$ остаточно, притупити гострі кромки.	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
035	Підрізати торці $\varnothing 144/\varnothing 116H7$, точити поверхню $\varnothing 190$, конусну поверхню $\varnothing 144 \times 45^\circ$ остаточно. Розточити отвори $\varnothing 90H7$, з підрізанням внутрішнього торця $\varnothing 90H7/\varnothing 80$ під тонке розточування виточки $\varnothing 116H7$ і двох канавок $3 \times \varnothing 96$.	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий пневматичний патрон
040	Свердлити 5 отворів $\varnothing 11$, два отвори $\varnothing 10,2$ під різьбу $M12-7H$, зенкувати 5 отворів $\varnothing 11/\varnothing 17$, фаски $2 \times 60^\circ$, нарізати різьбу $M12$. Фрезерувати лиски у розмір 120.	Багатоцільовий вертикальний фрезерно-свердлильний ГФ2171	Наладка УСПО
045	Зачистити заусенці.	Машина для зняття заусенців	
050	Розточити два отвори $\varnothing 90H7$.	Алмазно-розточний (спеціальний)	Установочне пристосування
055	Шліфувати $\varnothing 130Js6$ з підшліфовуванням торця $\varnothing 190$ (правий торець).	Круглошліфувальний напівавтомат 3У131ВМ	Спеціальна оправка
060	Промити деталь.	Машина для миття	
065	Технічний контроль.		
070	Нанесення антикорозійного покриття.		

Аналіз типового технологічного процесу механічної обробки дозволяє зробити висновок про те, що схема обробки, яка використовується, може бути прийнята за основу. Але враховуючи тип виробництва доцільно застосувати верстати з ЧПК. Обробка ведеться партіями, відбувається зміна оброблюваних деталей одного найменування на інше, тому необхідна постійна переналадка верстатів.

Користуючись типовими технологічними процесами механічної обробки, створимо технологічний процес механічної обробки заданої деталі.

1.4 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

За базовий технологічний процес механічної обробки деталі «Ступиця ГБ 20.006» прийнято ТП, що наведений в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Маршрут механічної обробки деталі «Ступиця ГБ 20.006» (базовий варіант)

№ операції	Найменування операції	Обладнання, верстат
1	2	3
005	Токарно-револьверна з ЧПК Точити зовнішній торець деталі, циліндричну поверхню $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ та прилягаючий торець попередньо; точити циліндричну поверхню $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ та прилягаючий торець попередньо; точити циліндричну поверхню $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ остаточно; розточити отвір під різьбу, фаски одноразово, центральний отвір попередньо; розточити канавку одноразово; розточити центральний отвір попередньо; розточити центральний отвір остаточно; нарізати різь в отворі.	Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30
010	Токарно-револьверна з ЧПК Точити протилежний зовнішній торець, зовнішні циліндричні поверхні та прилягаючі торці попередньо та одноразово; точити зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 70_{-0,12}$ попередньо; точити зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 70_{-0,12}$ остаточно; розточити фаску.	Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30
015	Вертикально-свердлильна з ЧПК Центрувати 4 отвори; свердлити 4 отвори $\varnothing 12,5$.	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
020	Горизонтально-протягувальна Протягнути шпонковий паз.	Горизонтально-протягувальний 7Б56
025	Внутрішньошліфувальна Шліфувати центральний отвір одноразово.	Внутрішньо-шліфувальний 3К228А
030	Торцекруглошліфувальна Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню та прилягаючий торець одноразово.	Торцекругло-шліфувальний 3 3Т161

Представлений технологічний процес хоча і відповідає методиці розробки технологічних процесів механічної обробки подібних деталей, але має недолік: обробка точінням та свердлінням рознесена по окремим операціям, що надає технологічному процесу диференційовану спрямованість, а це продовжує тривалість виробничого циклу, і, відповідно, знижує продуктивність процесу. При обробці партії деталей за такою схемою не забезпечується висока точність обробки, так як відбувається велика кількість переустановок деталі і виникають похибки при установленні деталі в пристосуваннях.

1.5 Характеристика удосконаленого технологічного процесу

1.5.1 Сучасні досягнення в галузі технологій, обладнання та оснастки при виготовленні подібних виробів

При удосконаленні процесу механічної обробки, що є темою роботи, в області технології машинобудування доцільне використання групової механічної обробки.

При використанні групових технологічних процесів (ТП) за основу технологічного процесу приймається типовий ТП, який модернізується, корегується з метою застосування його до конкретної деталі. Типовий процес заснований на класифікації деталей.

При груповому методі, так як і в типовому процесі, в основі лежить класифікація деталей, але по видах обробки, по типу обладнання, оснащення. Для забезпечення можливості обробки деталей згідно групової технології верстати повинні бути використані такі, які легко переналагоджуються. Це ж стосується і пристосувань, при їх проектуванні повинна бути закладена можливість переналадки на обробку інших подібних, але відмінних за розмірами деталей. Групова оснастка створюється для деталей однакової конфігурації, але різних типорозмірів.

Сучасні досягнення в галузі технології машинобудування дозволяють використовувати високопродуктивні та точні верстати і верстати з ЧПК, токарно-револьверні напівавтомати. Використання такого обладнання дає можливість використати принцип концентрації операцій, переходів на одному верстаті, що забезпечує скорочення часу на установку та зняття деталі, скорочення числа операцій, оборотних коштів в незавершеному виробництві, скорочення циклу підготовки нових виробів та термінів їх поставки, дає можливість використовувати робочу силу нижчої кваліфікації, скорочує кількість менш продуктивного обладнання, зменшує ручну працю.

1.5.2 Основні пропозиції щодо побудови удосконаленого технологічного процесу

Базуючись на критичному аналізі прийнятого базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Ступиця ГБ 20.006», а також на інформації п.1.5.1, розробимо удосконалений технологічний процес.

Пропонується об'єднати токарну та свердлильну операції за рахунок токарно-револьверного верстата з ЧПК моделі 1П420ПФ40, що виконує вказані операції на одному установі.

Також пропонується об'єднати внутрішньошліфувальну та торцекрушлифувальну операції та замінити їх більш продуктивною токарною обробкою на високоточному токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 160НТ.

Удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» представлено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Маршрут механічної обробки деталі «Ступиця ГБ 20.006» (удосконалений)

№ операції	Найменування операції	Обладнання, верстат
1	2	3
005	Токарно-револьверна з ЧПК Точити зовнішній торець деталі, циліндричну поверхню $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ та прилягаючий торець попередньо; точити циліндричну поверхню $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ та прилягаючий торець попередньо; точити циліндричну поверхню $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ остаточно; розточити отвір під різьбу, фаски одноразово, центральний отвір попередньо; розточити канавку одноразово; розточити центральний отвір попередньо; розточити центральний отвір остаточно; нарізати різь в отворі; центрувати 4 отвори; свердлити 4 отвори $\varnothing 12,5$.	Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ40
010	Токарно-револьверна з ЧПК Точити протилежний зовнішній торець, зовнішні циліндричні поверхні та прилягаючі торці попередньо та одноразово; точити зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 70_{-0,12}$ попередньо; точити зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 70_{-0,12}$ остаточно; розточити фаску.	Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30
015	Токарно-револьверна з ЧПК Точити зовнішню циліндричну поверхню та прилягаючий торець одноразово; розточити центральний отвір одноразово.	Токарно-револьверний з ЧПК високої точності 160НТ
020	Горизонтально-протягувальна Протягнути шпонковий паз.	Горизонтально-протягувальний 7Б56

Запропонований варіант маршруту механічної обробки побудований за принципом концентрації операцій, тобто на одному верстаті виконується велика

кількість переходів механічної обробки. Така організація побудови технологічного процесу можлива завдяки використанню високопродуктивних верстатів з ЧПК.

При цьому забезпечується досить висока точність обробки, так як кількість переустановок деталі мінімальна, і похибки, що виникають при установці деталі в пристосуваннях зведені до мінімуму.

Крім того, скорочується кількість верстатів, час на обробку, кількість робітників, виробнича площа, а значить знижується собівартість та підвищується продуктивність процесу механічної обробки.

1.5.3 Характеристика ділянки механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»

Аналогом для розробки удосконаленого ТП є існуючий технологічний процес механічної обробки даної деталі. Деталь виготовляється в механічному цеху базового підприємства. Базовий технологічний процес має ряд недоліків. У зв'язку з чим необхідні капітальні вкладення для придбання обладнання: токарно-револьверного верстату з ЧПК моделі 1П420ПФ40 (3 шт.), токарно-револьверного верстату з ЧПК високої точності моделі 160НТ (1 шт.).

Базуючись на даних прийнятого базового технологічного процесу обробки заданої деталі (див. табл. 1.2) наближено визначимо характеристики такої ділянки (табл. 1.4).

Розробка технічних вимог до об'єкту проектування (див. технічне завдання в додатку):

- назва об'єкту: ділянка групової механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»;

- склад об'єкту: ділянка повинна складатися з ділянки механічної обробки, складу заготовок, складу готових виробів, ділянки контролю якості виробів, міжопераційного транспорту;

- вихідні дані для проектування об'єкту: креслення деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»; річна програма випуску – 5000 шт.; приведена програма – 75470 шт.;

- вимоги до рівня автоматизації: дільниця, що має бути спроектована, повинна мати досить високий рівень автоматизації, для чого обладнати дільницю верстатами з ЧПК або напівавтоматами;

- вимоги щодо безпеки праці: дільниця має бути спроектована відповідно вимогам безпеки праці.

Таблиця 1.4 – Характеристика базової дільниці

Показники базової дільниці	Величина показника базової дільниці	Величина показника удосконаленої дільниці
1	2	3
1. Кількість верстатів / кількість операцій	4 шт. 1П420ПФ30 – операції 005-010; 1 шт. 2Р135Ф2 – операція 015; 1 шт. 7Б56 – операція 020; 1 шт. 3К228А – операція 030; 1 шт. 3Т161 – операція 035	3 шт. 1П420ПФ40 – операція 005; 1 шт. 1П420ПФ30 – операція 010; 1 шт. 160НТ – операція 015; 1 шт. 7Б56 – операція 020
2. Виробнича площа	120 м ²	90 м ²
3. Кількість робітників-верстатників	8	5
4. Розряд робіт	4	3-4
5. Річна програма виготовлення деталі «Ступиця ГБ 20.006»	5000 шт.	5000 шт.
6. Приведена програма виготовлення деталей на дільниці	75470 шт.	75470 шт.

1.6 Економічна доцільність розробки удосконаленого технологічного процесу

Розроблений новий технологічний процес дозволить:

- підвищити продуктивність праці, за рахунок скорочення допоміжного часу та ручних робіт;

- підвищити точність обробки і якість поверхні, незалежно від кваліфікації і втомленості робітника;

- значно підвищити долю основного часу, до 70-75% в штучному часі роботи верстата;

- скоротити витрати на технологічний контроль;

- скоротити чисельність основних і допоміжних робітників;

- скоротити виробничий цикл;

- скоротити потребу в виробничих площах цехів;

- знизити вимоги до кваліфікації робітників-верстатників;

- покращити умови праці робітників.

Таким чином, очікується значне зниження собівартості продукції, а отже після застосування запропонованого технологічного процесу, може бути одержаний достатньо високий економічний ефект.

Проведемо розрахунки, що підтверджують економічну доцільність нової розробки. Оскільки в даному випадку вирішується питання удосконалення технологічного процесу заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» та, відповідно, дільниці механічного цеху, то розрахунки проводимо шляхом співставлення додаткових капітальних вкладень з загальною величиною економії на собівартість.

Визначимо зменшення собівартості одиниці продукції ΔS спрощеним способом, використовуючи при цьому метод питомої ваги [2], згідно якого

$$\Delta S = \frac{(B_a - B_n \cdot K_n) \cdot 100}{\Pi} \text{ [грн.]}, \quad (1.1)$$

де B_a – величина однієї із статей прямих витрат в одиниці продукції аналога (в нашому випадку такою статтею виступає заробітна плата), $B_a = 19,88$ грн.;

B_n – величина однієї із статей прямих витрат в одиниці нової продукції (в нашому випадку такою статтею виступає заробітна плата), $B_n = 9,26$ грн.;

P – питома вага цієї статті прямих витрат в собівартості виробу,
 $P = 23\%$;

K_n – коефіцієнт, який враховує конструктивні та технологічні особливості нової розробки, $K_n = 1,0 \dots 1,2$.

Отже, отримуємо

$$\Delta S = \frac{(19,88 - 9,26 \cdot 1,1) \cdot 100}{23} = 42,15 \text{ (грн.)}$$

Спрогнозуємо величину додаткових капітальних вкладень згідно виразу

$$\Delta S = A \cdot B \text{ [грн.]}, \quad (1.2)$$

де A – коефіцієнт, який враховує витрати на проектування, $A = 1 \dots 2$;

B – вартість додаткового обладнання, яке необхідно придбати для модернізації дільниці, грн.

Посилаючись на удосконалений технологічний процес механічної обробки, вартість додаткового обладнання складає 2160000 грн. (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Витрати на придбання основного обладнання

Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	Вартість, грн.
Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40	500000	3	1500000
Токарно-револьверний верстат з ЧПК високої точності 160НТ	600000	1	600000
Всього			2100000

Придбані верстати були у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 3 верстати 1П420ПФ30 – $3 \cdot 300000 = 900000$ (грн.);

- 1 верстат 2Р135Ф2 – 120000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 1020000 грн.

Отже, витрати на обладнання $2100000 - 1020000 = 1080000$ (грн.)

Звідси отримуємо, що величина додаткових капітальних вкладень буде складати

$$\Delta K = 2 \cdot 1080000 = 2160000 \text{ (грн.)}$$

Співставлення додаткових капітальних вкладень зводиться до розрахунку строку окупності додаткових капітальних вкладень, який розраховується за формулою

$$T_o = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot N_2} \text{ [років]}, \quad (1.3)$$

де ΔK – додаткові капітальні вкладення на удосконалення дільниці, грн.;

S_1, S_2 – собівартість одиниці продукції при використанні старої (1) та удосконаленої дільниці (2), грн./шт.;

N_2 – обсяг виробництва нової продукції за рік при використанні удосконаленої дільниці, шт.

Якщо термін окупності T_o буде менший за нормативний, тобто менший 3-5 років, то удосконалення дільниці буде економічно виправданим. Таким чином, термін окупності буде дорівнювати

$$T_o = \frac{2160000}{42,15 \cdot 75470} = 0,68 \text{ (років)},$$

тобто нормативний термін окупності не перевищено і удосконалення дільниці є економічно виправданим.

1.7 Розробка технічного завдання на МКР

Найменування та область застосування:

- технологічний процес та дільниця механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»;

- застосовується у виробництві для виготовлення вказаних вище деталей та подібних до них деталей.

Підстава для проектування: проектування проводиться на підставі завдання на МКР, складеного та затвердженого кафедрою ТАМ.

Технічне завдання на МКР наведено в додатку А.

1.8 Висновки

В даному розділі проаналізовано проблему удосконалення дільниці при виконанні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006». Базовий варіант технологічного процесу має диференційовану спрямованість, а це продовжує тривалість виробничого циклу, і, відповідно, знижує продуктивність процесу. При обробці партії деталей за такою схемою не забезпечується висока точність обробки, так як відбувається велика кількість переустановок деталі і виникають похибки при установленні деталі в пристосуваннях.

Проведена характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення, технічні вимоги на виготовлення. Детально проаналізовано типовий, базовий технологічні процеси, що дозволило сформулювати пропозиції по удосконаленню існуючого процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006».

На основі проведеного техніко-економічного аналізу можна зробити висновок, що дана розробка є перспективною для впровадження в виробництво як з технічної, так і з економічної точки зору, так як вона має відносно низьку вартість, кращі, ніж аналог технічні параметри.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»

2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз технологічності деталі [3, 4]

Деталь «Ступиця ГБ 20.006» отримує досить значні статичні та циклічні навантаження і тому повинна мати високі вимоги стосовно втомної міцності. Для забезпечення таких високих механічних характеристик використовують Сталь 45л ГОСТ 1050-88. Враховуючи серійний характер виробництва даний матеріал є економічно доцільним для використання.

Оскільки в даному випадку розглядається серійний тип виробництва, то доцільно застосовувати високопродуктивні методи обробки з можливістю швидкого переналагодження обладнання. Більшість розмірів, що необхідно отримати автоматично на попередньо настроєних верстатах.

В конструктивному відношенні деталь є досить технологічною без наявності важкодоступних для обробки місць.

Розглядувана деталь – це тіло обертання, тому одним з найраціональніших способів обробки її є операції типу точіння, розточування та інші з установкою в токарному патроні.

Тривимірний модель деталі показано на рисунку 2.1.

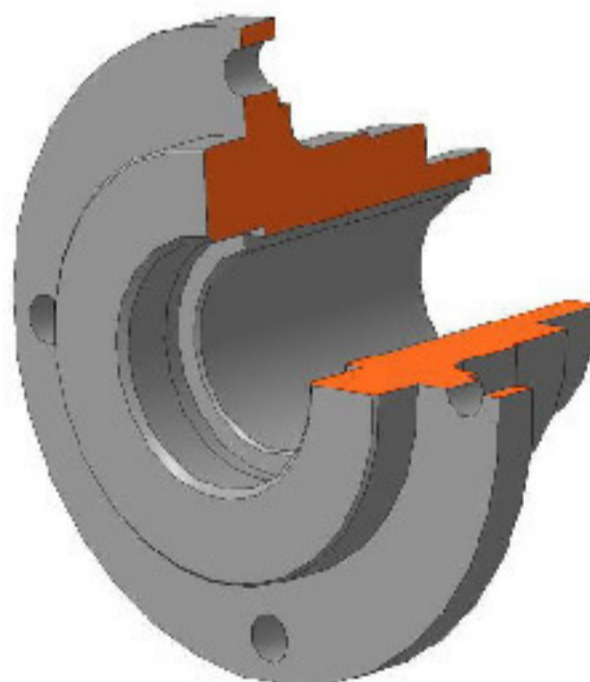


Рисунок 2.1 – 3D-модель деталі «Ступиця ГБ 20.006»

Матеріалом деталі є нелегована сталь для виливків – Сталь 45л ГОСТ 1050-88. Хімічний склад сталі 45л показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад в % сталі 45л

Вуглець С	Кремній Si	Марганець Mn	Нікель Ni	Сірка S	Фосфор P	Хром Cr	Мідь Cu	Залізо Fe
0,42-0,5	0,2-0,52	0,4-0,9	до 0,3	до 0,045	до 0,04	до 0,3	до 0,3	≈ 97

Таблиця 2.2 – Механічні властивості при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Сортамент	Розмір	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Термооброба
-	мм	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	-
Відливки, К30	до 100	540	314	12	20	294	Нормалізація 860-880 °С, відпуск 600-630 °С
Відливки, КТ40		589	392	10	20	245	Загартування 860-880 °С, відпуск 600-630 °С
Твердість	HV 10 ⁻¹ = 143-241 МПа						

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності деталі

Кількісна оцінка технологічності оцінюється за наступними показниками.

Коефіцієнт уніфікації

$$K_{ye} = \frac{Q_{ye}}{Q_e} > 0,6, \quad (2.1)$$

де Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів; Q_e – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.3 – Визначення коефіцієнту уніфікації

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Різь метрична	Шорсткість
1	2	3	4	5
15*	ø16,5	45°*	М62×2-7Н	Ra 12,5* (9 пов.) Ra 6,3* (13 пов.)
16*	ø110s7(+0,114/+0,079)*	45°*		
12*	ø70 _{-0,12}	45°*		
42*	ø92	45°*		
22*	ø120*	45°*		

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
20* 5* 1* 2* 1* 1* 1* 1* 100* 14H9 ^{(+0,043)*} 53,8	ø12,5 ø50H7 ^{(+0,025)*}	45°*		Ra 3,2* (3 пов.) Ra 1,62* (3 пов.)
$\Sigma Q_y = 15$ $\Sigma Q_{\text{заг}} = 16$	$\Sigma Q_y = 3$ $\Sigma Q_{\text{заг}} = 10$	$\Sigma Q_y = 6$ $\Sigma Q_{\text{заг}} = 6$	$\Sigma Q_y = 1$ $\Sigma Q_{\text{заг}} = 1$	$\Sigma Q_y = 28$ $\Sigma Q_{\text{заг}} = 28$

Тоді

$$K_{\text{ye}} = 53/61 = 0,87 > 0,6 - \text{умова виконується.}$$

Коефіцієнт точності механічної обробки:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{CP}}, \quad (2.2)$$

де T_{CP} – середня квадратична точність поверхонь деталі.

Значення середнього квалітету буде рівним:

$$T_{CP} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i}, \quad (2.3)$$

де T_i – квалітет точності поверхні; n_i – кількість поверхонь.

Таблиця 2.4 – Параметри точності поверхонь

Квалітет	Розміри	Кількість поверхонь	Розрахунок
7	$\varnothing 110s7^{(+0,114/+0,079)}$; $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$	2	$2 \cdot 7 = 14$
9	$14H9^{(+0,04)}$	1	$1 \cdot 9 = 9$
10	$\varnothing 70_{-0,12}$	1	$1 \cdot 10 = 10$
14	всі інші	23	$23 \cdot 14 = 322$
Всього		27	355

$$T_{cp} = \frac{355}{27} = 13,15; \quad K_T = 1 - \frac{1}{13,15} = 0,92 > 0,8 - \text{умова виконується.}$$

Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}}, \quad (2.4)$$

де $Ш_{cp}$ – середня шорсткість поверхонь деталі;

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} \text{ [мкм]}, \quad (2.5)$$

де $Ш_i$ – шорсткість поверхонь деталі; n_i – кількість поверхонь.

Таблиця 2.5 – Параметри шорсткості поверхонь

Шорсткість Ra, мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6	$\varnothing 110s7^{(+0,114/+0,079)}$; $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$; лівий торець $\varnothing 165$	$1,6 \cdot 3 = 4,8$
3,2	$\varnothing 70_{-0,12}$; $14H9^{(+0,04)}$ (2 пов.)	$3,2 \cdot 3 = 9,6$
6,3	$\varnothing 92$; $\varnothing 62,5$; 5; M62 \times 2-7H; 100 (правий торець); 42; 22; 53,8; фаски 1 \times 45°	$6,3 \cdot 13 = 81,9$
12,5	$\varnothing 165$; правий торець $\varnothing 165$; $\varnothing 120$; $\varnothing 12,5$ (4 отв.); 100 (лівий торець)	$12,5 \cdot 8 = 100$
Всього	27	196,3

$$Ш_{\text{ф}} = \frac{196,3}{27} = 7,27;$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{7,27} = 0,14 < 0,32 - \text{умова виконується.}$$

Висновок. Провівши якісний та кількісний аналіз, можна зробити висновок, що деталь технологічна і може бути виготовлена на верстатах звичайної точності.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

2.2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій [3, 4]:

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.6)$$

де $\sum O_i$ – сумарна кількість операцій, які виконуються на робочих місцях дільниці; $\sum P_i$ – сумарна кількість робочих місць для виконання операцій.

Вихідними даними для визначення $K_{\text{з.о.}}$, а значить і типу виробництва, є робоче креслення і річна програма випуску деталі.

Проведення розрахунків $\sum O_i$ та $\sum P_i$ проводимо в наступній послідовності.

Згідно креслення деталі встановлено найбільш характерні переходи механічної обробки деталі «Ступиця ГБ 20.006»:

- точити торець $\varnothing 110$ одноразово;
- точити торець $\varnothing 165$ попередньо (лівий);
- розточити отвір $\varnothing 50\text{H}7$ попередньо (11 квалітет);
- розточити отвір $\varnothing 50\text{H}7$ остаточно (8 квалітет);
- точити торець $\varnothing 165$ остаточно (лівий);
- точити торець $\varnothing 70$ одноразово;

- точити торець $\varnothing 165$ одноразово (правий);

Усі дані занесено в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Переходи механічної обробки	T_o , хв.	φ_k	$T_{\text{шт-к}}$, хв.	C_p	$P_{\text{пр}}$	$\eta_{\text{з.ф.}}$	$\eta_{\text{з.м.}}$	O	$K_{\text{з.о.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Точити торець $\varnothing 110$ одноразово.	0,297	1,3	2,18	0,062	1	0,062	0,75	13	14
2. Точити торець $\varnothing 165$ попередньо (лівий).	0,408								
3. Розточити отвір $\varnothing 50\text{H7}$ попередньо (11 квалітет).	0,272								
4. Розточити отвір $\varnothing 50\text{H7}$ остаточно (8 квалітет).	0,7								
5. Точити торець $\varnothing 165$ остаточно (лівий).	0,998	1,3	1,82	0,052	1	0,052	0,75	15	
6. Точити торець $\varnothing 70$ одноразово.	0,063								
7. Точити торець $\varnothing 165$ одноразово (правий).	0,334								

Розрахуємо штучно-калькуляційний час на виконання характерних переходів за формулою

$$T_{\text{шт-к}} = T_o \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.7)$$

де T_o – основний час обробки, хв.;

φ_k – коефіцієнт, що залежить від типу виробництва та типу верстатів, що використовуються для обробки даної партії деталей.

Точити торець $\varnothing 110$ одноразово

$$T_{\text{осл}} = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 110 \cdot (100-50) = 0,297 \text{ (хв.)}$$

Точити торець $\varnothing 165$ попередньо (лівий)

$$T_{\text{осн2}} = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 165 \cdot (165-110) = 0,408 \text{ (хв.)}$$

Розточити отвір $\varnothing 50\text{H7}$ попередньо (11 квалітет)

$$T_{\text{осн3}} = 0,000068 \cdot D \cdot \ell = 0,000068 \cdot 50 \cdot 80 = 0,272 \text{ (хв.)}$$

Розточити отвір $\varnothing 50\text{H7}$ остаточно (8 квалітет)

$$T_{\text{осн4}} = 0,000175 \cdot D \cdot \ell = 0,000175 \cdot 50 \cdot 80 = 0,7 \text{ (хв.)}$$

Точити торець $\varnothing 165$ остаточно (лівий)

$$T_{\text{осн5}} = 0,00011 \cdot D \cdot (D-d) = 0,00011 \cdot 165 \cdot (165-110) = 0,998 \text{ (хв.)}$$

Точити торець $\varnothing 70$ одноразово

$$T_{\text{осн6}} = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 70 \cdot (70-50) = 0,063 \text{ (хв.)}$$

Точити торець $\varnothing 165$ одноразово (правий)

$$T_{\text{осн7}} = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 165 \cdot (165-120) = 0,334 \text{ (хв.)}$$

Переходи 1-4 планується виконувати на одному верстаті з ЧПК, тому

$$T_{\text{о\Sigma1-4}} = 0,297+0,408+0,272+0,7 = 1,677 \text{ (хв.)}$$

Переходи 5-7 планується виконувати на другому верстаті з ЧПК, тому

$$T_{\text{о\Sigma5-7}} = 0,998+0,063+0,334 = 1,4 \text{ (хв.)}$$

Приймаємо φ_k для токарно-револьверного верстата з ЧПК для умов серійного виробництва, визначеного наближено за програмою випуску $N = 5000$ шт. і масою деталі 4,92 кг (до 10 кг) [4].

Тоді

$$T_{\text{шт-к1-4}} = \varphi_k \cdot T_{\text{оЗ1-4}} = 1,3 \cdot 1,677 = 2,18 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{шт-к5-7}} = \varphi_k \cdot T_{\text{оЗ5-7}} = 1,3 \cdot 1,4 = 1,82 \text{ (хв.)}$$

Кількість верстатів для обробки деталі для вказаних переходів (враховуючи фонд часу для верстатів з ЧПК і наближено встановленої серійності виробництва)

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot \eta_{\text{з.н.}}} \text{ [шт.]}, \quad (2.8)$$

де $N = 5000$ шт. – річна програма випуску деталі «Ступиця ГБ 20.006»;

$T_{\text{шт-к}}$ – штучно-калькуляційний час, хв.;

F_{δ} – дійсний фонд роботи обладнання ($F_{\delta} = 3890$ год. при роботі в 2 зміни);

$\eta_{\text{з.н.}}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (рекомендовано $\eta_{\text{з.н.}} = 0,65 \dots 0,75$, прийнято $\eta_{\text{з.н.}} = 0,75$ для попередньо визначеного великосерійного виробництва [4]).

$$C_{p1} = \frac{5000 \cdot 2,18}{60 \cdot 3890 \cdot 0,75} = 0,062;$$

$$C_{p2} = \frac{5000 \cdot 1,82}{60 \cdot 3890 \cdot 0,75} = 0,052.$$

Для виконання переходів механічної обробки прийнято кількість верстатів:

$$P_{np1} = 1; P_{np2} = 1.$$

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження обладнання

$$\eta_{з.ф.} = \frac{C_{pi}}{P_{npi}}, \quad (2.9)$$

$$\eta_{з.ф.1} = 0,062/1 = 0,062;$$

$$\eta_{з.ф.2} = 0,052/1 = 0,052.$$

Кількість операцій, закріплених за кожним робочим місцем:

$$O_i = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф.i}}, \quad (2.10)$$

де $\eta_{з.н}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{з.ф.i}$ – фактичний коефіцієнт завантаження обладнання, на i -ій операції.

$$O_1 = \frac{0,75}{0,062} = 12,1 \rightarrow 13;$$

$$O_2 = \frac{0,75}{0,052} = 14,42 \rightarrow 15.$$

Результати розрахунків зведено в таблицю 1.1.

Отже, коефіцієнт закріплення операцій

$$K_{30} = \frac{13 + 15}{1 + 1} = 14.$$

Так як $10 < K_{з.о.} = 14 < 20$, то тип даного виробництва середньосерійний.

2.2.2 Визначення форми організації роботи

Визначаємо заданий добовий випуск виробів

$$N_d = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.11)$$

де 254 – кількість робочих днів в році.

$$N_d = \frac{5000}{254} = 19,7 \approx 20 \text{ (шт.)}$$

Розрахункова добова продуктивність потокової лінії

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{шт-к,ср}} \cdot \eta_z \text{ [шт.]}, \quad (2.12)$$

де $T_{шт-к,ср}$ – середній штучно-калькуляційний час виконуваних операцій, хв.;

F_d – добовий фонд часу роботи обладнання ($F_d = 952$ хв.);

η_z – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії ($\eta_z = 0,75$).

$$T_{шт-к,ср} = \frac{2,18 + 1,82}{2} = 2,0 \text{ (хв.)};$$

$$Q_d = \frac{952}{2,0} \cdot 0,75 = 357 \text{ (шт.)}$$

Оскільки потрібний добовий випуск виробів значно менший добової продуктивності лінії $N_d = 20 \text{ шт.} < Q_d = 357 \text{ шт.}$, то організація потокової лінії недоцільна.

При груповій формі організації роботи визначається кількість деталей в партії для одночасного запуску:

$$n = \frac{N \cdot t}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.13)$$

де t – періодичність запуску партії деталей у виробництво в днях (для великосерійного виробництва прийнято 2 дні);

$$n = \frac{5000 \cdot 6}{254} = 118 \text{ (шт.)}$$

Розрахункова кількість змін, що потрібна на обробку партії деталей на основних робочих місцях

$$C_{зм} = \frac{T_{шт-к_{ср}} \cdot n}{476 \cdot 0,75} = \frac{2,0 \cdot 118}{476 \cdot 0,75} = 0,66 \text{ (зміни);}$$

де 476 – ефективний фонд часу роботи обладнання в зміну, хв.

Розрахункова кількість змін округляється до прийнятого цілого числа, після чого визначається кількість деталей в партії, яка необхідна для завантаження обладнання протягом цілого числа змін

$$n = \frac{C_{ці} \cdot 476 \cdot 0,75}{\dot{O}_{\phi\delta} - \hat{e}_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{\delta}}} = \frac{1 \cdot 476 \cdot 0,75}{2,0} = 179,5 \text{ (шт.)}$$

Приймаємо кількість деталей в партії $n = 180$ шт.

Висновок. Тип виробництва – середньосерійний, форма організації роботи – групова, кількість деталей в партії, що запускається на обробку одночасно $n = 180$ шт.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Орієнтуючись на робоче креслення деталі, матеріал деталі – сталь 45Л (матеріал має добрі ливарні властивості), масу – $m = 4,92$ кг, річну програму випуску – $N_p = 5000$ шт., тип виробництва – середньосерійний, встановлюємо метод одержання заготовки – лиття.

Як можливі способи одержання заготовки було вибрано [5, 6]: лиття в піщано-глинисті форми; лиття в оболонкові форми; лиття за виплавними моделями; відцентрове лиття; лиття в облицьований кокіль.

В умовах серійного виробництва (наближається до великосерійного) для виготовлення заготовки даної деталі пропонується два альтернативні варіанти виготовлення – це лиття за виплавними моделями та лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші.

При литті за виплавними моделями забезпечується висока точність розмірів, низька шорсткість, максимальне наближення до конфігурацій деталі, можливе лиття одночасно декількох виливків, що доцільно для середньосерійного виробництва, яке за коефіцієнтом закріплення операцій наближається до великосерійного.

Лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші забезпечує механізацію процесу виготовлення виливків і досить високу точність заготовок. Матеріали, які при цьому використовуються є досить дешевими.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення

Призначення припусків (табличних) на механічну обробку та розрахунок граничних розмірів заготовок [5, 6].

- Клас розмірної точності

Вибір класу розмірної точності залежить від: технологічного процесу лиття (лиття за виплавними моделями, лиття в піщано-глинисті форми з машинним

формуванням суміші); найбільшого габаритного розміру (165 мм); типу сплаву (сталь 45Л); наявності термічної обробки (виконується);

Діапазон значень класу розмірної точності:

- лиття за виплавними моделями 7т-11т;
- лиття в піщано-глинисті форми 9т-13.

З урахуванням середньосерійного типу виробництва прийняті значення 9т, 11т відповідно.

- Ступінь жолоблення елементів виливків

Вибір ступеня жолоблення залежить від: співвідношення найменшого розміру до найбільшого ($12/165 = 0,073$); типу форм (разові); наявності термічної обробки (виконується).

Діапазон значень ступеней жолоблення:

- лиття за виплавними моделями 6-9;
- лиття в піщано-глинисті форми 6-9.

Прийнято 7, 8 відповідно.

- Ступінь точності поверхонь виливків

Залежить від тих же параметрів, що і клас розмірної точності.

Діапазон значень ступеней точності поверхонь виливків:

- лиття за виплавними моделями 7-12;
- лиття в піщано-глинисті форми 12-19.

Прийнято середні значення 9 та 15 відповідно.

- Шорсткість поверхонь виливків

Залежить від ступені точності поверхонь виливка:

- для лиття за виплавними моделями (6) приймаємо $Ra = 6,3$ мкм;
- для лиття в піщано-глинисті форми (7) приймаємо $Ra = 8,0$ мкм.

- Клас точності маси виливків

Залежить від: номінальної маси виливка; технологічного способу лиття; типу сплаву (алюміній); наявності термічної обробки (виконується).

Діапазон значень класу точності маси:

- для лиття за виплавними моделями 5-12;

- для лиття в піщано-глинисті форми 7-15.

Прийнято значення 9т та 11т відповідно (згідно з класами розмірної точності).

- Ряд припусків на обробку виливків

Залежить від ступеня точності поверхонь виливка.

Діапазон значень класу розмірної точності:

- лиття за виплавними моделями 2-5;

- лиття в піщано-глинисті форми 6-9.

Прийнято 3 та 7 відповідно.

- Допуски розмірів (див. табл. 2.7-2.8)

Вибір допусків залежить від розміру деталі, класу розмірної точності.

- Допуски форми чи розміщення

Вибір допусків форми чи розміщення залежить від: номінального розміру, ступеня жолоблення елементів виливка.

- Допуски зміщення по площині роз'єму

Залежить від мінімальної товщини стінки, що виходить на лінію роз'єму та класу розмірної точності.

Зміщення на площині роз'єму відсутнє для лиття за виплавними моделями, так як форми нероз'ємні. При литті в піщано-глинисті форми роз'єму форм проходить таким чином, що це не впливає на одержувані розміри (див. ескіз заготовки).

- Допуски зміщення через перекіс стержня

Залежить від мінімальної товщини стінки, яка утворюється стержнем, приймаємо на 1 клас точніше від класу розмірної точності, так як виробництво середньосерійне.

- Допуски нерівностей

При литті за виплавними моделями вибираємо у відповідності до ступеня точності поверхонь виливка 0,32, при литті в піщано-глинисті форми – 1,2.

Таблиця 2.7 – Розрахунок розмірів литих заготовок [5, 6]

Вихідні дані	Лиття за виплавними моделями								
	Згідно ГОСТ 26645-85				Прийнято				
Клас розмірної точності виливків	7Т-11Т 7Т, 7, 8, 9Т, 9, 10, 11Т				9Т				
Ступінь жолоблення елементів виливків	6-9 6, 7, 8, 9				7				
Ступінь точності поверхонь виливків	7-12 7, 8, 9, 10, 11, 12				9				
Шорсткість поверхонь виливків	Ra = 12,5 мкм								
Клас точності маси виливків	5-12 5, 6, 7Т, 7, 8, 9Т, 9, 10, 11Т, 11, 12				9Т				
Ряд припусків на обробку виливків	2-5 2, 3, 4, 5				3				
Розрахункові розміри	ø70 _{-0,12}	ø110s7 (^{+0,114} _{+0,079})	ø165	ø50H7 (+0,025)	100	15	22	16	ø12,5
Допуски:									
розмірів	1,8	2,0	2,2	1,6	1,8	1,1	1,2	1,1	1,1
форми чи розміщення	0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
зміщення по площині роз'єму	-	-	-	-	-	-	-	-	-
зміщення через перекіс стержня	-	-	-	0,64	-	-	-	-	1,0
нерівностей	0,32								
маси	8%								
Загальний допуск	2,2	2,2	2,8	1,8	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4
Припуски:									
мінімальний	0,3								
	Кількість переходів механічної обробки								
За точністю розмірів	3	4	1	4	1	1	1	1	1
за відхиленнями форми і взаємного розміщення поверхонь	3	2	-	-	-	3	-	-	1
прийнята кількість переходів	3	4	1	4	1	3	1	1	1
Загальний припуск	2,7	3,1	1,9	2,5	1,7	1,9	1,3	1,3	1,3
Розміри заготовки:									
розраховані	ø75,4	ø116,2	ø168,8	ø45	103,4	14,8	22,4	16,9	9,9

Таблиця 2.8 – Розрахунок розмірів литих заготовок [5, 6]

Вихідні дані	Лиття в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші)								
	Згідно ГОСТ 26645-85				Прийнято				
Клас розмірної точності виливків	9т-13 9т, 9, 10, 11т, 12, 13т, 13				11т				
Ступінь жолоблення елементів виливків	6-9 6, 7, 8, 9				8				
Ступінь точності поверхонь виливків	12-19 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19				15				
Шорсткість поверхонь виливків	Ra = 50 мкм								
Клас точності маси виливків	7-15 7, 8, 9т, 9, 10, 11т, 11, 12, 13т, 13, 14, 15т, 15				11т				
Ряд припусків на обробку виливків	6-9 6, 7, 8, 9				7				
Розрахункові розміри	ø70 _{-0,12}	ø110s7 (^{+0,114} _{+0,079})	ø165	ø50H7 (^{+0,025})	100	15	22	16	ø12,5
Допуски:									
розмірів	3,6	4,0	4,4	3,2	3,6	2,2	2,4	2,2	2,2
форми чи розміщення	0,6	0,64	1,0	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
зміщення по площині роз'єму	-	-	-	-	-	-	-	-	-
зміщення через перекіс стержня	-	-	-	1,2	-	-	-	-	1,1
нерівностей	1,2								
маси	16%								
Загальний допуск	4,0	4,0	5,0	3,2	4,0	2,4	2,4	2,4	2,8
Припуски:									
мінімальний	0,8								
	Кількість переходів механічної обробки								
За точністю розмірів	3	4	1	4	1	1	1	1	1
за відхиленнями форми і взаємного розміщення пов-нь	1	2	-	-	-	2	-	-	1
прийнята кількість переходів	3	4	1	4	1	2	1	1	1
Загальний припуск	4,9	5,4	3,6	4,5	3,2	3,1	2,3	2,3	2,5
Розміри заготовки:									
розраховані	ø79,8	ø120,8	ø172,2	ø41	106,4	15,1	22,9	19,1	7,5

- Допуск маси

Вибираємо у відповідності до номінальної маси вилівка від 1 до 10 і класу точності маси 9т та 11т, відповідно 8% та 16%.

- Загальний допуск

Враховує сумарний вплив допуску розміру і допусків форми та розміщення поверхні.

- Припуски (табл. 2.7-2.8)

Мінімальний припуск на обробку поверхонь призначається згідно з рядом припусків. Він для всіх поверхонь вилівка однаковий і призначений для усунення нерівностей, дефектів литої поверхні, зменшення шорсткості. Він не забезпечує підвищення точності розмірів та розташування оброблюваної поверхні. Тому для забезпечення названих параметрів необхідно призначити загальний припуск. Для призначення загального припуску на оброблюваній поверхні потрібно знати кількість переходів механічної обробки.

- Кількість переходів механічної обробки

Кількість переходів механічної обробки за точністю виконуваних розмірів приймається в залежності від допуску розміру вилівка та відношення між допусками розміру деталі і вилівка $T_{РОЗМ.ДЕТ.} / T_{РОЗМ.ВИЛ.}$.

В залежності від названих параметрів вибирається вид остаточної обробки – чорнова, напівчистова, чистова, тонка, а відповідно до цього – кількість переходів (1, 2, 3, 4).

При литті за виплавними моделями:

- для номінального розміру $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ – $\frac{0,035}{2,0} = 0,0175$ – 4 переходи;

- для номінального розміру $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$ – $\frac{0,025}{1,6} = 0,016$ – 4 переходи;

- для номінального розміру $\varnothing 70_{-0,12}$ – $\frac{0,12}{1,8} = 0,067$ – 3 переходи.

Всі інші поверхні обробляються згідно 14 квалітету за 1 перехід.

При литті в піщано-глинисті форми:

- для номінального розміру $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{+0,079}$ – $\frac{0,035}{4,0} = 0,009$ – 4 переходи;
- для номінального розміру $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$ – $\frac{0,025}{3,2} = 0,008$ – 4 переходи;
- для номінального розміру $\varnothing 70_{-0,12}$ – $\frac{0,12}{3,6} = 0,033$ – 3 переходи.

Всі решта поверхонь обробляються по 14 квалітету точності за 1 перехід.

Кількість переходів механічної обробки за точністю форми і розміщення приймається в залежності від допуску розміру вилівка та відношення між допусками форми і розміщення оброблюваної поверхні деталі і відповідної поверхні вилівка.

Визначимо відношення $T_{\text{форм,розмдет.}} / T_{\text{форм,розмвил.}}$

Задані вимоги розміщення для розмірів:

- допуск співвісності $\varnothing 0,02$ мм осі поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{+0,079}$ відносно бази А;
- допуск співвісності $\varnothing 0,1$ мм осі поверхні $\varnothing 70_{-0,12}$ відносно бази А;
- допуск торцевого биття $0,02$ мм торця розміром 15 ($\varnothing 165$) відносно бази А;
- позиційний допуск чотирьох отворів $\varnothing 12,5$ до бази Б.

Необхідна кількість переходів механічної обробки вказаних поверхонь з урахуванням вимог:

- для лиття за виплавними моделями

$$\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{+0,079} - \frac{0,02}{0,5} = 0,04 - 3 \text{ переходи};$$

$$\varnothing 70_{-0,12} - \frac{0,1}{0,5} = 0,2 - 2 \text{ переходи};$$

$$15 - \frac{0,02}{0,5} = 0,04 - 3 \text{ переходи};$$

$$\varnothing 12,5 - \frac{0,3}{0,5} = 0,6 - 1 \text{ перехід};$$

- для лиття в піщано-глинисті форми

$$\varnothing 110s7\left(\begin{smallmatrix} +0,114 \\ +0,079 \end{smallmatrix}\right) - \frac{0,02}{0,64} = 0,03 - 2 \text{ переходи};$$

$$\varnothing 70_{-0,12} - \frac{0,1}{0,64} = 0,16 - 1 \text{ перехід};$$

$$15 - \frac{0,02}{0,64} = 0,03 - 2 \text{ переходи};$$

$$\varnothing 12,5 - \frac{0,3}{0,64} = 0,47 - 1 \text{ перехід.}$$

- Загальний припуск

Вибирається згідно: загального допуску елемента поверхні; виду остаточної механічної обробки; ряду припусків вилівка.

- Розміри заготовки

Розраховані для лиття за виплавними моделями:

$\varnothing 70_{-0,12}$	$\varnothing 70 + 2 \cdot 2,7 = \varnothing 75,4$ (мм);
$\varnothing 110s7\left(\begin{smallmatrix} +0,114 \\ +0,079 \end{smallmatrix}\right)$	$\varnothing 110 + 2 \cdot 3,1 = 116,2$ (мм);
$\varnothing 165$	$\varnothing 165 + 2 \cdot 1,9 = \varnothing 168,8$ (мм);
$\varnothing 50H7^{(+0,025)}$	$\varnothing 50 - 2 \cdot 2,5 = \varnothing 45$ (мм);
100	$100 + 2 \cdot 1,7 = 103,4$ (мм);
15	$15 + 1,7 - 1,9 = 14,8$ (мм);
22	$22 + 1,7 - 1,3 = 22,4$ (мм);
16	$16 + 1,9 = 16,9$ (мм).

Розраховані для лиття в піщано-глинисті форми:

$\varnothing 70_{-0,12}$	$\varnothing 70 + 2 \cdot 4,9 = \varnothing 79,8$ (мм);
$\varnothing 110s7\left(\begin{smallmatrix} +0,114 \\ +0,079 \end{smallmatrix}\right)$	$\varnothing 110 + 2 \cdot 5,4 = 120,8$ (мм);
$\varnothing 165$	$\varnothing 165 + 2 \cdot 3,6 = \varnothing 172,2$ (мм);
$\varnothing 50H7^{(+0,025)}$	$\varnothing 50 - 2 \cdot 4,5 = \varnothing 41$ (мм);
100	$100 + 2 \cdot 3,2 = 106,4$ (мм);
15	$15 + 3,2 - 3,1 = 15,1$ (мм);
22	$22 + 3,2 - 2,3 = 22,9$ (мм);

16

$$16+3,1 = 19,1 \text{ (мм)}.$$

Визначення мінімально допустимих радіусів заокруглень, нахилів, товщини стінки, мінімального діаметра отворів та інших конструктивних елементів заготовок [5, 6]

- Вибір мінімально допустимої товщини стінки

Мінімальна товщина стінки призначається так, щоб забезпечити необхідну міцність та забезпечити вимоги технології вибраного способу лиття. Мінімальну товщину литої заготовки визначено в залежності від сплаву та приведенного габариту деталі згідно [5].

Приведений габарит визначається за формулою:

$$N = (2L + B + H)/4 = (2 \cdot 0,1 + 0,165)/4 = 0,091 \text{ (м)},$$

де L, B, H – відповідно довжина, ширина, висота деталі в (м).

Для сталі з приведеним габаритом $N = 0,091$ мінімально допустиму товщину стінок прийнято: 5 мм.

Висновок: з креслення деталі бачимо, що мінімальна товщина стінки становить 10 мм, що є більше ніж мінімально допустима величина, що не призведе до появи тріщин та забезпечить необхідну жорсткість і міцність.

- Вибір радіусів заокруглень

Після формування контуру вилівка в місцях переходу від одного елемента до другого призначають радіуси заокруглень, які значною мірою визначають якість литої заготовки.

Радіуси заокруглень в спряженнях вибирають в залежності від матеріалу вилівка, товщини спряжуваних стінок і кута, що утворюється між ними.

В залежності від матеріалу вилівка (сталь 45Л), середній товщині стінки $(S+S_1)/2$ та кута що утворюється між ними (90°) визначаємо радіус заокруглень:

- при литті за виплавними моделями 5-7 мм;

- при литті в піщано-глинисті форми 5-8 мм.

- Вибір формувальних нахилів

Формувальні нахили назначають на вертикальні стінки вилівка з метою полегшення виймання моделі із форми та стержня із стержньового ящика. Нахили встановлюються згідно з ГОСТ 3212-80 в залежності від розмірів, висоти формоутворюючої поверхні, способу лиття та виду модельного комплекту.

В даному випадку лише для лиття за виплавними моделями для отвору Ø70 мм прийнято нахили 0°30'. Для решти поверхонь вони відсутні.

- Вибір мінімально допустимих діаметрів отворів

Мінімальний діаметр литих отворів залежить від товщини стінки (тобто довжини стержня) і визначений за формулою:

$$d_{\min} = d_0 + 0,1S \text{ [мм]}, \quad (2.14)$$

$$d_{\min} = 10 + 0,1 \cdot 11,5 = 11,15 \text{ (мм)},$$

де d_0 – вихідний діаметр, мм; S – товщина стінки, мм.

При литті за виплавними моделями розмір вилівка ø12,5 складає ø9,9 мм, при литті в піщано-глинисті форми – ø7,5 мм. Отже, цей отвір не може бути пролитий в обох варіантах лиття, так як розраховані для вилівоків діаметри менші мінімально допустимого ø11,15 мм.

Розмір під ø50H7^(+0,025) є досить великим, у вилівках він складає ø45 мм і ø41 мм і ці діаметри можуть проливатися.

2.3.3 Оформлення ескізів двох варіантів заготовки

Ескізи двох варіантів заготовки показано на рисунках 2.2-2.3.

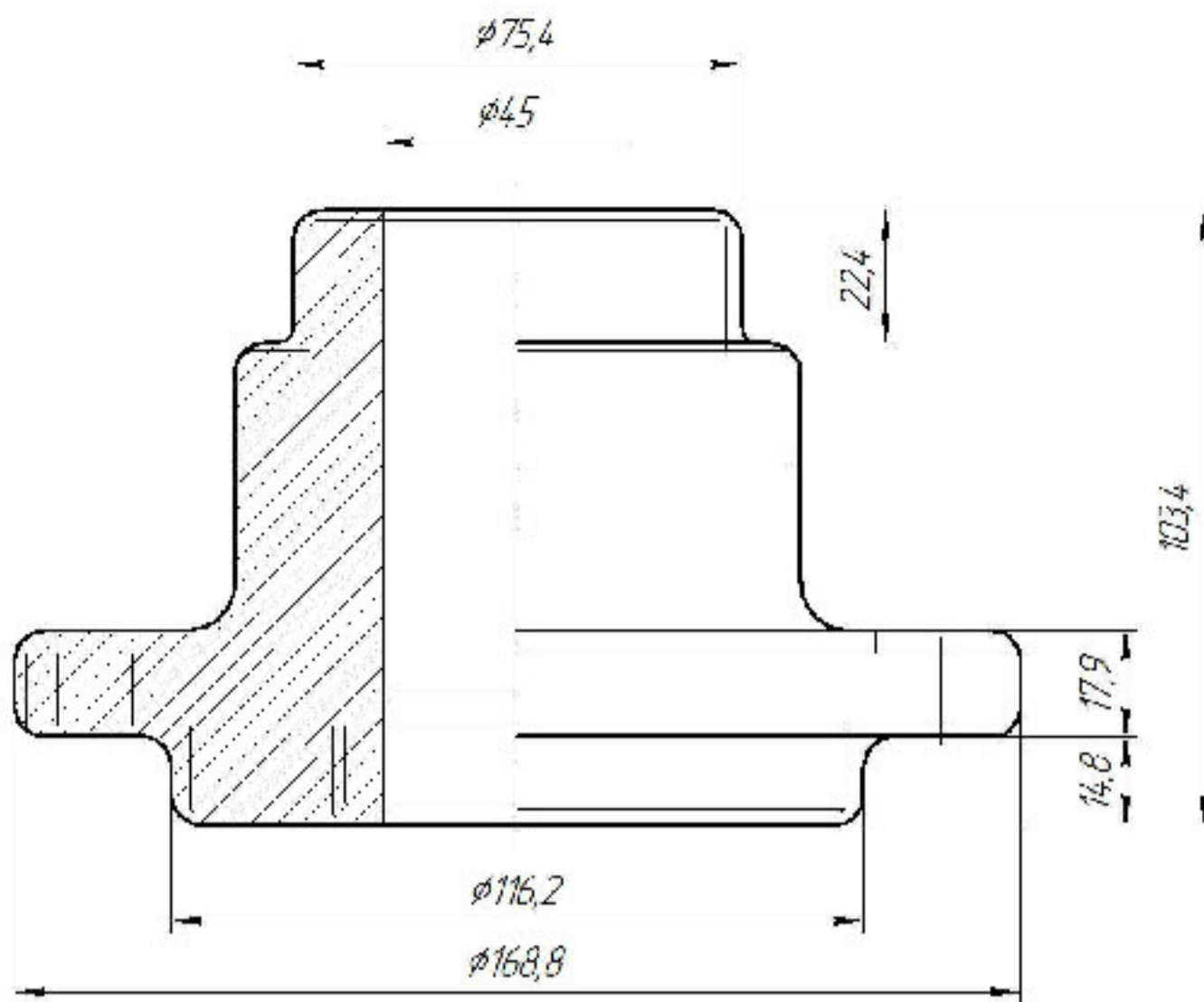


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки при литті за виплавними моделями

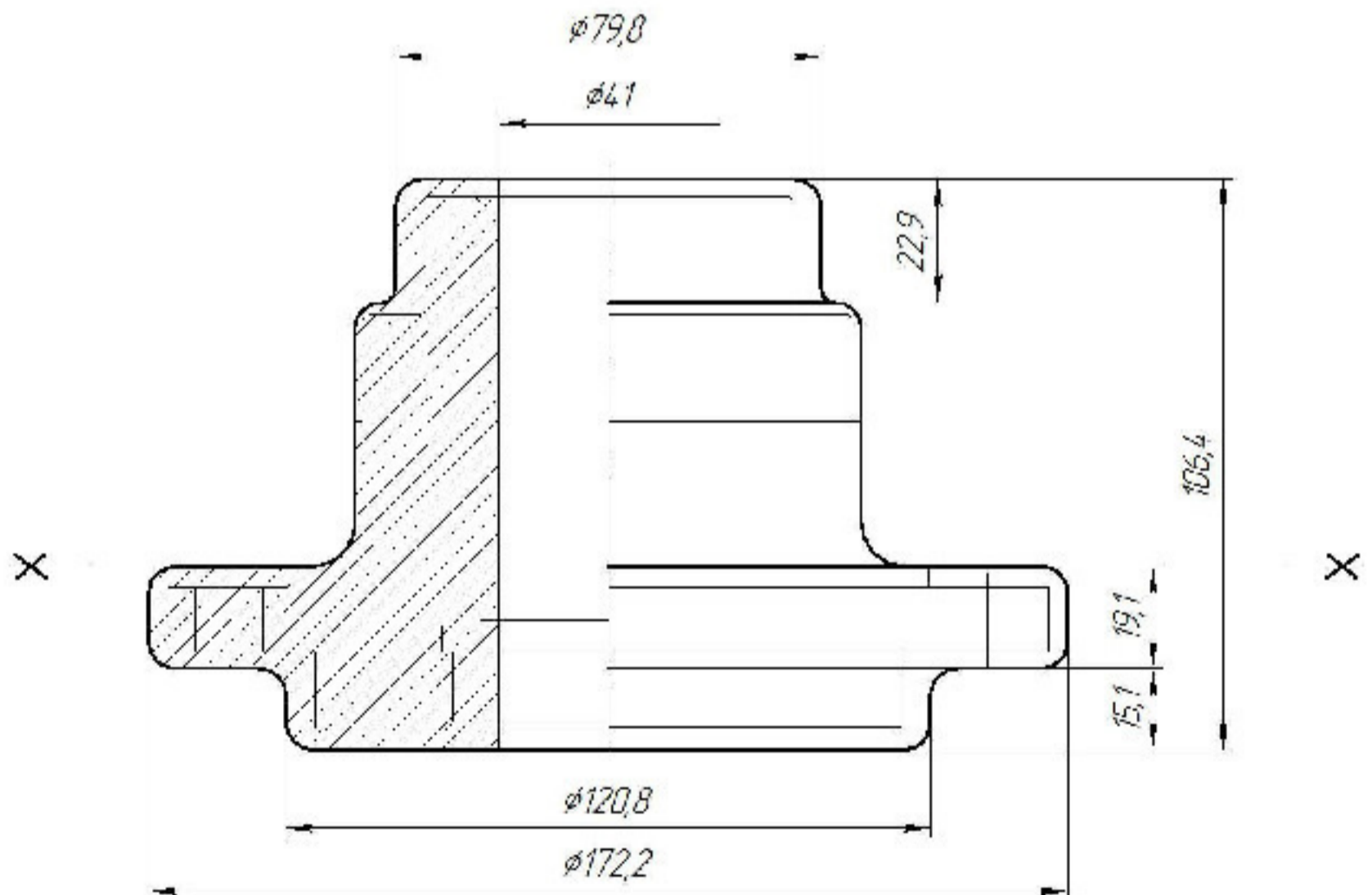


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки при литті в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші)

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси двох варіантів заготовки
Коефіцієнт точності маси визначається за формулою

$$K_{Т.М.} = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг}}, \quad (2.15)$$

де $Q_{дет}$ – маса деталі; $Q_{заг}$ – маса заготовки.

Масу заготовки визначаємо за допомогою створених 3D-моделей.

При литті за виплавними моделями маса заготовки складає 6,504 кг (рис. 2.4).

Масо-центрувальні характеристики

Матеріал тіла	Сталь 45Л ГОСТ 1050-2013
Густина матеріалу тіла	$R_0 = 0,007820 \text{ г/мм}^3$
Розрахункові параметри (тіла і компонентів)	
Маса	$M = 6503,877364 \text{ г}$
Площа	$S = 84526,864534 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 831697,872618 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = 0,000000 \text{ мм}$
	$Y_c = 0,000000 \text{ мм}$
	$Z_c = -36,878406 \text{ мм}$

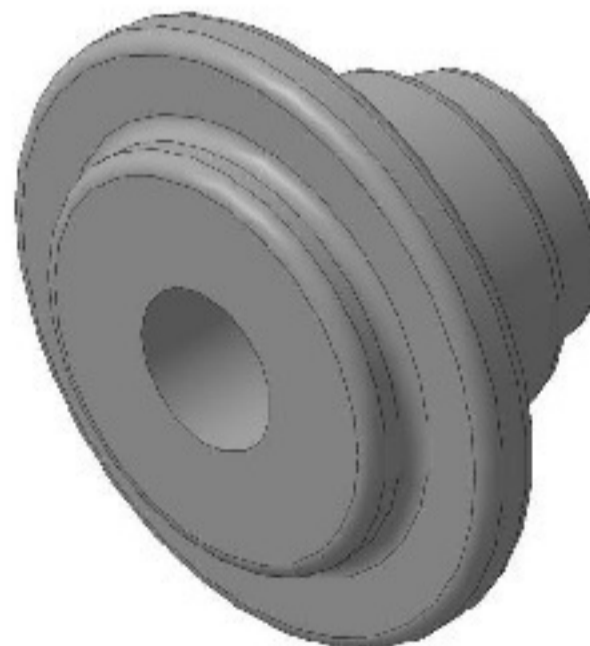


Рисунок 2.4 – 3D-модель виливка при литті за виплавними моделями

При литті в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші) маса заготовки складає 7,331 кг (рис. 2.5).

Масо-центрувальні характеристики

Матеріал тіла	Сталь 45Л ГОСТ 1050-2013
Густина матеріалу тіла	$R_0 = 0,007820 \text{ г/мм}^3$
Розрахункові параметри (тіла і компонентів)	
Маса	$M = 7330,963515 \text{ г}$
Площа	$S = 87724,628866 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 937463,365141 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = 0,000000 \text{ мм}$
	$Y_c = 0,000000 \text{ мм}$
	$Z_c = -38,443118 \text{ мм}$

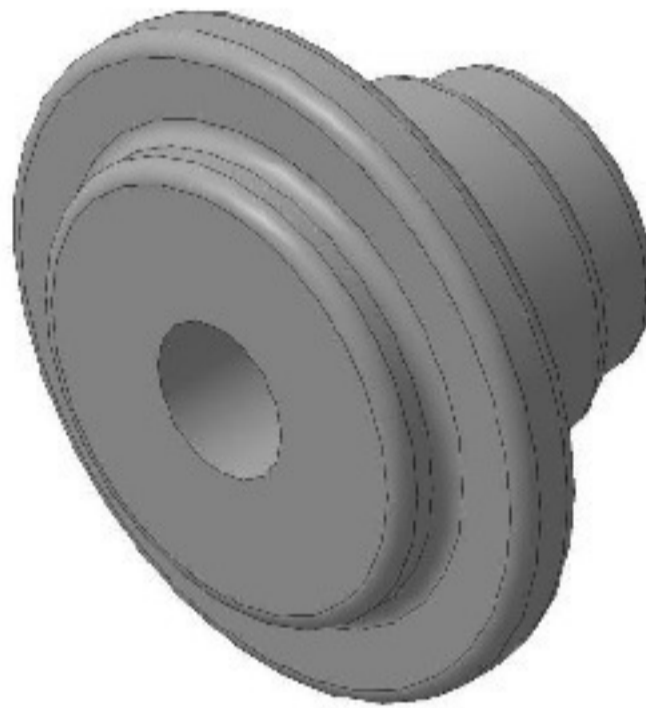


Рисунок 2.5 – 3D-модель виливка при литті в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші)

Коефіцієнт точності маси при литті за виплавними моделями

$$K_{T.M.1} = \frac{4,92}{6,504} = 0,76.$$

Коефіцієнт точності маси при литті в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші)

$$K_{T.M.2} = \frac{4,92}{7,331} = 0,67.$$

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Остаточний вибір заготовки проводимо на основі порівняння собівартості.

Собівартість заготовок розраховується за формулою [3, 5]:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_{\text{з}}}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} - (Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}}) \frac{C_{\text{відх}}}{1000} \text{ [грн.]}, \quad (2.16)$$

де $C_{\text{з}}$ – базова вартість однієї тонни заготовок, грн.;

$K_T, K_M, K_C, K_B, K_{II}$ – коефіцієнти, що залежать, відповідно, від класу точності, марки матеріалу, групи складності, маси і обсягу виробництва заготовок;

$C_{\text{відх}}$ – ціна однієї тонни відходів (стружки), грн.

- При литті за виплавним моделями

Базова вартість 1 т заготовок складає 130200 грн.

Для 9т класу розмірної точності коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок $K_T = 1,0$.

Для сталі коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки $K_M = 1,0$.

Для сталі коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки $K_C = 1,0$.

Для маси вилівка в 6,504 кг коефіцієнт, що враховує масу заготовки $K_B = 0,45$.

Для визначення коефіцієнта K_{II} , що залежить від об'єму виробництва, тобто розміру річної програми випуску заготовок, потрібно визначити спочатку групу серійності за ГОСТ 26645-85.

Група серійності за ГОСТ 26645-85 складає 3, програма випуску 5000 шт.

Для сталі коефіцієнт, що враховує об'єм виробництва заготовок $K_{II} = 1,23$.

Вартість відходів $C_{\text{відх}} = 2000$ грн./т.

$$C_{\text{зал.лит1}} = \frac{(6,504 \cdot 130200 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 \cdot 1,23)}{1000} - \frac{(6,504 - 4,92) \cdot 2000}{1000} = 416,22 \text{ (грн.)}$$

- При литті в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші)

Базова вартість 1 т заготовок складає 42100 грн.

Для 11т класу розмірної точності коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок $K_T = 1,05$.

Для сталі коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки $K_M = 1,22$.

Для сталі коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки $K_C = 1,0$.

Для маси вилівка в 13,54 кг коефіцієнт, що враховує масу заготовки $K_B = 0,93$.

Для визначення коефіцієнта K_{II} , що залежить від об'єму виробництва, тобто, розміру річної програми випуску заготовок, потрібно визначити спочатку групу серійності за ГОСТ 26645-85.

Група серійності за ГОСТ 26645-85 складає 3.

Для сталі коефіцієнт, що враховує об'єм виробництва заготовок $K_{II} = 1,0$.

Вартість відходів $C_{\text{відх}} = 2000$ грн./т.

$$C_{\text{зал.лит2}} = \frac{(7,331 \cdot 42100 \cdot 1,05 \cdot 1,22 \cdot 1,0 \cdot 0,93 \cdot 1,0)}{1000} - \frac{(7,331 - 4,92) \cdot 2000}{1000} = 404,7 \text{ (грн.)}$$

Аналізуючи дану ситуацію пропоную остаточним методом лиття вибрати лиття за виплавними моделями, адже воно є дешевшим за відцентрове лиття.

Економічний ефект

$$E = (C_{\text{зал.1}} - C_{\text{зал.2}}) \cdot N \text{ [грн.],} \quad (2.17)$$

$$E = (416,22 - 404,7) \cdot 5000 = 57600 \text{ (грн.)}$$

Висновок. З отриманих розрахунків можна зробити висновок, що при виготовленні даної заготовки деталі доцільно обрати спосіб лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші, так як він є більш економічним для даного типу виробництва.

2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь

Визначення кількості ступенів механічної обробки виконується на основі розрахунків за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \dots = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots, \quad (2.18)$$

де ε – загальне уточнення;

ε_i – окремі ступені уточнення; для першого переходу чорнової обробки $\varepsilon_{чор} \leq 6$; для переходів напівчистої обробки $\varepsilon_{пчист} = 3 \dots 4$; для чистої обробки (ІТ 8 - ІТ 10) $\varepsilon_{чист} = 2 \dots 2,5$; для фінішної обробки (ІТ 5 - ІТ 7) $\varepsilon_{фін} = 1,5 \dots 2$;

n – число ступенів обробки;

$T_{дет}$, $T_{заг}$, T_i – допуски параметра, що розглядається відповідно для деталі, заготовки та окремого ступеня обробки.

Відповідно до наведених вище вимог для усіх поверхонь з підвищеними вимогами точності визначено кількість переходів, способи та методи попередньої та остаточної обробки.

Визначення кількості ступенів механічної обробки для поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114}_{+0,079})$ (шорсткість $Ra = 1,6$ мкм).

Заготовка лиття $T_{заг} = 4000$ мкм, допуск деталі $T_{дет} = 35$ мкм.

Загальне уточнення для цієї поверхні:

$$\varepsilon = 4000/35 = 114,3.$$

Приймаємо 4 переходи механічної обробки. Призначаємо:

$$\varepsilon_1 = 6; \varepsilon_2 = 4; \varepsilon_3 = 2,5;$$

$$\varepsilon_4 = 114,3/(6 \cdot 4 \cdot 2,5) = 1,905.$$

Допуск розміру після кожного переходу складатиме:

$$T_1 = \frac{4000}{6} = 666,67 \text{ (мкм)} (\approx \text{IT } 13);$$

$$T_2 = \frac{666,67}{4} = 166,67 \text{ (мкм)} (\approx \text{IT } 10);$$

$$T_3 = \frac{166,67}{2,5} = 66,67 \text{ (мкм)} (\approx \text{IT } 8);$$

$$T_4 = \frac{66,66}{1,905} = 35 \text{ (мкм)} (\text{IT } 7).$$

Остаточно приймаємо такі переходи механічної обробки циліндричної поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ (шорсткість $Ra = 1,6$ мкм):

- точіння попереднє;
- точіння попереднє;
- точіння остаточне;
- шліфування одноразове.

Методи обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності зведені в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Методи обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності

Поверхня (розмір)	$\varepsilon = \frac{T_{заг}}{T_{дет}}$	Квалітети	Метод обробки
1	2	3	4
$\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$	$\varepsilon = 114,3$	$T_1 = 666,67$ мкм ($\approx IT 13$); $T_2 = 166,67$ мкм ($\approx IT 10$); $T_3 = 66,67$ мкм ($\approx IT 8$) $T_4 = 35$ мкм (IT 7)	Точіння попереднє; точіння попереднє; точіння остаточне; шліфування одноразове
$\varnothing 50H7^{(+0,025)}$	$\varepsilon = 3,2/0,025 = 128$; $\varepsilon_1 = 6$; $\varepsilon_2 = 4$; $\varepsilon_3 = 2,67$; $\varepsilon_4 = 2$	$T_1 = 3200/6 = 533,33$ (мкм) ($\approx IT 14$); $T_2 = 533,33/3,5 = 133,33$ (мкм) ($\approx IT 11$); $T_3 = 133,33/2,67 = 49,94$ (мкм) ($\approx IT 8$); $T_4 = 49,94/2 = 25$ (мкм) (IT 7)	Розточування попереднє; розточування попереднє; розточування остаточне; шліфування одноразове
$\varnothing 70_{-0,12}$	$\varepsilon = 3,6/0,12 = 30$; $\varepsilon_1 = 6$; $\varepsilon_2 = 3$; $\varepsilon_3 = 1,67$	$T_1 = 3600/6 = 600$ (мкм) ($\approx IT 14$); $T_2 = 600/3 = 200$ (мкм) ($\approx IT 11$); $T_3 = 200/1,67 = 120$ (мкм) (IT 10)	Точіння попереднє; точіння попереднє; точіння остаточне

Всі інші поверхні деталі «Ступиця ГБ 20.006» обробляються по 12, 14 квалітетах за один перехід.

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

При виборі чистових баз ми маємо мінімізувати похибку базування на розміри, що утворюються, або звести її до нуля. На 010 операції деталь базується по осі поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ та торцевій поверхні. Схема базування показана на рисунку 2.6.

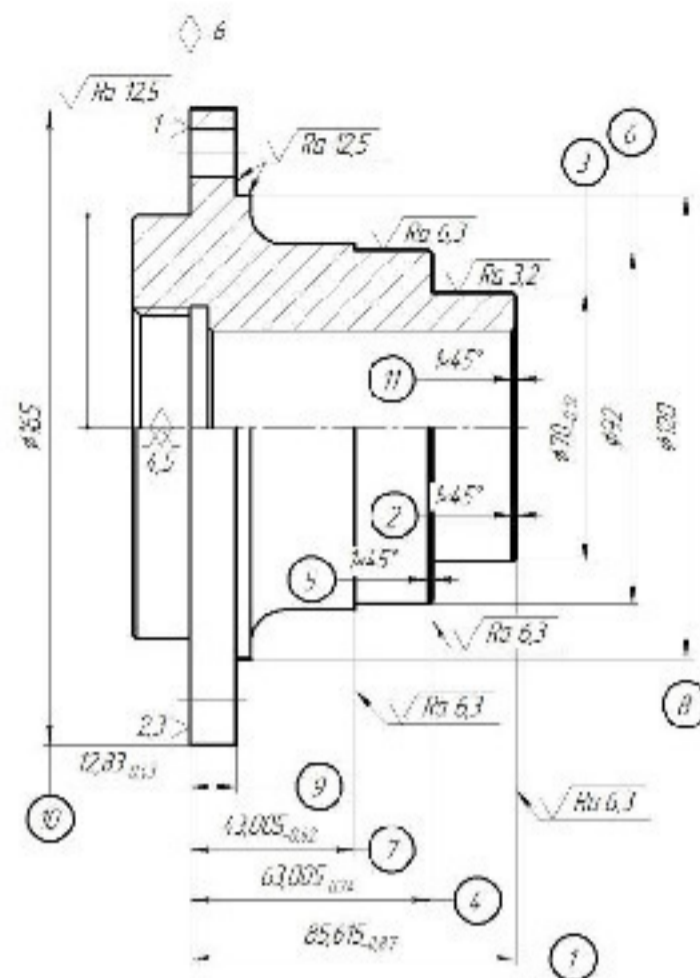


Рисунок 2.6 – Схема базування на операції 010 (чистові бази)

В якості чорнових баз на першій операції 005 використаємо вісь поверхні $\varnothing 165$ як подвійну опорну базу та торець як установну базу – ця схема базування відповідає установленню та закріпленню в трикулачковому самоцентрувальному патроні (рис. 2.7).

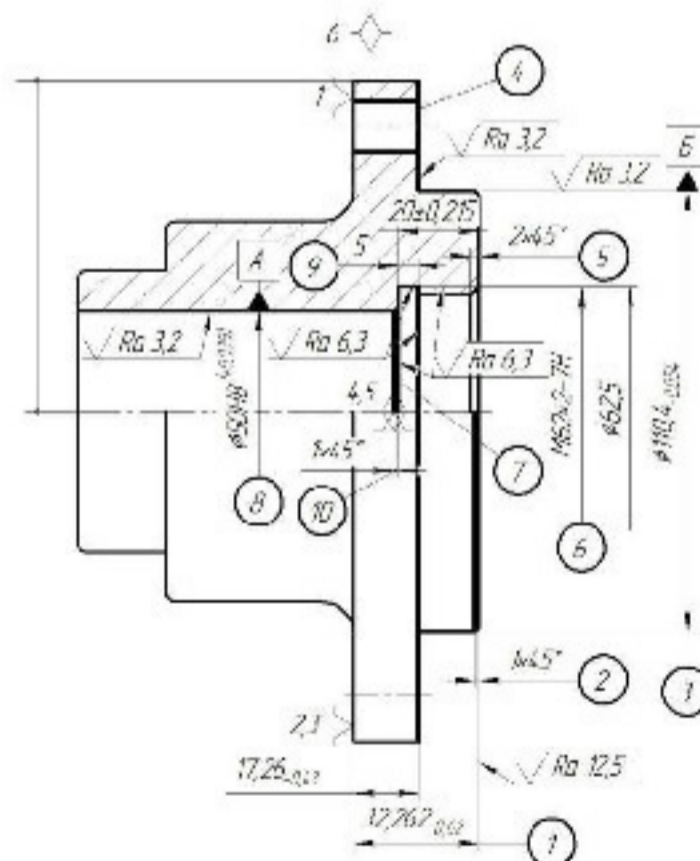


Рисунок 2.7 – Схема базування на операції 005 (чорнові бази)

При цьому вирішується задача зняття рівномірного припуску з точних діаметральних поверхонь.

Використання даних схем базування дозволяє нам забезпечити необхідні вимоги точності (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 – Аналіз вибору технологічних баз

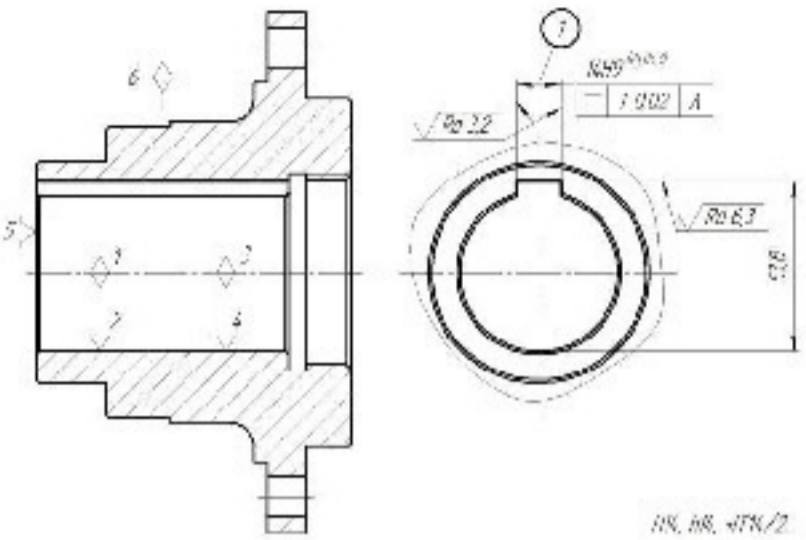
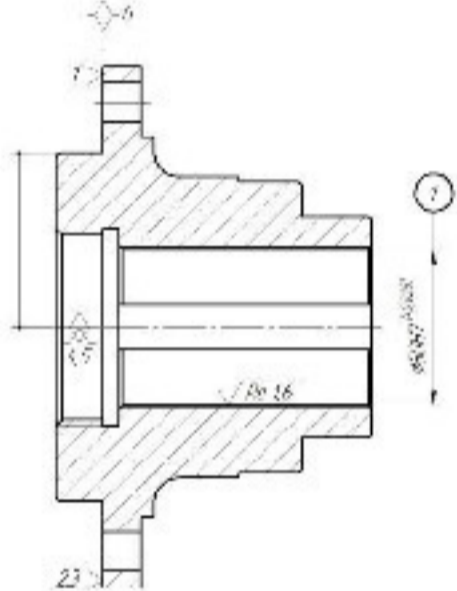
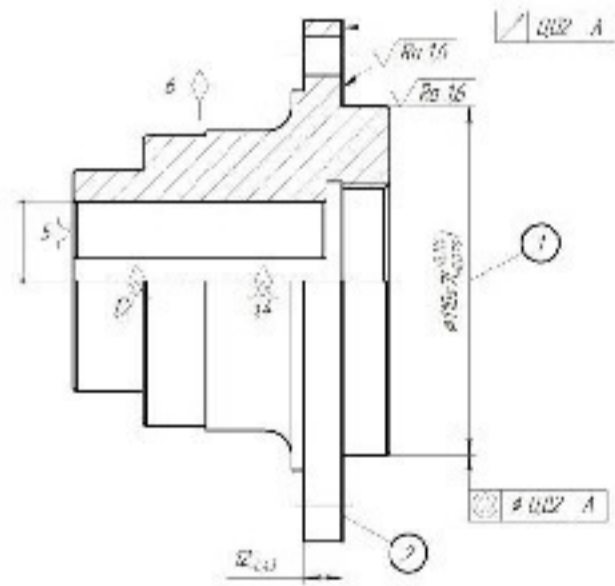
Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
1	2	3	4
010 Токарно-револьверна з ЧПК	100	існує похибка базування	невиконання принципу суміщення баз
	1×45°	відсутня	обробка з одного установа
	∅70 _{-0,12}	відсутня	діаметральний розмір
	22	відсутня	обробка з одного установа
	1×45°	відсутня	обробка з одного установа
	∅92	відсутня	діаметральний розмір
	42	відсутня	обробка з одного установа
	∅120	відсутня	діаметральний розмір
	12	відсутня	виконання принципу суміщення баз
015 Токарно-револьверна з ЧПК	∅110s7 (^{+0,114} _{+0,079})	відсутня	діаметральний розмір
	15	існує похибка базування	невиконання принципу суміщення баз
	∅50H7 (+0,025)	відсутня	діаметральний розмір
025 Горизонтально-протягувальна	14H9 (+0,043)	відсутня	обробка мірним інструментом
	53,8	відсутня	виконання принципу суміщення баз
	допуск співвісності ∅0,02 мм осі поверхні ∅110s7 відносно бази А	відсутня	обробка з одного установа
	позиційний допуск 0,3 мм 4 отв. ∅12,5 до бази Б	відсутня	виконання принципу суміщення баз
	допуск торцевого биття 0,02 мм торця розміром 15 (∅165) відносно бази А	відсутня	обробка з одного установа
	допуск співвісності ∅0,1 мм осі поверхні ∅70 _{-0,12} відносно бази А	відсутня	поверхні А і Б оброблені з одного установа

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Таблиця 2.11 – Маршрут механічної обробки (I варіант)

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базубання	Тип обладнання
015	<p><i>Токарно-револьверна з ЧПК</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразова, поверхню 3, торець 4 попередньо. 3. Точити поверхню 3 попередньо, торець 4 остаточно. 4. Точити поверхню 2 остаточно. 5. Розточити фаску 5, поверхню 6, торець 7 одноразова, поверхню 8 попередньо. 6. Розточити канавку 9 одноразова. 7. Розточити фаску 10 одноразова, поверхню 8 попередньо. 8. Розточити поверхню 8 остаточно. 9. Нарізати різь в отворі 6. 10. Зняти заготовку. 		Токарно-револьверна з ЧПК №№ 2017030
010	<p><i>Токарно-револьверна з ЧПК</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразова, поверхню 3 попередньо, торець 4, фаску 5, поверхню 6, торець 7, поверхню 8, торець 9, поверхню 10 одноразова. 3. Точити поверхню 3 попередньо. 4. Точити поверхню 1 остаточно. 5. Розточити фаску 11 одноразова. 6. Зняти заготовку. 		Токарно-револьверна з ЧПК №№ 2017040
015	<p><i>Вертикально-свердлильна з ЧПК</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Центрувати 4 отві. 3. Свердлити 4 отві. 4. Зняти заготовку. 		Вертикально-свердлильна з ЧПК №№ 2017050

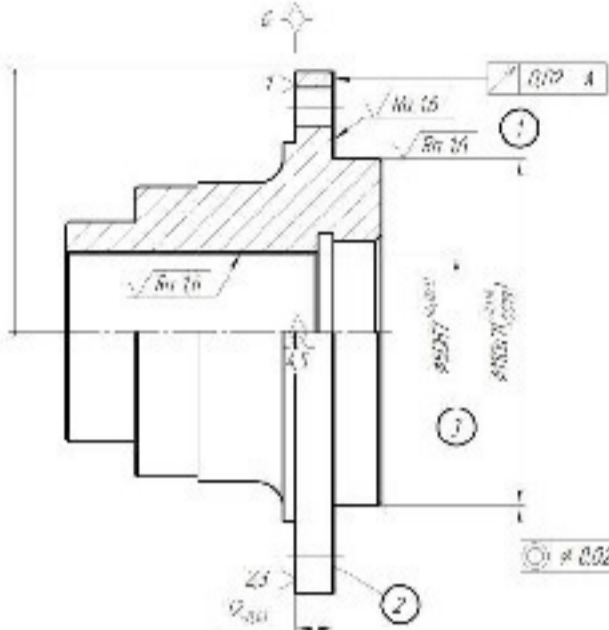
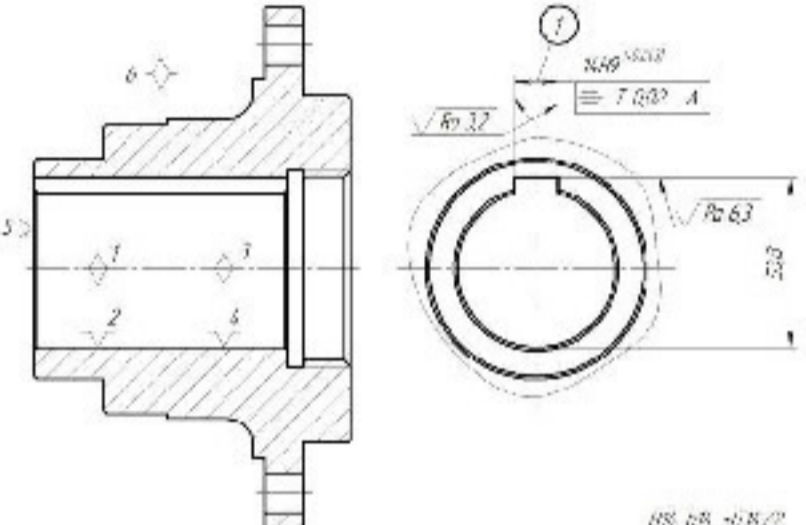
Продовження таблиці 2.11

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Тип обладнання
020	<p><i>Горизонтально-протягувальна</i></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Протягнути поз. 1. 3. Зняти заготовку.</p>		Горизонтально-протягувальний 7656
025	Термічна	HRC 30...35	
030	<p><i>Внутрішньошліфувальна</i></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Шліфувати поверхню 1 одноразово. 3. Зняти заготовку.</p>		Внутрішньошліфувальний 3М228А
035	<p><i>Торцевошліфувальна</i></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Шліфувати поверхню 1 2 одноразово. 3. Зняти деталі.</p>		Торцевошліфувальний 3Т161

Таблиця 2.12 – Маршрут механічної обробки (II варіант)

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Тип обладнання
005	<p><i>Токарно-револьверна з ЧПК</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3, торець 4 попередньо. 3. Точити поверхню 3 попередньо, торець 4 остаточно. 4. Точити поверхню 3 остаточно. 5. Розточити фаску 5, поверхню 6, торець 7 одноразово, поверхню 8 попередньо. 6. Розточити канавку 9 одноразово. 7. Розточити фаску 10 одноразово, поверхню 8 попередньо. 8. Розточити поверхню 8 остаточно. 9. Нарізати різь в отворі 6. 10. Центрувати 4 отв. 11. 11. Свердлити 4 отв. 11. 12. Зняти заготовку. 		Токарно-револьверний з ЧПК №14.207194/3
010	<p><i>Токарно-револьверна з ЧПК</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3 попередньо, торець 4, фаску 5, поверхню 6, торець 7, поверхню 8, торець 9, поверхню 10 одноразово. 3. Точити поверхню 3 попередньо. 4. Точити поверхню 3 остаточно. 5. Розточити фаску 11 одноразово. 6. Зняти заготовку. 		Токарно-револьверний з ЧПК №14.207194/30

Продовження таблиці 2.12

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Тип обладнання
015	Термічна	НРС 30...35	
020	<p>Точарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити поверхню 1 торця 2 однократно. 3. Розточити отвір 3 однократно. 4. Зняти деталь.</p>		Точарно-револьверна з ЧПК високої точності / БСНТ
025	<p>Горизонтально протягувальна</p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Протягнути пас 1. 3. Зняти заготовку.</p>		Горизонтально-протягувальна / Б216

2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат

Технологічна собівартість механічної обробки розраховується за формулою [7]:

$$C_o = \frac{C_{n-в} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot k_B} \text{ [грн.]}, \quad (2.19)$$

де $C_{n-в}$ – цехові приведені годинні витрати роботи верстата, грн./год.; $T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час обробки; k_B – коефіцієнт виконання норм, який звичайно приймається рівним 1,3.

Виконаємо нормування операцій для варіантів маршруту механічної обробки. Результати розрахунку основного часу приведено в таблицях 2.13-2.14.

Таблиця 2.13 – Основний час (I варіант ТП)

Операція, переходи	Основний час виконання переходу T_o , хв.
1	2
Операція 005	
2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3, торець 4 попередньо.	$T_o = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 110 \cdot (110-50) + 0,000075 \cdot 108 \cdot 1 + 0,000075 \cdot 110 \cdot 15 + 0,000045 \cdot 165 \cdot (165-110) = 0,297 + 0,008 + 0,124 + 0,408 = 0,84$
3. Точити поверхню 3 попередньо, торець 4 остаточно.	$T_o = 0,000175 \cdot D \cdot \ell + 0,00011 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000175 \cdot 110 \cdot 15 + 0,00011 \cdot 165 \cdot (165-110) = 0,27 + 0,998 = 1,27$
4. Точити поверхню 3 остаточно.	$T_o = 0,000052 \cdot D \cdot \ell = 0,000052 \cdot 110 \cdot 15 = 0,096$
5. Розточити фаску 5, поверхню 6, торець 7 одноразово, поверхню 8 попередньо.	$T_o = 0,000068 \cdot D \cdot \ell + 0,000068 \cdot D \cdot \ell + 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000068 \cdot D \cdot \ell = 0,000068 \cdot 114 \cdot 2 + 0,000068 \cdot 60 \cdot 20 + 0,000045 \cdot 60 \cdot (60-50) + 0,000068 \cdot 50 \cdot 80 = 0,016 + 0,082 + 0,027 + 0,272 = 0,397$
6. Розточити канавку 9 одноразово.	$T_o = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 62,5 \cdot (62,5-60) = 0,007$
7. Розточити фаску 10 одноразово, поверхню 8 попередньо.	$T_o = 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000175 \cdot D \cdot \ell = 0,000075 \cdot 52 \cdot 1 + 0,000175 \cdot 50 \cdot 80 = 0,004 + 0,7 = 0,704$
8. Розточити поверхню 8 остаточно.	$T_o = 0,00025 \cdot D \cdot \ell = 0,00025 \cdot 50 \cdot 80 = 1,0$
9. Нарізати різь в отворі 6.	$T_o = 1/t_p \cdot 0,00063 \cdot D \cdot \ell = 1/2 \cdot 0,00063 \cdot 62 \cdot 15 = 0,293$
	$\Sigma T_o = 4,596$ хв.
Операція 010	
2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3 попередньо, торець 4, фаску 5, поверхню 6, торець 7, поверхню 8, торець 9, поверхню 10 одноразово.	$T_o = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell = 0,000045 \cdot 70 \cdot (70-50) + 0,000075 \cdot 68 \cdot 1 + 0,000075 \cdot 70 \cdot 22 + 0,000045 \cdot 92 \cdot (92-70) + 0,000075 \cdot 90 \cdot 1 + 0,000075 \cdot 92 \cdot 20 + 0,000045 \cdot 95 \cdot (95-92) + 0,000075 \cdot 120 \cdot 4 + 0,000045 \cdot 165 \cdot (165-120) + 0,000075 \cdot 165 \cdot 12 = 0,063 + 0,0051 + 0,116 + 0,091 + 0,007 + 0,334 + 0,138 + 0,013 + 0,036 + 0,149 = 0,954$
3. Точити поверхню 3 попередньо.	$T_o = 0,000175 \cdot D \cdot \ell = 0,000175 \cdot 70 \cdot 22 = 0,27$
4. Точити поверхню 3 остаточно.	$T_o = 0,000052 \cdot D \cdot \ell = 0,000052 \cdot 70 \cdot 22 = 0,08$
5. Розточити фаску 11 одноразово.	$T_o = 0,000068 \cdot D \cdot \ell = 0,000068 \cdot 52 \cdot 1 = 0,004$
	$\Sigma T_o = 1,308$ хв.
Операція 015	
2. Центрувати 4 отв. 1.	$T_o = 4 \cdot 0,00056 \cdot D \cdot \ell = 4 \cdot 0,00056 \cdot 5 \cdot 6 = 0,067$
3. Свердли 4 отв. 1.	$T_o = 4 \cdot 0,00056 \cdot D \cdot \ell = 4 \cdot 0,00056 \cdot 12,5 \cdot 12 = 0,336$
	$\Sigma T_o = 0,403$ хв.
Операція 020	
2. Протягнути паз 1.	$T_o = 0,00029 \cdot \ell_{пр} = 0,00029 \cdot 80 = 0,023$
	$\Sigma T_o = 0,023$ хв.

Продовження таблиці 2.13

1	2
<u>Операція 030</u> 2. Шліфувати поверхню 1 одноразово.	$T_o = 0,00068 \cdot D \cdot \ell = 0,00068 \cdot 50 \cdot 80 = 2,72$
	$\Sigma T_o = 2,72 \text{ хв.}$
<u>Операція 035</u> 2. Шліфувати поверхні 1, 2 одноразово.	$T_o = 0,00023 \cdot D \cdot \ell + 1/N \cdot 0,0015 \cdot \ell =$ $= 0,00023 \cdot 110 \cdot 15 + 1/1 \cdot 0,0015 \cdot 27,5 = 0,38 + 0,04 = 0,42$
	$\Sigma T_o = 0,42 \text{ хв.}$

Таблиця 2.14 – Основний час (II варіант ТП)

Операція, переходи	Основний час виконання переходу T_o , хв.
1	2
<u>Операція 005</u> 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3, торець 4 попередньо.	$T_o = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000075 \cdot D \cdot \ell +$ $+ 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 110 \cdot (110-50) +$ $+ 0,000075 \cdot 108 \cdot 1 + 0,000075 \cdot 110 \cdot 15 +$ $+ 0,000045 \cdot 165 \cdot (165-110) =$ $= 0,297 + 0,008 + 0,124 + 0,408 = 0,84$
3. Точити поверхню 3 попередньо, торець 4 остаточно.	$T_o = 0,000175 \cdot D \cdot \ell + 0,00011 \cdot D \cdot (D-d) =$ $= 0,000175 \cdot 110 \cdot 15 + 0,00011 \cdot 165 \cdot (165-110) =$ $= 0,27 + 0,998 = 1,27$
4. Точити поверхню 3 остаточно.	$T_o = 0,000052 \cdot D \cdot \ell = 0,000052 \cdot 110 \cdot 15 = 0,096$
5. Розточити фаску 5, поверхню 6, торець 7 одноразово, поверхню 8 попередньо.	$T_o = 0,000068 \cdot D \cdot \ell + 0,000068 \cdot D \cdot \ell + 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) +$ $+ 0,000068 \cdot D \cdot \ell = 0,000068 \cdot 114 \cdot 2 + 0,000068 \cdot 60 \cdot 20 +$ $+ 0,000045 \cdot 60 \cdot (60-50) + 0,000068 \cdot 50 \cdot 80 =$ $= 0,016 + 0,082 + 0,027 + 0,272 = 0,397$
6. Розточити канавку 9 одноразово.	$T_o = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) = 0,000045 \cdot 62,5 \cdot (62,5-60) = 0,007$
7. Розточити фаску 10 одноразово, поверхню 8 попередньо.	$T_o = 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000175 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000075 \cdot 52 \cdot 1 + 0,000175 \cdot 50 \cdot 80 = 0,004 + 0,7 = 0,704$
8. Розточити поверхню 8 остаточно.	$T_o = 0,00025 \cdot D \cdot \ell = 0,00025 \cdot 50 \cdot 80 = 1,0$
9. Нарізати різь в отворі 6.	$T_o = 1/t_p \cdot 0,00063 \cdot D \cdot \ell = 1/2 \cdot 0,00063 \cdot 62 \cdot 15 = 0,293$
10. Центрувати 4 отв. 11.	$T_o = 4 \cdot 0,00056 \cdot D \cdot \ell = 4 \cdot 0,00056 \cdot 5 \cdot 6 = 0,067$
11. Свердли 4 отв. 11.	$T_o = 4 \cdot 0,00056 \cdot D \cdot \ell = 4 \cdot 0,00056 \cdot 12,5 \cdot 12 = 0,336$
	$\Sigma T_o = 5,292 \text{ хв.}$
<u>Операція 010</u> 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3 попередньо, торець 4, фаску 5, поверхню 6, торець 7, поверхню 8, торець 9, поверхню 10 одноразово.	$T_o = 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000075 \cdot D \cdot \ell +$ $+ 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell + 0,000075 \cdot D \cdot \ell +$ $+ 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell +$ $+ 0,000045 \cdot D \cdot (D-d) + 0,000075 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000045 \cdot 70 \cdot (70-50) + 0,000075 \cdot 68 \cdot 1 + 0,000075 \cdot 70 \cdot 22 +$ $+ 0,000045 \cdot 92 \cdot (92-70) + 0,000075 \cdot 90 \cdot 1 + 0,000075 \cdot 92 \cdot 20 +$ $+ 0,000045 \cdot 95 \cdot (95-92) + 0,000075 \cdot 120 \cdot 4 +$ $+ 0,000045 \cdot 165 \cdot (165-120) + 0,000075 \cdot 165 \cdot 12 =$ $= 0,063 + 0,0051 + 0,116 + 0,091 + 0,007 + 0,334 + 0,138 +$ $+ 0,013 + 0,036 + 0,149 = 0,954$

Продовження таблиці 2.14

1	2
3. Точити поверхню 3 попередньо.	$T_o = 0,000175 \cdot D \cdot \ell = 0,000175 \cdot 70 \cdot 22 = 0,27$
4. Точити поверхню 3 остаточно.	$T_o = 0,000052 \cdot D \cdot \ell = 0,000052 \cdot 70 \cdot 22 = 0,08$
5. Розточити фаску 11 одноразово.	$T_o = 0,000068 \cdot D \cdot \ell = 0,000068 \cdot 52 \cdot 1 = 0,004$
	$\Sigma T_o = 1,308$ хв.
Операція 020	
2. Точити поверхню 1, торець 2 одноразово.	$T_o = 0,00028 \cdot D \cdot \ell = 0,00028 \cdot 110 \cdot 15 = 0,462$
3. Розточити отвір 3 одноразово.	$T_o = 0,00025 \cdot D \cdot \ell = 0,00025 \cdot 50 \cdot 80 = 1,0$
	$\Sigma T_o = 1,462$ хв.
Операція 025	
2. Протягнути паз 1.	$T_o = 0,00029 \cdot \ell_{пр} = 0,00029 \cdot 80 = 0,023$
	$\Sigma T_o = 0,023$ хв.

Результати визначення штучно-калькуляційного часу для двох варіантів ТП приведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Визначення штучно-калькуляційного часу

Операції, переходи	T_o , хв.	φ_k	$T_{шт-к}$, хв.
1	2	3	4
I варіант ТП			
005 Токарно-револьверна з ЧПК	4,596	1,3	5,97
010 Токарно-револьверна з ЧПК	1,308	1,3	1,7
015 Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,403	1,35	0,544
020 Горизонтально-протягувальна	0,023	1,4	0,032
025 Термічна	-	-	-
030 Внутрішньошліфувальна	2,72	1,55	4,22
035 Торцекруглошліфувальна	0,42	1,52	0,64
II варіант ТП			
005 Токарно-револьверна з ЧПК	5,292	1,3	6,88
010 Токарно-револьверна з ЧПК	1,308	1,3	1,7
015 Термічна	-	-	-
020 Токарно-револьверна з ЧПК	1,462	1,3	1,9
025 Горизонтально-протягувальна	0,023	1,4	0,032

Результати розрахунку технологічної собівартості операцій заносимо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Технологічна собівартість операцій

Тип верстату	$T_{\text{оп-к}}$, хв.	$C_{\text{н-с}}$, грн./хв.	C_o , грн.
I варіант ТП			
1П420ПФ30	5,97	42,5	3,25
1П420ПФ30	1,7	42,5	0,93
2Р135Ф2	0,544	36,5	0,255
7Б56	0,032	34,2	0,014
3К228А	4,22	35,7	1,93
3Т161	0,64	51,3	0,42
Всього			6,8
II варіант ТП			
1П420ПФ40	6,88	48,1	4,24
1П420ПФ30	1,7	42,5	0,93
160НТ	1,9	47,5	1,16
7Б56	0,032	34,2	0,014
Всього			6,29

Встановлено, що II варіант маршруту механічної обробки деталі за мінімумом приведених витрат кращий, ніж I. Тоді річний ефект від механічної обробки деталі за II варіантом маршруту порівняно з I:

$$E = (C_{o1} - C_{o2}) \cdot N_p \text{ [грн.],} \quad (2.20)$$

$$E = (6,8 - 6,29) \cdot 5000 = 2550 \text{ (грн.)}$$

Висновок. Собівартість операцій механічної обробки нижча по варіанту II ніж по варіанту I. Тобто доцільно використовувати II із запропонованих варіантів маршруту механічної обробки.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу [1, 7]

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Розміри заготовки послідовно змінюються в процесі обробки на шляху перетворення в деталь. При цьому отримуємо технологічні розміри B_1, B_2 . Розмір, який буде отриманий в хді виконання операції буде замикаючою ланкою

ромірного ланцюга. Частіше всього замикаючою ланкою виступають конструкторські розміри $K_1, K_2 \dots$, або припуски $Z_1, Z_2 \dots$

Технологічні розміри $B_1, B_2 \dots$ пропоставляються на розмірній схемі від вибраних баз в сторону механічної обробки. Вибір баз значною мірою впливає на розташування технологічних розмірів.

Розташування технологічних розмірів призначено таким чином, щоб забезпечувалася відсутність похибки базування за рахунок використання принципу суміщення баз.

2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски технологічних розмірів попередньо призначаємо, виходячи з точності механічної обробки.

Значення допусків технологічних розмірів зводимо в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Допуски розмірів вихідної заготовки і технологічних розмірів

Вихідна заготовка			
Розмір	Спосіб виготовлення	Клас розмірної точності	Допуск, мм
Z_1	Лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші	11т	3,6
Z_2			2,2
Z_3			2,2
Z_4			2,4
Механічна обробка			
Технологічний розмір	Спосіб обробки	Квалітет точності	Допуск, мм
B_1	Точіння одноразове	14	0,62
B_2	Точіння попереднє	14	0,52
B_3	Точіння попереднє	14	0,43
B_4	Точіння остаточне	14	0,43
B_5	Точіння одноразове	14	0,87
B_6	Точіння одноразове	14	0,74
B_7	Точіння одноразове	14	0,62
B_8	Точіння одноразове	14	0,43
B_9	Точіння одноразове	14	0,43

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу показана на рисунку 2.8.

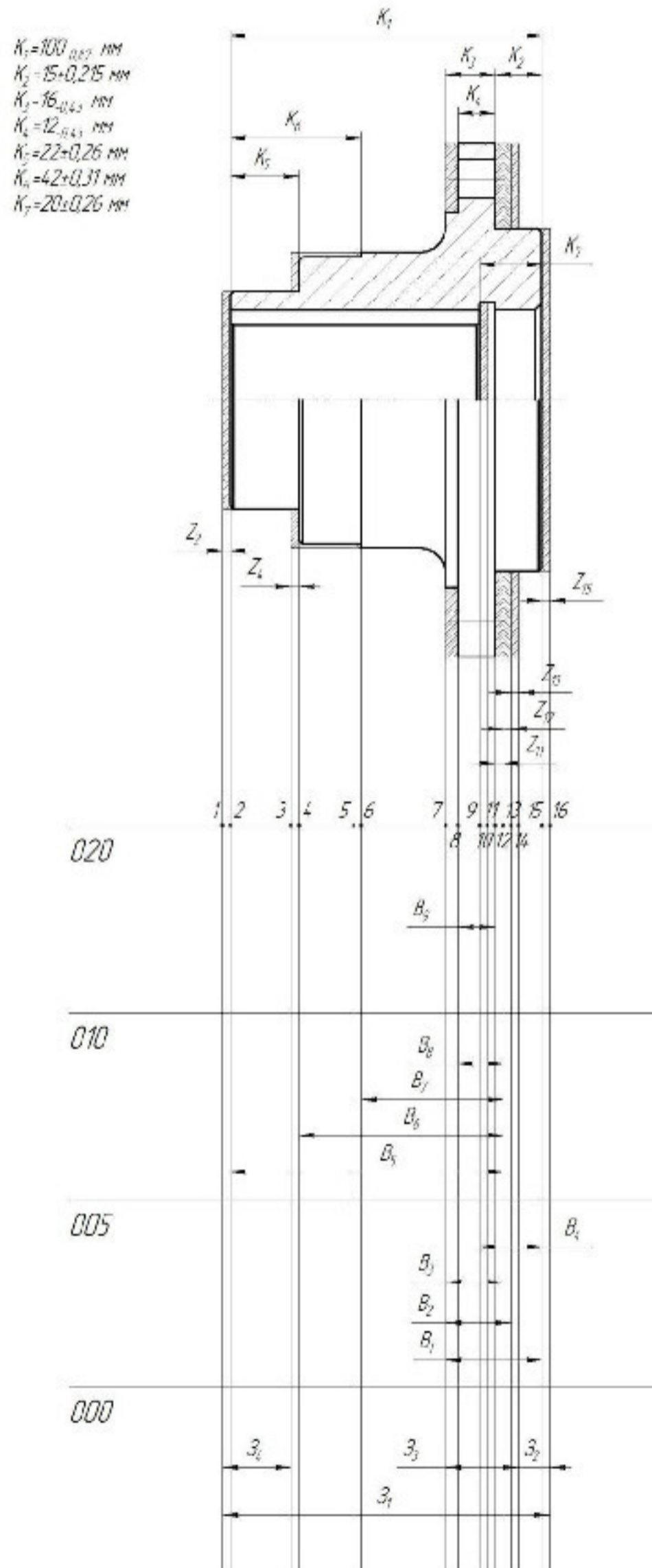


Рисунок 2.8 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

Граф-дерево, складений із технологічних розмірів K_1, K_2, \dots і припусків Z_1, Z_2, \dots називається вихідним графом.

Граф-дерево складений із розмірів B_1, B_2, \dots і припусків Z_1, Z_2, \dots називається похідним.

Суміщений граф являє собою графічне зображення ТП.

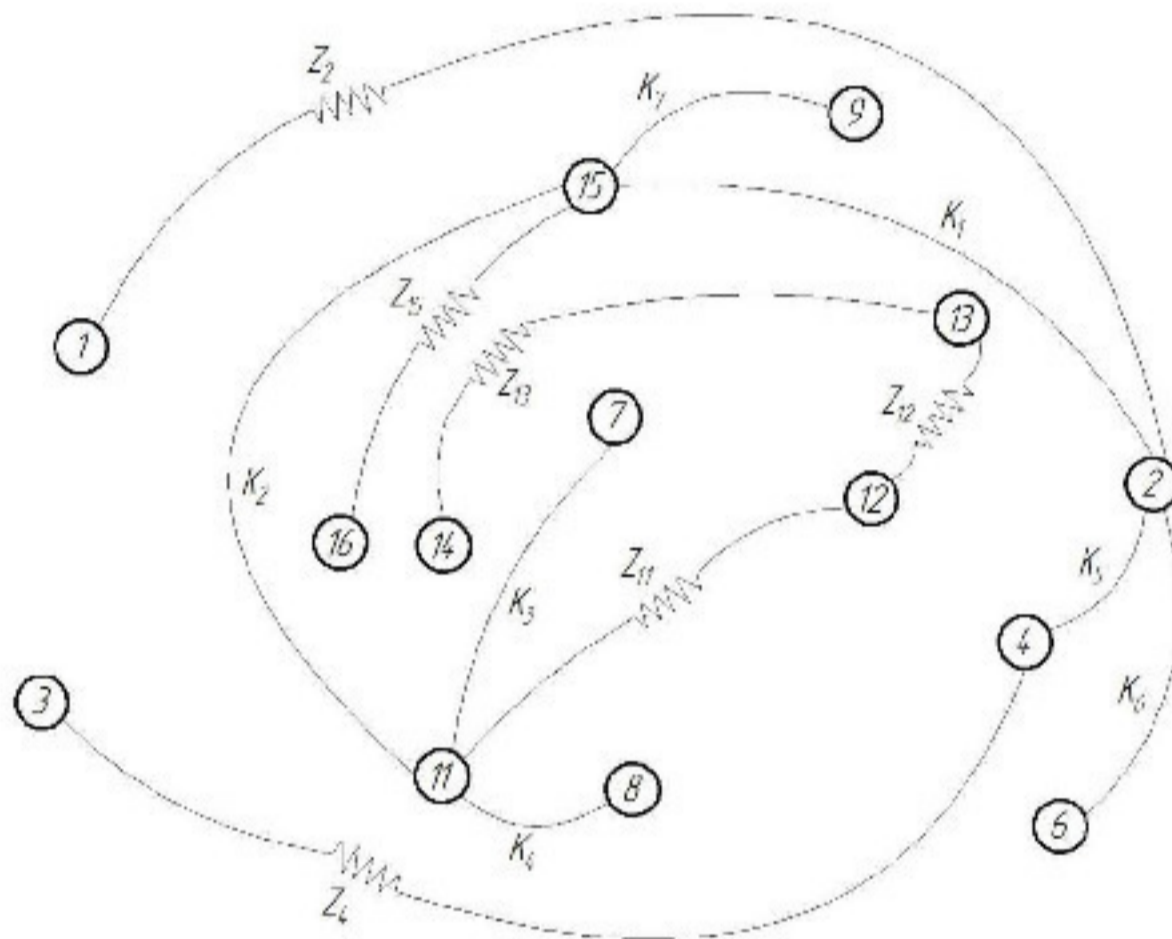


Рисунок 2.9 – Вихідний граф-дерево

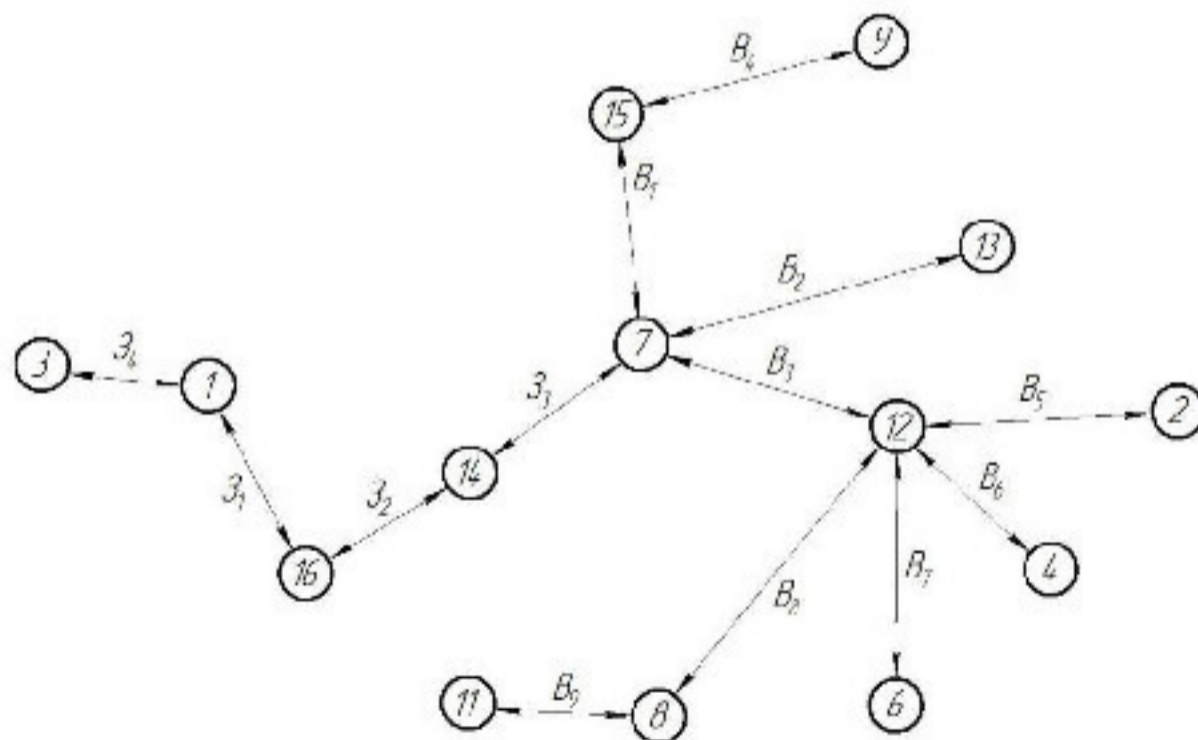


Рисунок 2.10 – Похідний граф-дерево

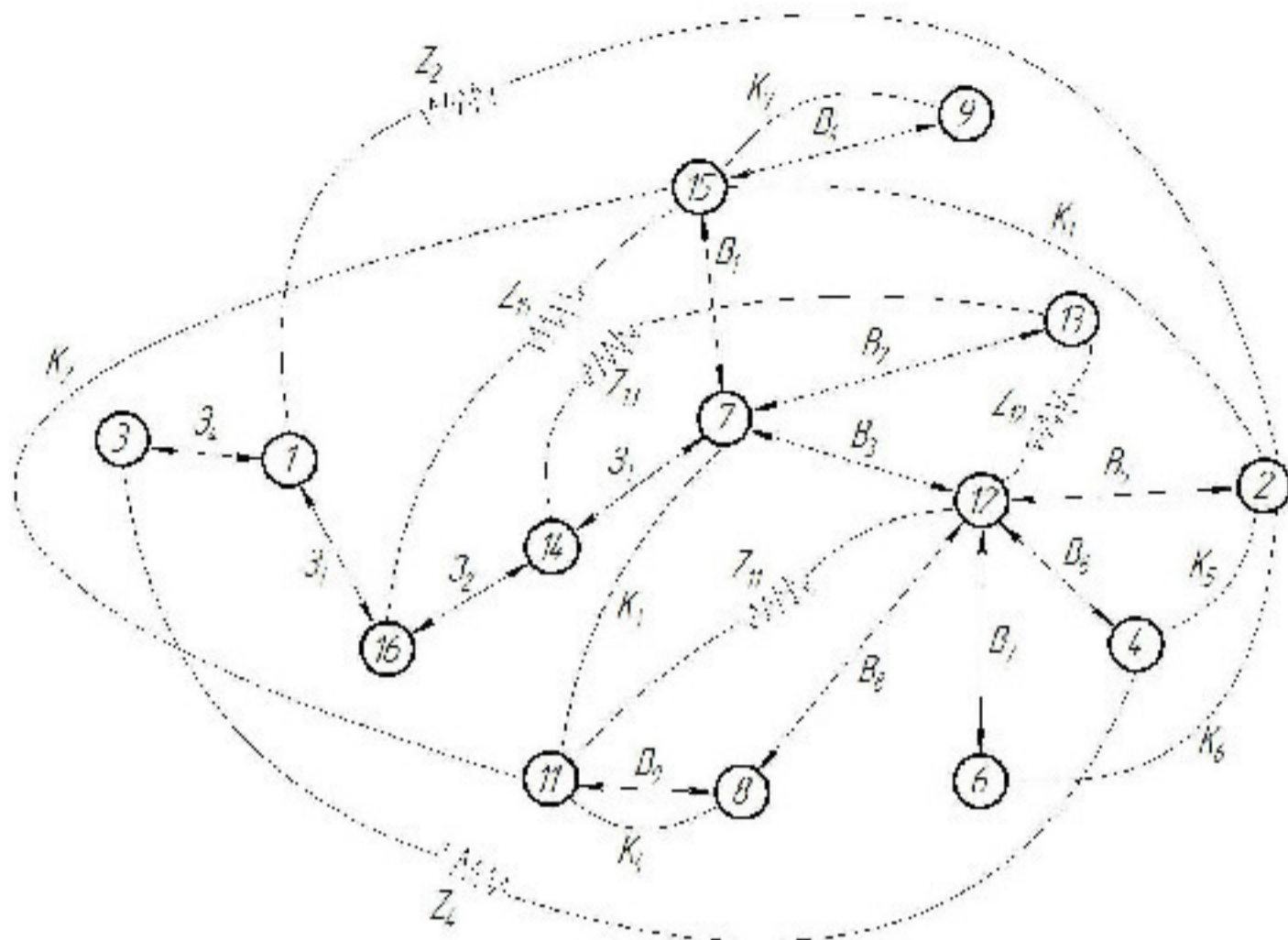


Рисунок 2.11 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Проміжні припуски можна визначати аналітичним або нормативним способами згідно таблиць [8-10].

Дані табличних припусків зводимо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Проміжні мінімальні припуски на обробку плоских поверхонь

Позначення припуску	Спосіб обробки, під час використання якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
Z_{2min}	Точіння одноразове	1,5
Z_{4min}	Точіння одноразове	2,0
Z_{11min}	Точіння остаточне	0,4
Z_{12min}	Точіння попереднє	0,9
Z_{13min}	Точіння попереднє	2,5
Z_{15min}	Точіння одноразове	2,0

2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Використовуючи граф-дерева записано розрахункові рівняння, що для всіх розмірів занесені до таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Ланка, що визначається
1	2	3	4
1	$-K_7 + B_4 = 0$	$K_7 = B_4$	B_4
2	$-K_4 + B_9 = 0$	$K_4 = B_9$	B_9
3	$-Z_{11} - B_9 + B_8 = 0$	$Z_{11} = B_8 - B_9$	B_8
4	$-K_3 + B_3 - B_8 + B_9 = 0$	$K_3 = B_3 - B_8 + B_9$	B_3
5	$-Z_{12} - B_3 + B_2 = 0$	$Z_{12} = B_2 - B_3$	B_2
6	$-K_2 - B_9 + B_8 - B_3 + B_1 = 0$	$K_2 = B_1 - B_9 + B_8 - B_3$	B_1
7	$-K_1 + B_5 - B_3 + B_1 = 0$	$K_1 = B_5 - B_3 + B_1$	B_5
8	$-K_5 + B_5 - B_6 = 0$	$K_5 = B_5 - B_6$	B_6
9	$-K_6 + B_5 - B_7 = 0$	$K_6 = B_5 - B_7$	B_7
10	$-Z_{13} - B_2 + Z_3 = 0$	$Z_{13} = Z_3 - B_2$	Z_3
11	$-Z_{15} - B_1 + Z_3 + Z_2 = 0$	$Z_{15} = Z_3 + Z_2 - B_1$	Z_2
12	$-Z_2 + Z_1 - Z_2 - Z_3 + B_3 - B_5 = 0$	$Z_2 = Z_1 - Z_2 - Z_3 + B_3 - B_5$	Z_1
13	$-Z_4 - Z_4 + Z_1 - Z_2 - Z_3 + B_3 - B_6 = 0$	$Z_4 = Z_1 - Z_4 - Z_2 - Z_3 + B_3 - B_6$	Z_4

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Відповідно до наведених вище рівнянь знаходимо значення технологічних розмірів.

$$1. K_7 = B_4;$$

$$B_4 = K_7 = 20 \pm 0,26 \text{ мм.}$$

$$2. K_4 = B_9;$$

$$B_9 = K_4 = 12_{-0,43} \text{ мм.}$$

$$3. Z_{11\min} = B_{8\min} - B_{9\max};$$

$$B_{8\min} = Z_{11\min} + B_{9\max} = 0,4 + 12 = 12,4 \text{ (мм);}$$

$$B_{8\max} = B_{8\min} + T(B_8) = 12,4 + 0,43 = 12,83 \text{ (мм);}$$

$$Z_{11\max} = B_{8\max} - B_{9\min} = 12,83 - 11,57 = 1,26 \text{ (мм).}$$

$$4. K_{3\min} = B_{3\min} - B_{8\max} + B_{9\min};$$

$$B_{3\min} = K_{3\min} + B_{8\max} - B_{9\min} = 15,57 - 12,83 - 11,57 = 16,83 \text{ (MM)};$$

$$B_{3\max} = B_{3\min} + T(B_3) = 16,83 + 0,43 = 17,26 \text{ (MM)}.$$

$$5. Z_{12\min} = B_{2\min} - B_{3\max};$$

$$B_{2\min} = Z_{12\min} + B_{3\max} = 0,9 + 17,26 = 18,16 \text{ (MM)};$$

$$B_{2\max} = B_{2\min} + T(B_2) = 18,16 + 0,52 = 18,68 \text{ (MM)};$$

$$Z_{12\max} = B_{2\max} - B_{3\min} = 18,68 - 16,83 = 1,85 \text{ (MM)}.$$

$$6. K_{2\min} = B_{1\min} - B_{9\max} + B_{8\min} - B_{3\max};$$

$$B_{1\min} = K_{2\min} + B_{9\max} - B_{8\min} + B_{3\max} = 14,785 + 12,0 - 12,4 + 17,26 = 31,645 \text{ (MM)};$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + T(B_1) = 31,645 + 0,62 = 32,265 \text{ (MM)}.$$

$$7. K_{1\min} = B_{5\min} - B_{3\max} + B_{1\min};$$

$$B_{5\min} = K_{1\min} + B_{3\max} - B_{1\min} = 99,13 + 17,26 - 31,645 = 84,745 \text{ (MM)};$$

$$B_{5\max} = B_{5\min} + T(B_5) = 84,745 + 0,87 = 85,615 \text{ (MM)}.$$

$$8. K_{5\min} = B_{5\min} - B_{6\max};$$

$$B_{6\max} = B_{5\min} - K_{5\min} = 84,745 - 21,74 = 63,005 \text{ (MM)};$$

$$B_{6\min} = B_{6\max} - T(B_6) = 63,005 - 0,74 = 62,265 \text{ (MM)}.$$

$$9. K_{6\min} = B_{5\min} - B_{7\max};$$

$$B_{7\max} = B_{5\min} - K_{6\min} = 84,745 - 41,69 = 43,055 \text{ (MM)};$$

$$B_{7\min} = B_{7\max} - T(B_7) = 43,055 - 0,62 = 42,435 \text{ (MM)}.$$

$$10. Z_{13\min} = 3_{3\min} - B_{2\max};$$

$$3_{3\min} = Z_{13\min} + B_{2\max} = 2,5 + 18,68 = 21,18 \text{ (MM)};$$

$$3_{3\max} = 3_{3\min} + T(3_3) = 21,18 + 2,2 = 23,38 \text{ (MM)};$$

$$Z_{13\max} = 3_{3\max} - B_{2\min} = 23,38 - 18,16 = 5,22 \text{ (MM)}.$$

$$11. Z_{15\min} = 3_{3\min} + 3_{2\min} - B_{1\max};$$

$$3_{2\min} = Z_{15\min} - 3_{3\min} + B_{1\max} = 2,0 - 21,18 + 32,265 = 13,085 \text{ (MM)};$$

$$3_{2\max} = 3_{2\min} + T(3_2) = 13,085 + 2,2 = 15,285 \text{ (MM)};$$

$$Z_{15\max} = 3_{3\max} + 3_{2\max} - B_{1\min} = 23,38 + 15,285 - 31,645 = 7,02 \text{ (MM)}.$$

$$12. Z_{2\min} = 3_{1\min} - 3_{2\max} - 3_{3\max} + B_{3\min} - B_{5\max};$$

$$3_{1\min} = Z_{2\min} + 3_{2\max} + 3_{3\max} - B_{3\min} + B_{5\max} = 1,5 + 15,285 + 23,38 - 16,83 + 85,615 = 108,95 \text{ (MM)};$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + T(Z_1) = 108,95 + 3,6 = 112,55 \text{ (мм)};$$

$$Z_{2\max} = Z_{1\max} - Z_{2\min} - Z_{3\min} + B_{3\max} - B_{5\min} = 112,55 - 13,085 - 21,18 + 17,26 - 84,745 = 10,8 \text{ (мм)}.$$

$$13. Z_{4\min} = Z_{1\min} - Z_{4\max} - Z_{2\max} - Z_{3\max} + B_{3\min} - B_{5\max};$$

$$Z_{4\max} = -Z_{4\min} + Z_{1\min} - Z_{2\max} - Z_{3\max} + B_{3\min} - B_{6\max};$$

$$Z_{4\max} = 108,95 - 2,0 - 15,285 - 23,38 + 16,83 - 63,005 = 22,11 \text{ (мм)};$$

$$Z_{4\min} = Z_{4\max} - T(Z_4) = 22,11 - 2,4 = 19,71 \text{ (мм)};$$

$$Z_{4\max} = Z_{1\max} - Z_{4\min} - Z_{2\min} - Z_{3\min} + B_{3\max} - B_{6\min};$$

$$Z_{4\max} = 112,55 - 19,71 - 13,085 - 21,18 + 17,26 - 62,265 = 12,805 \text{ (мм)}.$$

Дані розрахунків зводимо в таблиці 2.20-2.21.

Таблиця 2.20 – Значення технологічних розмірів, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру	Значення на кресленні
	min	max				
B ₁	31,645	32,265	0,62	32,262	32,262 _{-0,62}	
B ₂	18,16	18,68	0,52	18,68	18,68 _{-0,52}	
B ₃	16,83	17,26	0,43	17,26	17,26 _{-0,43}	
B ₄	19,74	20,26	0,43	20	20±0,215	
B ₅	84,745	85,615	0,87	85,615	85,615 _{-0,87}	
B ₆	62,265	63,005	0,74	63,005	63,005 _{-0,74}	
B ₇	42,435	43,055	0,62	43,055	43,055 _{-0,62}	
B ₈	12,4	12,83	0,43	12,83	12,83 _{-0,43}	
B ₉	11,57	12,0	0,43	12	12 _{-0,43}	
Z ₁	108,95	112,55	3,6	112,55	-	112,55 _{-3,6}
Z ₂	13,085	15,285	2,2	14,185	-	14,185±1,1
Z ₃	21,18	23,38	2,2	23,38	-	23,38 _{-2,2}
Z ₄	19,71	22,11	2,4	20,911	-	20,911±1,2

Таблиця 2.21 – Максимальні припуски, мм

Припуски		Z ₂	Z ₄	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₅
Граничні значення	Z _{min}	1,5	2,0	0,4	0,9	2,5	2,0
	Z _{max}	10,8	12,805	1,26	1,85	5,22	7,02

Висновки. Таким чином, в результаті виконання розмірного аналізу технологічного процесу механічної обробки деталі визначені технологічні

розміри $B_1 \dots B_9$, розміри вихідної заготовки $Z_1 \dots Z_4$. Це дозволяє забезпечити знаходження дійсних значень всіх конструкторських розмірів $K_1 \dots K_7$ в межах полів допусків.

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$

Мінімальний проміжний припуск на механічну обробку циліндричних поверхонь із застосуванням розрахунково-аналітичного методу визначається за формулою [3, 7]

$$2Z_{1\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \text{ [мкм]}, \quad (2.21)$$

де i – порядковий виконуваного технологічного переходу; R_z , T , ρ – відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та просторові відхилення оброблюваної поверхні (відносно технологічних баз), які утворились на технологічному переході, що передує виконуваному; ε – похибка встановлення заготовки у верстатний пристрій, яка виникає на виконуваному технологічному переході.

Визначення R_z і T проводимо відповідно до рекомендацій [3, 7]:

- заготовка (випуск) $R_z = 400$ мкм, $T = 400$ мкм;
- точіння попереднє $R_z = 100$ мкм, $T = 100$ мкм;
- точіння попереднє $R_z = 50$ мкм, $T = 50$ мкм;
- точіння попереднє $R_z = 30$ мкм, $T = 30$ мкм;
- точіння остаточне $R_z = 3$ мкм, $T = 0$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{мол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.22)$$

де $\rho_{жол}$ – відхилення поверхні вихідної заготовки від правильної геометричної форми (циліндричності), спричинені жолобленням;

$\rho_{зм} = \delta = \pm 0,3$ мм – зміщення осі отвору поверхні вихідної заготовки відносно технологічних баз, зміщення можна приймати рівним допуску на товщину стінки виливка.

$$\rho_{жол} = \Delta_K \cdot D [\text{мкм}], \quad (2.23)$$

де $\Delta_K = 0,75$ мкм – питома жолоблення виливка;

$D = 110$ мм – діаметральна поверхня по якій відбувається затискання деталі;

$$\rho_{жол} = 0,00075 \cdot 110 = 0,0825 \text{ (мм)} = 82,5 \text{ (мкм)}.$$

Тоді

$$\rho_{заг} = \sqrt{82,5^2 + 600^2} = 606 \text{ (мкм)}.$$

Залишкове значення просторового відхилення після переходів механічної обробки складе [7]:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_{заг} = 0,06 \cdot 606 = 36 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_2 = 0,05 \cdot \rho_1 = 0,05 \cdot 36 = 2 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_3 = 0,02 \cdot \rho_2 = 0,02 \cdot 2 = 0,04 \text{ (мкм)}; \text{ приймаємо } \rho_3 = 0.$$

Похибка встановлення при попередньому точінні може бути визначена:

$$\varepsilon_6 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} [\text{мкм}], \quad (2.24)$$

де $\varepsilon_6 = 0$ – похибка базування (обробка в трикулачковому самоцентрувальному патроні);

$\varepsilon_3 = 100$ мкм – похибка закріплення і похибка пристрою [3];

$$\varepsilon_{e1} = \sqrt{0^2 + 130^2} = 130 \text{ (мкм)};$$

$$\varepsilon_{e2} = 0,05 \cdot \varepsilon_{e1} = 0,05 \cdot 130 = 6,5 \approx 7 \text{ (мкм)};$$

$$\varepsilon_{e3} = 0,05 \cdot \varepsilon_{e2} = 0,05 \cdot 6,5 = 0,33 \approx 1 \text{ (мкм)};$$

$$\varepsilon_{e4} = \sqrt{0^2 + 90^2} = 90 \text{ (мкм)}.$$

На основі отриманих даних проводимо розрахунок мінімальних значень проміжних припусків:

$$2Z_{\min 1} = 2(400 + 400 + \sqrt{606^2 + 130^2}) = 2840 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 2} = 2(100 + 100 + \sqrt{36^2 + 7^2}) = 473 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 3} = 2(50 + 50 + \sqrt{2^2 + 1^2}) = 206 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 4} = 2(30 + 30 + \sqrt{0^2 + 90^2}) = 300 \text{ (мкм)}.$$

Розрахункові розміри. При остаточному точінні отримується розмір вказаний на кресленні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$. Тоді $d_{p3} = 110,079$ мм.

Наступні розрахункові розміри отримуємо шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу:

$$d_{p3} = 110,079 + 0,3 = 110,379 \text{ (мм)};$$

$$d_{p2} = 110,379 + 0,206 = 110,585 \text{ (мм)};$$

$$d_{p1} = 110,585 + 0,473 = 111,058 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{раз}} = 111,058 + 2,84 = 113,898 \text{ (мм)}.$$

Допуски технологічних переходів прийнято у відповідності до квалітету того чи іншого виду обробки:

- для заготовки $T_{\text{заг}} = 4000$ мкм;

- для першого переходу $T_1 = 540$ мкм (13 квалітет);
- для другого переходу $T_2 = 140$ мкм (10 квалітет);
- для третього переходу $T_3 = 54$ мкм (8 квалітет);
- для четвертого переходу $T_4 = 35$ мкм (7 квалітет).

Найменші граничні розміри для кожного технологічного переходу визначаємо округлюючи розрахункові розміри до того ж знаку десяткового дробу, з яким дано допускна розмір для кожного переходу.

Найбільші граничні розміри розраховуємо додаванням допуску до найменшого граничного розміру:

$$d_{\max 1} = 110,079 + 0,035 = 110,114 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 2} = 110,379 + 0,054 = 110,433 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 3} = 110,585 + 0,14 = 110,725 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 4} = 111,058 + 0,54 = 111,598 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max \text{ заг}} = 113,898 + 4,0 = 117,898 \text{ (мм)}.$$

Максимальні граничні значення припусків Z_{\max}^{zp} дорівнюють різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а мінімальні значення Z_{\min}^{zp} – відповідно різниці найменших граничних розмірів.

Отже, мінімальні граничні значення припусків Z_{\min}^{zp} :

$$Z_{\max 4}^{zp} = 110,379 - 110,079 = 0,3 \text{ (мм)} = 300 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\max 3}^{zp} = 110,585 - 110,379 = 0,206 \text{ (мм)} = 206 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\max 2}^{zp} = 111,058 - 110,585 = 0,473 \text{ (мм)} = 473 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\max 1}^{zp} = 113,898 - 111,058 = 2,84 \text{ (мм)} = 2840 \text{ (мкм)}.$$

Максимальні граничні значення припусків Z_{\max}^{zp} :

$$Z_{\min 4}^{zp} = 110,433 - 110,114 = 0,319 \text{ (мм)} = 319 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\min 3}^{zp} = 110,725 - 110,433 = 0,292 \text{ (мм)} = 292 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\min 2}^{zp} = 111,598 - 110,725 = 0,873 \text{ (мм)} = 873 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\min 1}^{zp} = 117,898 - 111,598 = 6,3 \text{ (мм)} = 6300 \text{ (мкм)}.$$

Загальні припуски $Z_{\min 0}^{zp}$ і $Z_{\max 0}^{zp}$ визначаємо сумуючи проміжні припуски:

$$Z_{\min 0}^{zp} = 3819 \text{ мкм}; \quad Z_{\max 0}^{zp} = 7784 \text{ мкм}.$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 – Розрахунок припусків і технологічних розмірів на механічну обробку поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ мм

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$	Елементи припуски, мкм				Розрахункові розміри, мм		Допуск δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мкм	
	R_z	T	ρ	ϵ_i	$2Z_{\min}$	d_{\max}		d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	400	400	606	-	-	113,898	4000	113,898	117,898	-	-
Точіння попереднє	100	100	36	130	2,84	111,058	540	111,058	111,598	2840	6300
Точіння попереднє	50	50	2	7	0,473	110,585	140	110,585	110,725	473	873
Точіння попереднє	30	30	0	1	0,206	110,379	54	110,379	110,433	206	292
Точіння остаточне	3	0	0	90	0,3	110,079	35	110,079	110,114	300	319
Всього										3819	7784

Проводимо перевірку правильності виконаних розрахунків:

$$Z_{\max 1}^{zp} - Z_{\min 1}^{zp} = 6300 - 2840 = 3460 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_{заг} - \delta_1 = 4000 - 540 = 3460 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\max 2}^{zp} - Z_{\min 2}^{zp} = 873 - 473 = 400 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 540 - 140 = 400 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\max 3}^{zp} - Z_{\min 3}^{zp} = 292 - 206 = 86 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 140 - 54 = 86 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\max 4}^{zp} - Z_{\min 4}^{zp} = 319 - 300 = 19 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 54 - 35 = 19 \text{ (мкм)}.$$

Отже, розрахунок припусків виконано вірно.

2.9.2 Визначення за нормативами проміжних мінімальних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку решти циліндричних поверхонь

Нормативний вибір припусків та між операційних розмірів на інші поверхні показано в таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Нормативний вибір припусків та міжопераційних розмірів на інші діаметральні поверхні

Технологічні переходи	Вибраний мінімальний припуск $2Z_{\min}$, мм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
				5	6	7	8
$\phi 165_{-1,0}$							
Заготовка	-	165,3	4400	165,3	169,7	-	-
Точіння одноразове	1,3	164	1000	164	165	1,3	4,7
$\phi 50H7^{(+0,025)}$							
Заготовка	-	47,525	3200	44,325	47,525	-	-
Розточування попереднє	1,5	48,725	620	48,105	48,725	1,5	3,78
Розточування попереднє	1,0	49,725	160	49,565	49,725	1,0	1,46
Розточування попереднє	0,2	49,925	39	49,886	49,925	0,2	0,32
Розточування остаточне	0,1	50,025	25	50	50,025	0,1	0,114
$\phi 70_{-0,12}$							
Заготовка	-	71,63	3600	71,63	75,23	-	-
Точіння попереднє	1,1	70,53	740	70,53	71,27	1,1	3,96
Точіння попереднє	0,45	70,08	190	70,08	70,27	0,45	1,0
Точіння остаточне	0,2	69,88	120	69,88	70	0,2	0,27

Інші поверхні визначені по 14 квалітету, шорсткість поверхні Ra 6,3 і обробляються за 1 перехід.

2.10 Призначення режимів різання на обробку [9-13]

Приведемо приклад аналітичного розрахунку режимів різання для точіння попереднього поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ (операція 005, перехід 2).

Для операції попереднього точіння поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{(+0,079)}$ вибираємо марку сплаву для ріжучої частини різця Т15К6. Різець прохідний: $\alpha=12^\circ$; $r=2,4$; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=45^\circ$; $\lambda=0$; $Ra=6,3$ (мкм.).

При чорновому точінні $t = 2,3$ мм; $T = 60$ хв.

Згідно [10] вибираємо подачу $S = 0,7-1,2$ мм/об. Приймаємо $S = 0,8$ мм/об.

Знаходимо швидкість різання за формулою [10]:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \text{ [м/хв.],} \quad (2.25)$$

де $C_v=340$; $x=0,15$; $y=0,45$; $m=0,20$ за [10].

Поправковий коефіцієнт K_v складається з:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{nv} \cdot K_{IB} \cdot K_\varphi \cdot K_{\varphi 1}, \quad (2.26)$$

де K_{MV} – коефіцієнт, враховуючий якість обробки матеріалів

$$K_{MV} = K_c \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{nv}, \quad (2.27)$$

де $K_c=1$ – коефіцієнт, що характеризує групу сталі, $n_v=1$, $\sigma_b=500-610$ МПа [10].

$$K_{MV} = 1 \left(\frac{750}{550} \right)^1 = 1,36,$$

$K_{nv}=1$ – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні.

$K_{IB}=1$ – коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструменту.

$K_\phi=1$, $K_{\phi 1}=0,87$ – коефіцієнти, що враховують кути в плані.

$$K_v = 1,36 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 1,18.$$

Отже,

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 2,3^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 1,18 = 173 \text{ (м/хв.)}$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв.]} \quad (2.28)$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 173}{3,14 \cdot 111,3} = 495 \text{ (об/хв.)}$$

Приймаємо $n = 500$ об/хв.

Розраховуємо дійсну швидкість різання за формулою:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ [м/хв.]}, \quad (2.29)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 111,3 \cdot 500}{1000} = 174,74 \text{ (м/хв.)}$$

Сила різання

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \text{ [Н]}, \quad (2.30)$$

де $C_p=300$, $x=1$, $y=0,75$, $n=-0,15$ згідно [10].

$K_p=K_{MP} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\tau p}=0,51 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1=0,51$ – поправковий коефіцієнт [10].

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{550}{750} \right)^{2,14} = 0,51;$$

Отже,

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,3^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 174,74^{-0,15} \cdot 0,51 = 303,5 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \text{ [кВт]}, \quad (2.31)$$

$$N_{\max} = \frac{303,5 \cdot 174,74}{1020 \cdot 60} = 0,87 \text{ (кВт)}.$$

Висновок. Потужність різання складає $N_{\max} = 0,87$ кВт, а потужність попередньо вибраного верстата 1П420ПФ40 – $N = 22$ кВт. Оскільки потужність різання менша, ніж вибраного попередньо верстата $N_{\max} = 0,87$ кВт < $N = 22$ кВт, то верстат може бути використаний для обробки.

Приведемо приклад аналітичного розрахунку режимів різання для свердління отвору $\varnothing 12,5$ (операція 005, перехід 11).

Аналітичний розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 12,5$ розпочинається із визначення глибини різання, яка рівна половині діаметру отвору, який свердлиться і в даному випадку складає 6,25 мм.

Подачу рекомендують приймати в межах від 0,15 до 0,20 мм/об при заданих умовах обробки. Приймаємо подачу рівною 0,20 мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v \text{ [м/хв.]}, \quad (2.32)$$

де T – стійкість інструменту, 15 хв.;

C_v, x_v, y_v, m, q_v – коефіцієнти і показники степені в формулі для розрахунку швидкості різання.

Згідно з [10] вони рівні: $C_v = 9,8; y = 0,5; m = 0,2; q = 0,4$.

K_v – загальний поправковий коефіцієнт, який є добутком цілого ряду коефіцієнтів, які враховують реальні умови механічної обробки:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv}, \quad (2.33)$$

Всі складові відображають вплив певного фактора на швидкість різання:

K_{Mv} – якість оброблюваної поверхні, 1,36;

K_{uv} – матеріал ріжучої частини, 1,0 (P6M5);

K_{lv} – глибину отвору, що свердлиться, 0,6.

Отже, загальний поправковий коефіцієнт

$$K = 1,36 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 0,816.$$

Швидкість різання

$$V = \frac{9,8 \cdot 6,25^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,2^{0,5}} \cdot 0,816 = 22,27 \text{ (м/хв.)}$$

Крутний момент при свердлінні розраховується за формулою:

$$M = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \text{ [Н·м]}, \quad (2.34)$$

де C_M , q , y – коефіцієнти і показники степені для розрахунку крутного моменту при свердлінні; $C_M = 0,0345$; $q = 2$; $y = 0,8$.

Коефіцієнт K_p рівний коефіцієнтові K_{mp} і рівний одиниці. З урахуванням цього крутний момент:

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 6,25^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,0 = 4,34 \text{ (Н·м)}.$$

Осьова сила при свердлінні визначається за формулою:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \text{ [Н]}, \quad (2.35)$$

де C_p , q , x – коефіцієнти і показники степені для розрахунку осьової сили при свердлінні; $C_p = 68$; $q = 1$; $y = 0,7$.

З урахуванням цього осьова сила

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 6,25^1 \cdot 0,2^{0,7} \cdot 1,0 = 1476,74 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N_e = M_{кр} \cdot n / 9750 \text{ [кВт]}, \quad (2.36)$$

де n – число обертів інструмента, що становить:

$$n = 1000 \cdot 22,27 / 3,14 \cdot 6,7 = 1058,56 \text{ (об/хв.)}$$

Приймаємо $n = 1050$ об/хв.

Потужність

$$N_{max} = 4,34 \cdot 1050 / 9750 = 0,47 \text{ (кВт)}.$$

Висновок. Потужність різання складає $N_{max} = 0,47$ кВт, а потужність попередньо вибраного верстата 1П420ПФ40 – $N = 22$ кВт. Оскільки потужність різання менша, ніж вибраного попередньо верстата $N_{max} = 0,47$ кВт < $N = 22$ кВт, то верстат може бути використаний для обробки.

В таблиці 2.24 наведені результати визначення (за нормативами) режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів для розробленого маршруту механічної обробки даної деталі.

Таблиця 2.24 – Зведена таблиця режимів різання

Операції, переходи	Розміри поверхні b, ℓ , мм	Глибина різання t , мм	Подача S , мм/об	Швидкість різання V , м/хв.	Частота обертання n , об/хв.
1	2	3	4	5	6
005 Токарно-револьверна з ЧПК					
2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3, торець 4 попередньо.	$\phi 100,5$ $1 \times 45^\circ$ $\phi 111; 6$ $\phi 168; 18,68$	3,5 1,0 2,3 4,0	0,8 0,8 0,8 0,8	180 177 167 262	500 500 500 500
3. Точити поверхню 3 попередньо, торець 4 остаточно.	$\phi 110,7_{-0,14}$ $\phi 168; 17,26$	0,35 3,86	0,15 0,15	277 422	800 800
4. Точити поверхню 3 остаточно.	$\phi 110,2$	0,2	0,1	415	1200
5. Розточити фаску 5, поверхню 6, торець 7 одноразово, поверхню 8 попередньо.	$2 \times 45^\circ$ $\phi 60$ $\phi 60; 20$ $\phi 48,5$	2,0 2,5 2,0 1,3	0,4 0,4 0,4 0,4	100 94 94 76	500 500 500 500
6. Розточити канавку 9 одноразово.	$\phi 62,5$	2,5	0,4	98	500
7. Розточити фаску 10 одноразово, поверхню 8 попередньо.	$\phi 52; 1 \times 45^\circ$ $\phi 49,7$	1,0 0,55	0,15 0,15	130 124	800 800
8. Розточити поверхню 8 остаточно.	$\phi 50H7^{(+0,025)}$	0,2	0,1	188	1200
9. Нарізати різь в отворі 6.	M62 \times 2-7H	2,0	2,0	24	125
10. Центрувати 4 отв. 11.	$\phi 5; \ell = 6$	2,5	0,1	13	800
11. Свердли 4 отв. 11.	$\phi 12; \ell = 12$	6,0	0,1	30	800
010 Токарно-револьверна з ЧПК					
2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3 попередньо, торець 4, фаску 5, поверхню 6, торець 7, поверхню 8, торець 9, поверхню 10 одноразово.	$\phi 75; 100_{-0,87}$ $\phi 68; 1 \times 45^\circ$ $\phi 73,7$ $\phi 95;$ $22 \pm 0,26$ $\phi 90; 1 \times 45^\circ$ $\phi 92$ $\phi 95; 42_{-0,62}$ $\phi 120$ $12_{-0,83}$ $\phi 165$	6,0 1,0 1,5 7,0 1,0 1,5 2,0 1,0 4,0 4,0	0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4	118 107 116 150 141 144 149 188 260 260	500 500 500 500 500 500 500 500 500 500
3. Точити поверхню 3 попередньо.	$\phi 70,7$	0,35	0,15	178	800
4. Точити поверхню 3 остаточно.	$\phi 70_{-0,12}$	0,12	0,1	264	1200
5. Розточити фаску 11 одноразово.	$\phi 52; 1 \times 45^\circ$	1,0	0,15	130	800
015 Токарно-револьверна з ЧПК					
2. Точити поверхню 1, торець 2 одноразово.	$\phi 110s7^{(+0,114)}$ $\phi 165; 15$	0,07 0,8	0,07 0,07	150 150	440 300
3. Розточити отвір 3 остаточно	$\phi 50H7^{(+0,025)}$	0,1	0,05	220	1400
020 Горизонтально-протягувальна					
2. Протягнути паз 1.	14H9 $^{(+0,043)}$, 80	3,8	-	8	-

2.11 Математичне моделювання ТП та оптимізація режимів різання

Оптимізація технологічних процесів та режимів різання, зокрема, базується на побудові математичних моделей. Для встановлення математичної моделі виділяють технічні обмеження, які в найбільшій мірі визначають процес, що описується, та критерій оптимальності.

Для виконання оптимізації режимів різання використаємо комп'ютерну програму [7].

Розрахунок оптимального режиму різання для переходу 2 (точити поверхню 1 попередньо) на 005 токарно-револьверній з ЧПК операції показано на рисунку 2.12.

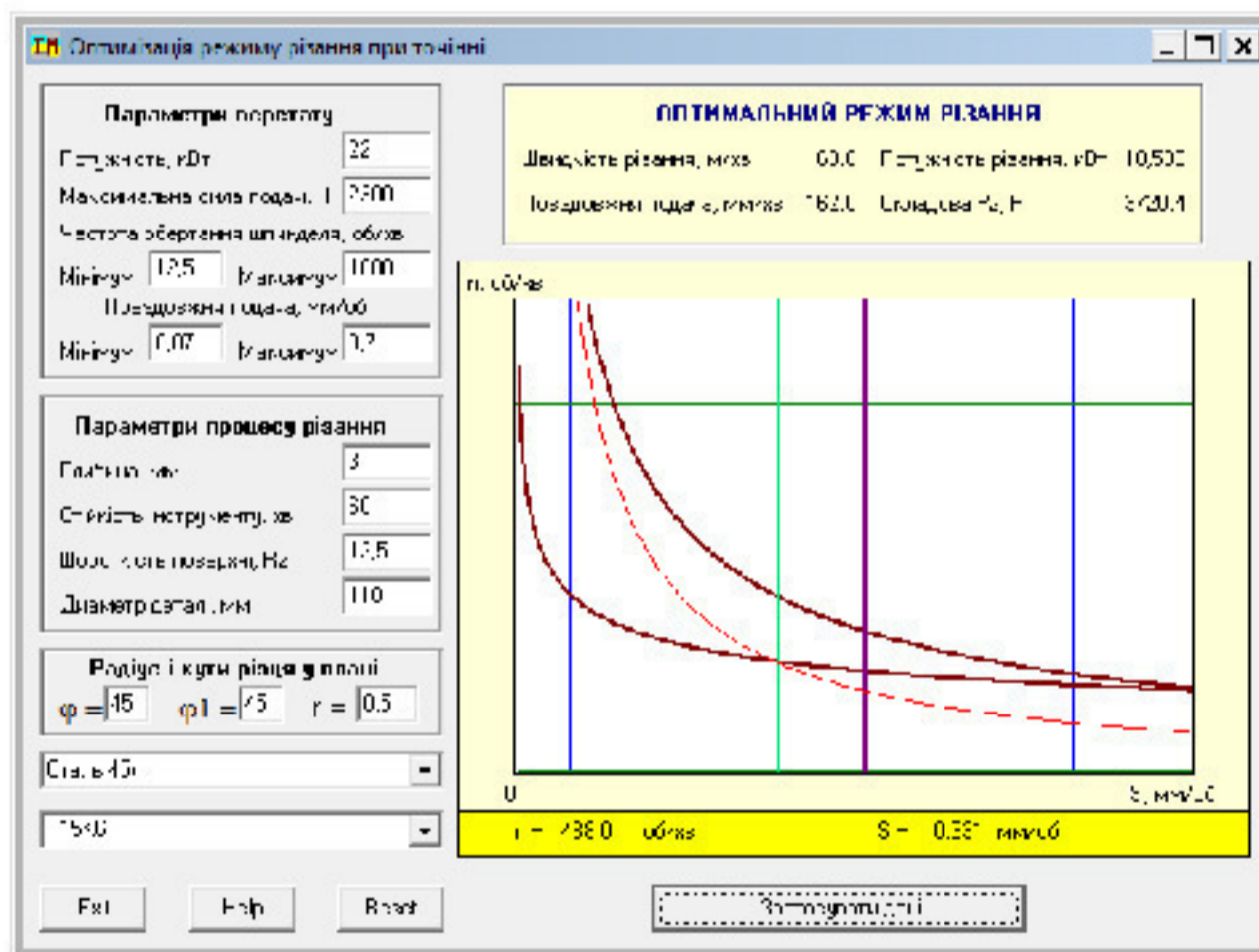


Рисунок 2.12 – Оптимізація режимів різання при точінні попередньому поверхні $\varnothing 110s7^{(+0,114)}_{+0,079}$

Результати оптимізації отримані за допомогою комп'ютерної програми мають незначну розбіжність з прийнятими режимами різання. Отже, максимальна продуктивність обробки на верстатах з ЧПК буде забезпечена.

2.12 Визначення технічних норм часу на операції

Технічні норми часу в умовах масового та серійного виробництв встановлюється розрахунково-аналітичним методом.

В серійному виробництві визначається норма штучно-калькуляційного часу $T_{шт-к}$ [3, 12, 13]:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_o + T_d + T_{обс,відп} \text{ [хв.]}, \quad (2.37)$$

де $T_{п-з}$ – підготовчо-заключний час, хв.; T_o – основний час, хв.; T_d – допоміжний час, хв.; $T_{обс,відп}$ – час обслуговування та відпочинку, хв.; $T_{п-з}$ – підготовчо-заключний час, хв.; n – кількість деталей в партії настройки, шт.;

Основний час визначається на основі прийнятих режимів різання.

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} \text{ [хв.]}, \quad (2.38)$$

де L – довжина робочого ходу супорта; i – число перебігу; S – подача; n – частота обертання.

Проведемо детальний розрахунок основного часу для операції 010 токарно-револьверної з ЧПК.

Модель верстата: токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30.

Пристосування: патрон.

Маса заготовки 7,331 кг (деталі 4,92 кг).

Основний час на виконання переходів.

Перехід 2. Точити торець 1 одноразово $T_{o21} = \frac{(15 + 3 + 3) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,105 \text{ (хв.)}$

Точити фаску 2 одноразово $T_{o22} = \frac{(1 + 2 + 2) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,025 \text{ (хв.)}$

$$\text{Точити поверхню 3 попередньо } T_{o23} = \frac{(22 + 3 + 3) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,14 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Точити торець 4 одноразово } T_{o24} = \frac{(10,65 + 3) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,068 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Точити фаску 5 одноразово } T_{o25} = \frac{(1 + 2 + 2) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,025 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Точити поверхню 6 одноразово } T_{o26} = \frac{(20 + 3) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,115 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Точити торець 7 одноразово } T_{o27} = \frac{(1,5 + 2) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,018 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Точити поверхню 8 одноразово } T_{o28} = \frac{(4 + 2) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,03 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Точити торець 9 одноразово } T_{o29} = \frac{(24 + 3) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,139 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Точити поверхню 10 одноразово } T_{o210} = \frac{(12 + 3 + 3) \cdot 1}{0,4 \cdot 500} = 0,09 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Перехід 3. Точити поверхню 3 попередньо } T_{o3} = \frac{(22 + 3) \cdot 1}{0,15 \cdot 800} = 0,208 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Перехід 4. Точити поверхню 3 остаточно } T_{o4} = \frac{(22 + 3) \cdot 1}{0,1 \cdot 1200} = 0,0021 \text{ (хв.)}$$

$$\text{Перехід 5. Розточити фаску 11 одноразово } T_{o5} = \frac{(1 + 2 + 2) \cdot 1}{0,15 \cdot 800} = 0,042 \text{ (хв.)}$$

Основний час

$$\Sigma T_{o010} = 0,755 + 0,208 + 0,0021 + 0,042 = 1,01 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час

$$T_D = t_{\substack{\text{уст., знят.} \\ \text{дет.}}} + t_{\substack{\text{вкл.} \\ \text{верст.}}} + t_{\substack{\text{упр.} \\ \text{верст.}}} + t_{\substack{\text{підв.} \\ \text{інстр.}}} + t_{\text{контр.}} \text{ [хв.],} \quad (2.39)$$

де $t_{\text{уст., змшт. детал.}}$ – час устанавлення, закріплення, розкріплення, зняття деталі,

$$t_{\text{уст., змшт. детал.}} = 0,12 \text{ хв.};$$

$t_{\text{вкл., викл. верст.}}$ – час включення, виключення верстата (кнопкою);

$$t_{\text{вкл., викл. верст.}} = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ (хв.)};$$

$t_{\text{упр. верст.}}$ – поворот револьверної головки в наступну позицію;

$$t_{\text{упр. верст.}} = 4 \cdot 0,015 = 0,06 \text{ (хв.)};$$

$t_{\text{підв., відв. інстр.}}$ – час підведення, відведення інструменту;

$$t_{\text{підв., відв. інстр.}} = 8 \cdot 0,025 = 0,2 \text{ (хв.)};$$

$t_{\text{коштр.}}$ – час контролю (контролюється кожна 5 деталь);

$$t_{\text{коштр.}} = 0,13 \cdot 4 = 0,52 \text{ (хв.)}; \text{ (контроль } \varnothing 70_{-0,12}, \text{ довжини 22; 42; 100).}$$

Тоді

$$T_{\text{д}} = 0,12 + 0,2 + 0,06 + 0,2 + 0,52/5 = 0,7 \text{ (хв.)}$$

Оперативний час

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}} \text{ [хв.]}, \quad (2.40)$$

$$T_{\text{оп}} = 1,01 + 0,7 = 1,71 \text{ (хв.)}$$

Час обслуговування та відпочинку $T_{\text{обс, відп}}$ складає 7% від $T_{\text{оп}}$

$$T_{\text{обс, відп}} = 0,07 \cdot T_{\text{оп}} = 0,07 \cdot 1,71 = 0,12 \text{ (хв.)}$$

Підготовчо-заключний час

$$T_{n-3} = T_{n-31} + T_{n-32} = 16 + 10 = 26 \text{ (хв.)},$$

де $T_{n-31} = 16$ хв. – підготовчо-заключний час на налагодження інструменту, пристосування;

$T_{n-32} = 10$ хв. – підготовчо-заключний час на одержання інструменту, документації, пристосування.

Таким чином

$$T_{\text{шт-к}} = 26/179 + 1,01 + 0,7 + 0,12 = 1,975 \text{ (хв.)}$$

Аналогічно виконуються розрахунки по решті операцій. Результати розрахунків представлені в таблиці 2.25.

Таблиця 2.25 – Технічні норми часу по операціях, хв.

№ і назва операції	Основний час T_o , хв.	Коефіцієнт φ_k	Штучно- калькуляційний час $T_{\text{шт-к}}$, хв.
1	2	3	4
005 Токарно-револьверна з ЧПК	5,292	1,3	6,88
010 Токарно-револьверна з ЧПК	1,01	1,96 (фактичний) 1,3 (табличний)	1,975
015 Токарно-револьверна з ЧПК	1,462	1,3	1,9
020 Горизонтально-протягувальна	0,023	1,4	0,032

2.13 Висновки

В даному розділі проведено удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006». При цьому встановлено:

- деталь «Ступиця ГБ 20.006» за своєю конструкцією та показниками є технологічною;

- тип виробництва середньосерійний, форма організації роботи групова;

- для найбільш доцільних способів виготовлення заготовки – лиття за виплавним моделями та лиття в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші) спроектовано заготовки та техніко-економічним порівнянням встановлено, що економічно доцільнішим варіантом є виготовлення заготовки литтям в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші), оскільки вартість заготовки при цьому складає 404,7 грн., що менше у порівнянні з литтям за виплавним моделями – 416,22 грн.;

- спроектовано два варіанти технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Ступиця ГБ 20.006», проведено їх техніко-економічне порівняння і встановлено кращий з них за мінімумом приведених витрат;

- для оптимального варіанту технологічного процесу виконано розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу, розрахунок режимів різання, нормування операцій, що дозволяє в подальшому проводити розрахунки, пов'язані з удосконаленням ділянки механічної обробки деталі.

3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

3.1 Постановка задачі дослідження

В сучасному машинобудуванні спостерігається стійка тенденція використання остаточної лезової обробки точних отворів, площин, зовнішніх циліндричних поверхонь замість малопродуктивного шліфування. Це, перш за все, пояснюється появою на ринку металообробного обладнання високоточних і високопродуктивних верстатів з ЧПК, а також інструментів, оснащених пластинами з надтвердих матеріалів. Важливою перевагою лезової обробки на верстатах з ЧПК є можливість обробки значної кількості поверхонь з одного установа. Це запобігає впливу похибки установа на точність відносного розташування цих поверхонь. Окрім того, лезовий інструмент, різальна частина якого використовує вставки з надтвердих матеріалів (композитів на основі кубічного нітриду бора, штучних алмазів, кераміки) забезпечує суттєво менший розмірний знос, ніж шліфувальні круги. Це дозволяє широко застосовувати спосіб автоматичного отримання технологічних розмірів на настроєному верстаті.

Важливим показником якості механічної обробки є точність оброблених поверхонь. Відомо [9], що точність обробки, яка досягається на тому, чи іншому переході, залежить від значної кількості технологічних факторів. Через це складає певний інтерес встановлення показників точності, що забезпечуються за певних конкретних, але поширених у машинобудуванні технологічних умов. Зокрема у цій роботі проаналізована обробка тонким розточуванням на токарному верстаті з ЧПК довгого отвору в заготовці з якісної конструкційної сталі.

Метою роботи є виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК і визначення коефіцієнта уточнення, який досягається такою обробкою.

Для досягнення мети роботи поставлені такі завдання:

- спроектувати технологічний процес механічної обробки заготовки деталі;
- визначити величини елементарних похибок, що виникають під час тонкого розточування отвору і впливають на поле розсіювання його діаметрального розміру;
- проаналізувати вплив елементарних похибок на сумарну похибку;
- визначити коефіцієнт уточнення для досліджуваного переходу;
- сформулювати висновки за результатами дослідження.

3.2 Результати дослідження

Дослідження виконувались на прикладі операції механічної обробки заготовки деталі «Ступиця ГБ 20.006». Операція виконується на токарно-револьверному верстаті з ЧПК високої точності 160НТ. Операційний ескіз показаний на рис. 3.1. Розглядався перехід, на якому виконується остаточне (тонке) розточування отвору $\phi 50H7^{(+0,025)}$ мм.

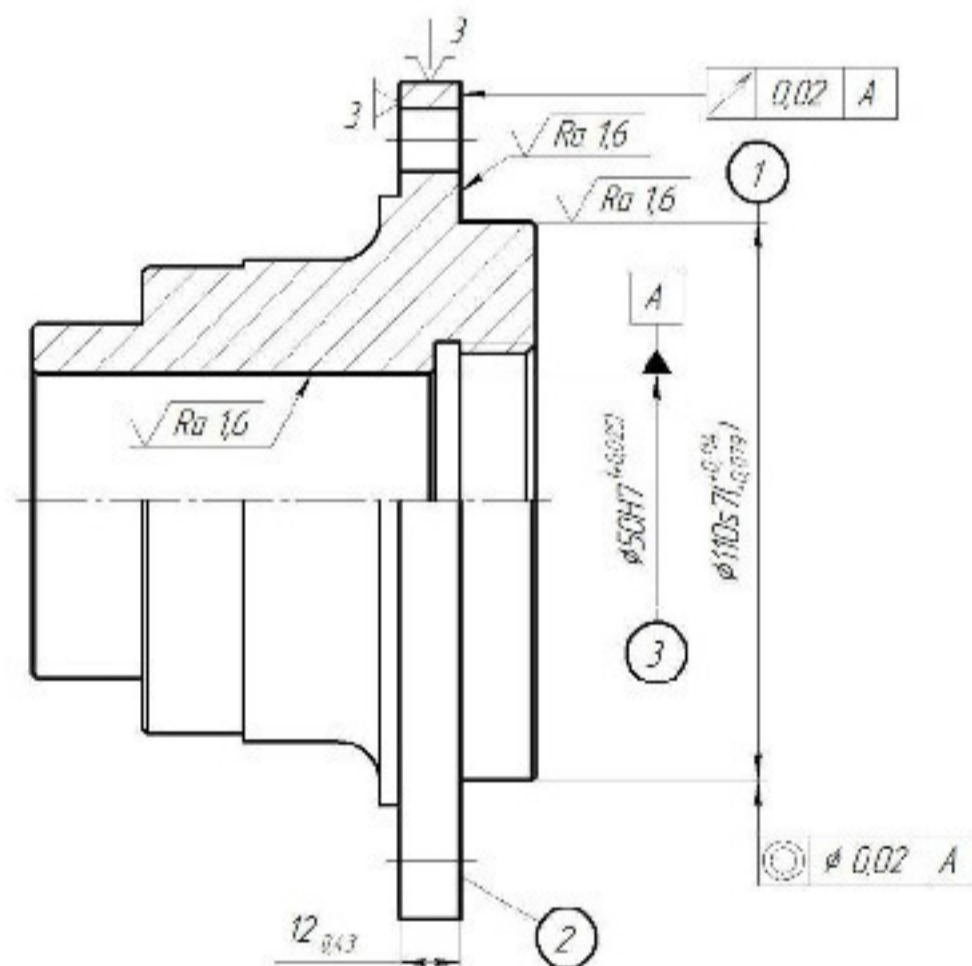


Рисунок 3.1 – Ескіз обробки на операції 015

Початкові дані: матеріал – Сталь 45Л, маса деталі – 4,92 кг; тип виробництва – середньосерійний; розмір партії деталей – 180 шт.; остаточна обробка отвору $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$ мм – тонке розточування на токарно-револьверному верстаті з ЧПК високої точності – 160НТ.

Прийнято, що обробка здійснюється за таких технологічних умов:

- тонке розточування виконується після чистового розточування, яке забезпечує розмір поверхні за IT8 (для прийнятого номінального розміру величина допуску складе 39 мкм);
- партія заготовок обробляється на настроєному на розмір верстаті; настроювання розточувального різця на розмір обробки відбувається з використанням способу пробних заготовок;
- матеріал різальної частини різця – кераміка VO-13 (ГОСТ 26630–85).
- швидкість різання – 220 м/хв.
- подача – 0,05 мм/об.

Згідно з [16], величину сумарної похибки діаметрального розміру, який забезпечується в результаті розточування отвору на верстаті з ЧПК, можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пс}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{к}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{т}})^2}, \text{ [мкм]} \quad (3.1)$$

де $\frac{1}{K}$ – коефіцієнт, що залежить від бажаної імовірності роботи без браку;

$K_1 \dots K_6$ – коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок:

$\varepsilon_{\text{пд}}$ – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання;

$\varepsilon_{\text{н}}$ – похибка настроєння верстата;

$\varepsilon_{\text{пс}}$ – похибка позиціонування поперечного супорта (по координаті X);

$\varepsilon_{\text{і}}$ – похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента;

ε_B – похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата;

ε_T – похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи.

Послідовно визначимо елементарні похибки обробки. Усі ці похибки визначаємо на радіус (на сторону), а сумарна похибка, згідно з формулою (3.1) – на діаметр.

Похибку, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначено за формулою [9]

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [мкм]}, \quad (3.2)$$

де ω_{Σ} – сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, інструмента і заготовки;

$P_{y_{\text{max}}}$ і $P_{y_{\text{min}}}$ – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

Податливість технологічної системи для випадку закріплення заготовки в патроні токарного верстата визначатиметься співвідношенням

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{п.б.}} + \omega_{\text{суп}} + \omega_{\text{заг}} + \omega_{\text{інс}} \text{ [мкм/Н]}, \quad (3.3)$$

де $\omega_{\text{п.б.}}$, $\omega_{\text{суп}}$, $\omega_{\text{заг}}$ та $\omega_{\text{інс}}$ – податливості, відповідно, передньої бабки, супорта, заготовки та інструмента (різця).

Оскільки на операції, що розглядається, використовується верстат з ЧПК високої точності, то згідно з [9] приймемо $\omega_{\text{п.б.}} = \omega_{\text{суп}} = 0,018 \cdot \text{мкм/Н}$.

Податливість консольно закріпленої в патроні заготовки в зоні обробки визначається за формулою [18]

$$\omega_{\text{заг}} = \frac{L_{\text{заг}}^3}{3E_{\text{заг}}I_{\text{заг}}} \text{ [мм/Н]}, \quad (3.4)$$

де $E_{\text{заг}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ – модуль пружності матеріалу заготовки (Сталь 45Л);

$I_{\text{заг}}$ – момент інерції поперечного перетину заготовки;

$L_{\text{заг}} = 85 \text{ мм}$ – відстань від місця закріплення заготовки в патроні до зони обробки.

Оскільки заготовка має трубчасту форму, то її момент інерції визначається за формулою [18]

$$I_{\text{заг}} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \text{ [мм}^4\text{]}, \quad (3.5)$$

де D і d – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри заготовки.

Кількісне значення моменту інерції поперечного перетину заготовки

$$I_{\text{заг}} = \frac{3,14(92^4 - 50^4)}{64} = 2,03 \cdot 10^6 \text{ (мм}^4\text{)}.$$

Податливість заготовки в зоні обробки складе

$$\omega_{\text{заг}} = \frac{85^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2,03 \cdot 10^6} = 0,05 \cdot 10^{-5} \text{ [мм/Н]} = 0,0005 \text{ [мкм/Н]}.$$

Податливість консольно закріпленого розточувального різця визначалась за формулою

$$\omega_{\text{інс}} = \frac{L_{\text{інс}}^3}{3E_{\text{інс}}I_{\text{інс}}} \text{ [мм/Н]}, \quad (3.6)$$

де $E_{\text{інс}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ – модуль пружності матеріалу державки різця (Сталь 45);

$I_{\text{інс}}$ – момент інерції поперечного перетину різця;

$L_{\text{інс}} = 120$ мм – відстань від торця револьверної головки до зони обробки.

Оскільки державка розточувального різця має циліндричну форму, то її момент інерції визначається за формулою [18]

$$I_{\text{інс}} = \frac{\pi D_p^4}{64} [\text{мм}^4], \quad (3.7)$$

де D_p – діаметр державки різця.

Кількісне значення моменту інерції поперечного перетину державки різця

$$I_{\text{інс}} = \frac{3,14 \cdot 40^4}{64} = 0,126 \cdot 10^6 (\text{мм}^4).$$

Кількісне значення податливості різця

$$\omega_{\text{інс}} = \frac{120^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,126 \cdot 10^6} = 3,62 \cdot 10^{-5} (\text{мм/Н}) = 0,023 (\text{мкм/Н}).$$

За формулою (3.4) визначимо кількісне значення податливості технологічної системи

$$\omega_{\Sigma} = 0,018 + 0,018 + 0,0005 + 0,023 = 0,06 (\text{мкм/Н}).$$

На змінення величини P_y впливатиме зміна припуску на тонке розточування.

Вважалось, що на переході, який розглядається, $t_{\text{мін}} = 0,1$ мм, $t_{\text{макс}} = 0,114$ мм.

Силу P_y можна знайти за формулою [10]

$$P_y = 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y} [\text{Н}]. \quad (3.8)$$

де C_{P_y} , k_{P_y} , x , y , n – коефіцієнти і показники степеня (знаходяться за таблицями [10 та ін.]);

v – швидкість різання, м/хв;

s – подача, мм/об;

t – глибина різання, мм.

Для прийнятих технологічних умов з використанням формули (3.8) отримано: $P_{y_{\max}} = 14$ Н; $P_{y_{\min}} = 10$ Н.

Визначена за формулою (3.2) величина $\varepsilon_{\text{пл}}$ склала 0,5 мкм.

Похибку настроєння визначалась за формулою [15]

$$\varepsilon_{\text{н}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.8)$$

де $\varepsilon_{\text{р}}$ – похибка регулювання положення різця;

$\varepsilon_{\text{вм}}$ – похибка вимірювання розміру деталі;

$\varepsilon_{\text{зм}}$ – похибка від зміщення центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання;

$K = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує відхилення законів розподілу похибок $\varepsilon_{\text{р}}$, $\varepsilon_{\text{вм}}$ і $\varepsilon_{\text{зм}}$ від нормального закону розподілу.

Згідно з [16], прийmemo, що для токарного верстата з ЧПК $\varepsilon_{\text{р}}$ дорівнює двом дискретам. У верстата 160НТ дискрета (найменше можливе переміщення) у радіальному напрямі складає 1 мкм і, відповідно, $\varepsilon_{\text{р}} = 2$ мкм. Похибка вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}} = 1$ мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою нутроміра з індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм).

$$\text{Похибка } \varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пл}}}{\sqrt{t}} = \frac{0,5}{\sqrt{5}} = 0,25 \text{ (мкм)}.$$

Тоді похибка настроєння складе

$$\varepsilon_n = 1,2 \sqrt{2^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} + 0,25^2 = 2,5 \text{ (мкм)}$$

Під час обробки на токарних верстатах з ЧПК після завершення повороту револьверної головки і позиціювання її по осі X для установлення різця в робочу позицію виникає похибка позиціювання $\varepsilon_{п.р.г}$. Згідно з [16] для верстатів класу точності В ця похибка складає 4...6 мкм. Прийmemo, що $\varepsilon_{п.р.г} = 5$ мкм.

Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця ε_z , в процесі обробки заготовок партії на настроєному верстаті з ЧПК може майже повністю зкомпенсуватися введенням корекції, тобто регламентованим програмованим зміщенням вершини різця. Згідно з [16], вважатимемо, що похибка корекції ε_k дорівнює двом дискретам, тобто 2 мкм. І, відповідно, прийmemo $\varepsilon_i = \varepsilon_k = 2$ мкм.

Визначимо, яка кількість заготовок може бути оброблена між введеннями корекційного піднастроювання різця для компенсації його розмірного зносу. Вважатимемо, що розмірний знос різця між піднастроюваннями $[\varepsilon_i]$ дорівнює двом дискретам, тобто прийmemo, що $[\varepsilon_i] = 2$ мкм.

Допустимий шлях, який проходить вершина різця між піднастроюваннями по поверхні оброблюваних заготовок

$$L_N = \frac{1000[\varepsilon_i]}{u_0} \text{ [м]}, \quad (3.5)$$

де u_0 – відносний знос різця, який згідно з [17] для різця з кераміки ВО-13 для випадку точіння заготовок зі Сталі 45Л складає 0,7 мкм/км.

Згідно з формулою (3.5)

$$L_N = \frac{1000 \cdot 2}{0,7} = 2,9 \cdot 10^3 \text{ (м)}.$$

Шлях, який проходить вершина різця під час обробки однієї заготовки для випадку, що розглядається, складе

$$L_1 = \frac{\pi DL}{1000s} \text{ [м]}, \quad (3.6)$$

де $D = 50$ мм і $L = 80$ мм – відповідно діаметр і довжина оброблюваної поверхні.

Підставивши величину подачі ($s = 0,1$ мм/об) і розміри оброблюваної поверхні у формулу (3.6), отримаємо

$$L_1 = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 80}{1000 \cdot 0,1} = 126 \text{ (м)}.$$

Кількість заготовок, яка обробляється під час проходження різцем шляху L_N визначено за формулою

$$N = \frac{L_N}{L_1} = \frac{2,9 \cdot 10^3}{126} = 23 \text{ [шт.]}. \quad (3.6)$$

Кількість корекційних піднастроювань різця, необхідних для обробки партії заготовок, складе

$$K = n/L_N = 180/23 = 7.$$

Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата [9]:

$$\varepsilon_B = \frac{C \cdot l}{L_6} \text{ [мкм]}, \quad (3.13)$$

де C – допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині L_6 .

Відповідно до ГОСТ 18097–93 для токарних верстатів класу точності В на базовій довжині 250 мм величина C становить 5 мкм.

Таким чином,

$$\varepsilon_B = \frac{5 \cdot 80}{250} = 1,6 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи (ε_δ), згідно [9] для лезової обробки складає близько 15% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_T = 0,15(\varepsilon_{п.д} + \varepsilon_H + \varepsilon_{п.і} + \varepsilon_i + \varepsilon_B). \quad (3.14)$$

Таким чином,

$$\varepsilon_T = 0,15(0,5 + 2,5 + 3 + 2 + 1,6) = 1,5 \text{ (мкм)}.$$

За формулою (3.1) визначимо сумарну похибку, прийнявши: $\frac{1}{K} = 1$ (очікуваний брак складе 0,03%); $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 1$ (розподіл похибок $\varepsilon_{п.д}$, ε_H , $\varepsilon_{п.і}$ відповідає нормальному закону); $K_5 = K_6 = K_7 = 1,73$ (розподіл похибок ε_i , ε_B , ε_T відповідає закону рівної імовірності).

$$\varepsilon_\Sigma = 2\sqrt{2,5^2 + 2,5^2 + 5^2 + (1,73 \cdot 3)^2 + (1,73 \cdot 1,6)^2 + (1,73 \cdot 1,5)^2} = 19 \text{ (мкм)}.$$

Оскільки $\varepsilon_\Sigma < T = 25$ мкм, то необхідна точність обробки забезпечуватиметься.

Вважаючи, що допуск на попередньому переході забезпечувався в межах 8 квалітету точності ($T_{i-1} = 39$ мкм), визначимо коефіцієнт уточнення ε , який досягається на переході, що розглядається. Таким чином, $\varepsilon = T_{i-1}/T = 39/19 = 2$, що згоджується з даними, наведеними в [16].

За результатами розрахунків побудовані діаграми величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого точіння торця на токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 160НТ (рис. 3.2).

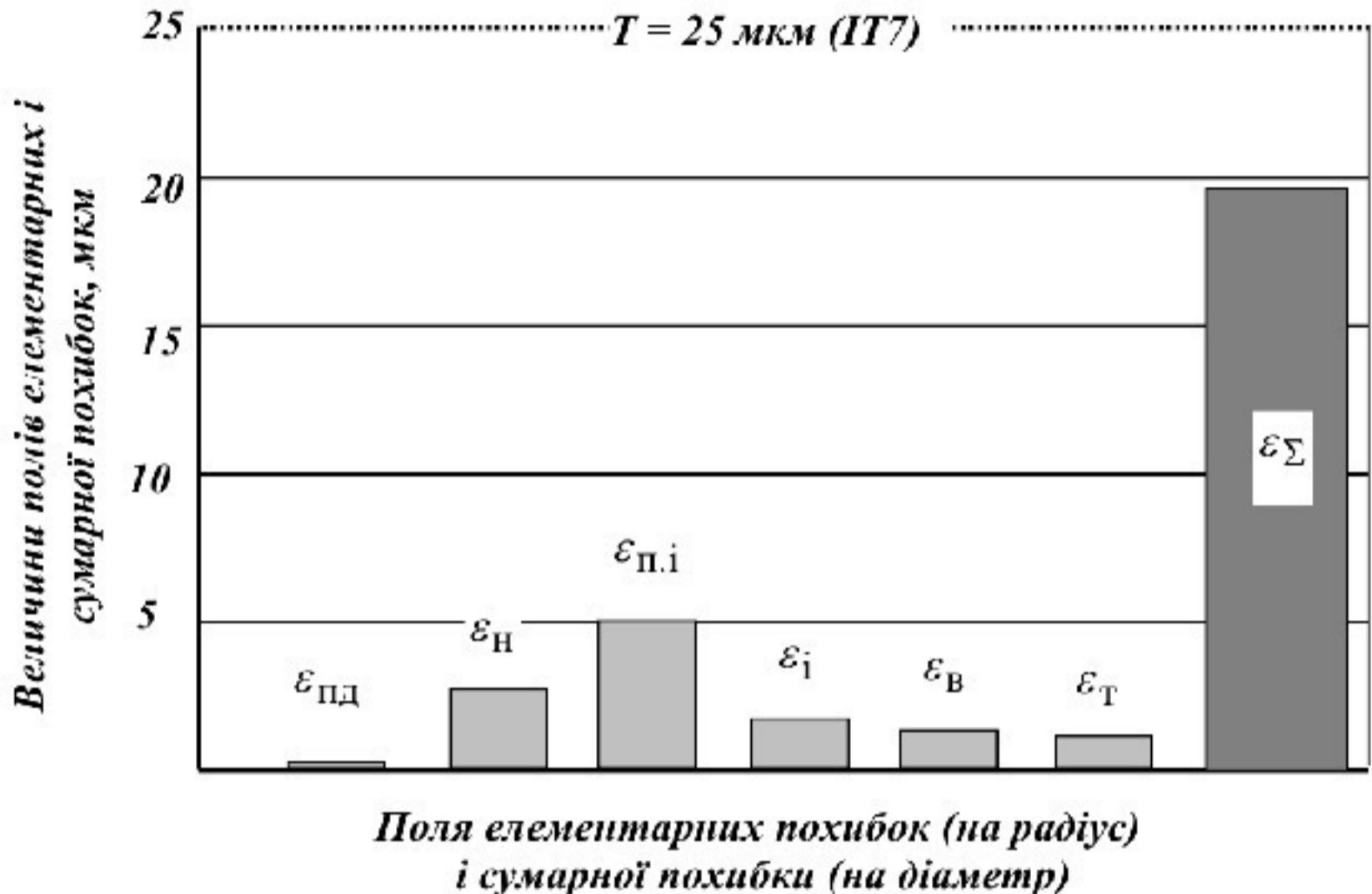


Рисунок 3.2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час тонкого розточування отвору на верстаті з ЧПК моделі 160НТ

3.3 Висновок

1. На прикладі обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» на токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 160НТ (клас точності «В») виконано аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на точність, що забезпечується під час тонкого розточування довгих отворів на настроєному верстаті.

2. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка настроєння і похибка, що зумовлена неточністю позиціювання при підведенні різального інструмента (різця) до початкової точки.

3. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця, зменшується до рівня похибки позиціонування поперечного супорта верстата завдяки використанню програмованої корекції інструмента. Встановлено, що за період між введенням корекції різця на величину дискрети потрібно обробити 23 заготовки.

4. Обробка на токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 160НТ гарантовано забезпечує задану точність розміру $\varnothing 50\text{H}7^{(+0,025)}$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 19 мкм.

5. Для переходу, що розглядається, визначено кількісне значення коефіцієнта уточнення, яка узгоджується з рекомендаціями [16].

6. Результати дослідження можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки і у навчальному процесі.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Проектування дільниць і цехів в умовах серійного виробництва виконують по приведеній програмі. Приведена програма визначається за формулою [4, 20]:

$$N_{пр} = N_{пред} + \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{при} \text{ [шт.]}, \quad (4.1)$$

де $N_{пред}$ – програма випуску представника; N_i – програма випуску деталей, якими довантажуються верстати; $K_{при}$ – коефіцієнт приведення деталей, якими довантажуються верстати.

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса	Програма	Показники									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Ступиця ГБ 20.006 (розрахунковий представник)	4,92	5000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	2	-	1	1	-	-	-	-	23
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	3	-	3	13	8	-	-	
Втулка	9,0	500	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	2	3	-	2	-	6	-	36	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	2	3	2	6	36	-	-	
Гільза	2,5	50000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			1	2	2	-	2	-	2	-	30	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	1	2	2	2	4	30	-	-	
Напрямна втулка	6,0	20000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	4	2	2	-	-	4	-	32	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	4	2	2	4	32	-	-	
Ступиця	8,0	15000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	-	4	-	4	-	6	-	34	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	-	4	4	6	34	-	-	

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.2)$$

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі; K_2 – коефіцієнт приведення по програмі випуску; K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{np}}\right)^2}, \quad (4.3)$$

де m_i – маса розглядуваної деталі; m_{np} – маса розрахункового представника.

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{N_{np}}{N_i}\right)^{0,15}, \quad (4.4)$$

де N_i – програма випуску розглядуваної деталі; N_{np} – програма випуску розрахункового представника.

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \left(\frac{R_{ai}}{R_{anp}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{T_i}{T_{np}}\right)^{\alpha_2}, \quad (4.5)$$

де R_{ai} – середній коефіцієнт шорсткості розглядуваної деталі; R_{anp} – середній коефіцієнт шорсткості розрахункового представника; T_i – середній квалітет точності розглядуваної деталі; T_{np} – середній квалітет точності розрахункового представника; α_1, α_2 – коефіцієнти.

- Для деталі «Втулка».

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{9,0}{4,92}\right)^2} = 1,5.$$

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{5000}{500}\right)^{0,15} = 1,41.$$

Середня точність розрахункового представника

$$\bar{T}_{p.np.} = \frac{7 \cdot 2 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 14 \cdot 23}{27} = 13,15.$$

Середня шорсткість розрахункового представника

$$\bar{R}_{a.p.np.} = \frac{1,6 \cdot 3 + 3,2 \cdot 3 + 6,3 \cdot 13 + 12,5 \cdot 8}{27} = 7,27 \text{ (мкм)}.$$

Середня точність розглядуваної деталі

$$\bar{T}_1 = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 36}{49} = 12,94.$$

Середня шорсткість розглядуваної деталі

$$\bar{R}_{a1} = \frac{1,6 \cdot 2 + 2,5 \cdot 3 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 6 + 12,5 \cdot 36}{49} = 10,3 \text{ (мкм)}.$$

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \frac{(12,94)^{\alpha_1}}{(13,15)^{\alpha_1}} \cdot \frac{(10,3)^{\alpha_2}}{(7,27)^{\alpha_2}} = \frac{0,815}{0,79} \cdot \frac{0,952}{0,98} = 1,0.$$

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = 1,5 \cdot 1,41 \cdot 1,0 = 2,115.$$

- Для деталі «Гільза».

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{2,5}{4,92}\right)^2} = 0,64.$$

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{5000}{50000}\right)^{0,15} = 0,708.$$

Середня точність розглядуваної деталі

$$\bar{T}_2 = \frac{6 \cdot 1 + 7 \cdot 2 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 2 + 14 \cdot 30}{41} = 12,2.$$

Середня шорсткість розглядуваної деталі

$$\bar{R}_{a2} = \frac{1,25 \cdot 1 + 1,6 \cdot 2 + 2,5 \cdot 2 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 4 + 12,5 \cdot 30}{41} = 10,15 \text{ (мкм)}.$$

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \frac{(12,2)^{\alpha_1}}{(13,15)^{\alpha_1}} \cdot \frac{(10,15)^{\alpha_2}}{(7,27)^{\alpha_2}} = \frac{0,88}{0,79} \cdot \frac{0,95}{0,98} = 1,08.$$

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = 0,64 \cdot 0,708 \cdot 1,08 = 0,49.$$

- Для деталі «Напрямна втулка».

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{6,0}{4,92}\right)^2} = 1,14.$$

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{5000}{20000}\right)^{0,15} = 1,15.$$

Середня точність розглядуваної деталі

$$\bar{T}_3 = \frac{7 \cdot 4 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 32}{44} = 12,66.$$

Середня шорсткість розглядуваної деталі

$$\bar{R}_{a3} = \frac{1,6 \cdot 4 + 2,5 \cdot 2 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 4 + 12,5 \cdot 32}{44} = 10,07 \text{ (мкм)}.$$

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \frac{(12,66)^{\alpha_1}}{(13,15)^{\alpha_1}} \cdot \frac{(10,07)^{\alpha_2}}{(7,27)^{\alpha_2}} = \frac{0,86}{0,79} \cdot \frac{0,95}{0,98} = 1,055.$$

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = 1,14 \cdot 1,15 \cdot 1,055 = 1,4.$$

- Для деталі «Ступиця».

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{8,0}{4,92}\right)^2} = 1,38.$$

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{5000}{15000}\right)^{0,15} = 0,84.$$

Середня точність розглядуваної деталі

$$\bar{T}_2 = \frac{8 \cdot 4 + 10 \cdot 4 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 34}{48} = 12,92.$$

Середня шорсткість розглядуваної деталі

$$\bar{R}_{a2} = \frac{2,5 \cdot 4 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 6 + 12,5 \cdot 34}{48} = 10,12 \text{ (мкм)}.$$

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \frac{(12,92)^{\alpha_1}}{(13,15)^{\alpha_1}} \cdot \frac{(10,12)^{\alpha_2}}{(7,27)^{\alpha_2}} = \frac{0,81}{0,79} \cdot \frac{0,95}{0,98} = 0,99.$$

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = 1,38 \cdot 0,84 \cdot 0,99 = 1,15.$$

Отже, приведена програма

$$N_{прив} = 5000 + 500 \cdot 2,115 + 50000 \cdot 0,49 + 20000 \cdot 1,8 + 15000 \cdot 1,15 = 75470 \text{ (шт.)}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма
			по масі	по серійності	по складності	загальний	на річний випуск
Ступиця ГБ 20.006	5000	4,92	1,0	1,0	1,0	1,0	5000
Втулка	500	9,0	1,5	1,41	1,0	2,115	1058
Гільза	50000	2,5	0,64	0,708	1,08	0,49	24500
Напрямна втулка	20000	6,0	1,14	1,15	1,055	1,4	28000
Ступиця	15000	8,0	1,38	0,84	0,99	1,15	17250
							Σ75470 шт.

Отже, при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників та інших складових дільниці буде використовуватися приведена програма, тобто проектується дільниця, на якій вироблятиметься 5 подібних деталей. При цьому вся технологічна документація розробляється для деталі представника, оскільки інші деталі є подібні.

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Згідно [4, 20] розрахункова кількість верстатів для кожної операції визначається за формулою:

$$C_p = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot \Phi_0}, \quad (4.6)$$

де N – приведена програми випуску; $T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час, хв.; Φ_0 – дійсний фонд часу роботи верстата, год.

Кількість верстатів необхідних для обробки розглядуваної деталі (з урахуванням програми розрахункового представника):

$$\text{операція 005} \quad C_{p005} = \frac{6,88 \cdot 5000}{60 \cdot 3890} = 0,15;$$

$$\text{операція 010} \quad C_{p010} = \frac{1,975 \cdot 5000}{60 \cdot 3890} = 0,04;$$

$$\text{операція 015} \quad C_{p015} = \frac{1,9 \cdot 5000}{60 \cdot 3890} = 0,04;$$

$$\text{операція 020} \quad C_{p020} = \frac{0,032 \cdot 5000}{60 \cdot 3890} = 0,001.$$

Кількість верстатів необхідних для обробки розглядуваної деталі з урахуванням приведеної програми:

$$\text{операція 005} \quad C_{p005} = \frac{6,88 \cdot 75470}{60 \cdot 3890} = 2,22; \quad C_{np005} = 3;$$

$$\text{операція 010} \quad C_{p010} = \frac{1,975 \cdot 75470}{60 \cdot 3890} = 0,64; \quad C_{np010} = 1;$$

$$\text{операція 015} \quad C_{p015} = \frac{1,9 \cdot 75470}{60 \cdot 3890} = 0,62; \quad C_{np015} = 1;$$

операція 020 $C_{p020} = \frac{0,032 \cdot 75470}{60 \cdot 3890} = 0,01; \quad C_{np020} = 1.$

Тоді коефіцієнти завантаження відповідно складатимуть (з урахуванням приведеної програми):

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.7)$$

де C_p – розрахункова кількість верстатів; C_{np} – прийнята кількість верстатів.

Операція 005: $\eta_{z005} = \frac{2,22}{3} = 0,74.$

Операція 010: $\eta_{z010} = \frac{0,64}{1} = 0,64.$

Операція 015: $\eta_{z015} = \frac{0,62}{1} = 0,62.$

Операція 020: $\eta_{z020} = \frac{0,01}{1} = 0,01.$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{zср} = \frac{0,74 + 0,64 + 0,62 + 0,01}{4} = 0,5.$$

Коефіцієнт використання обладнання за основним часом визначається для кожного верстату за формулою для серійного виробництва:

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{шт-к}}. \quad (4.8)$$

Операція 005: $\eta_{0005} = \frac{5,292}{6,88} = 0,77.$

Операція 010: $\eta_{0010} = \frac{1,01}{1,975} = 0,51.$

Операція 015: $\eta_{0015} = \frac{1,462}{1,9} = 0,77.$

Операція 020: $\eta_{0020} = \frac{0,023}{0,032} = 0,72.$

Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом:

$$\eta_{\text{сєр}} = \frac{0,77 + 0,51 + 0,77 + 0,72}{4} = 0,7.$$

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рисунку 4.1, графік використання обладнання за основним часом на рисунку 4.2.

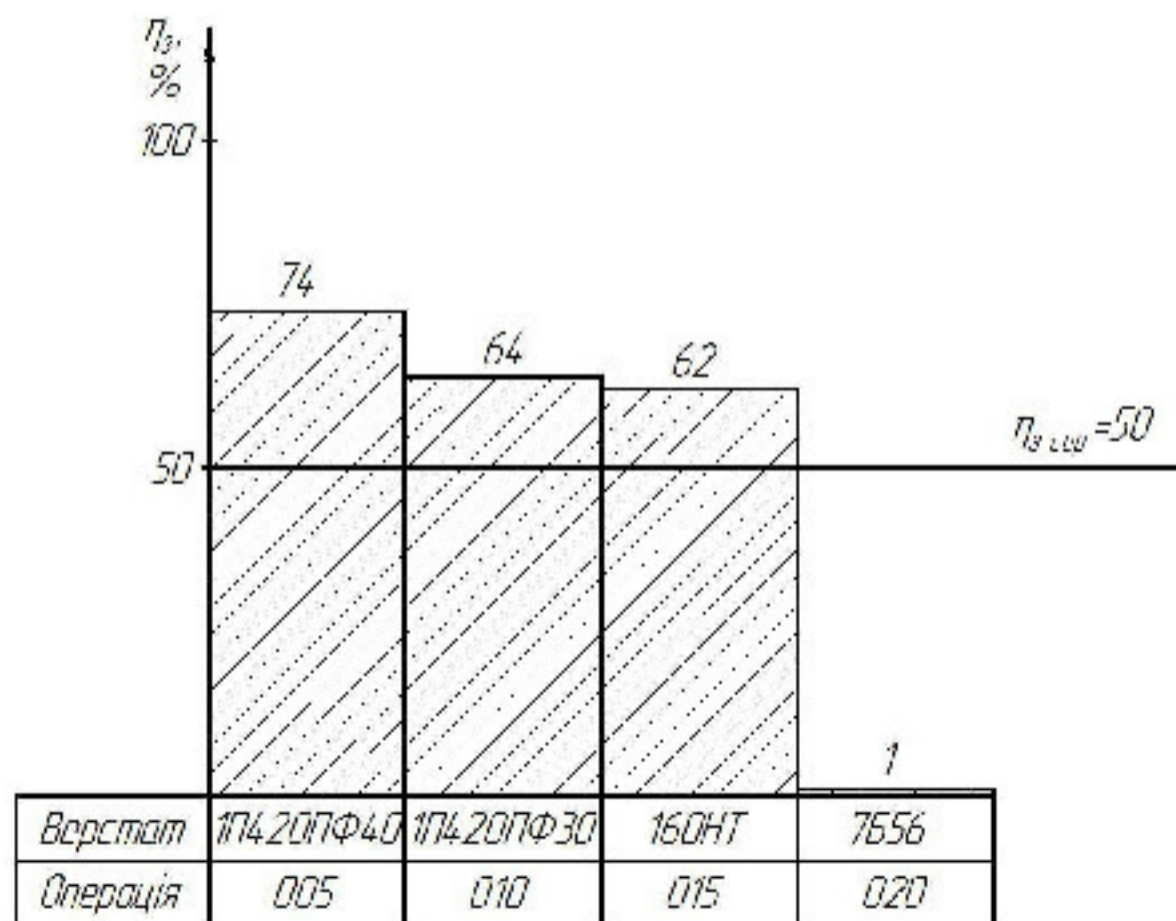


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

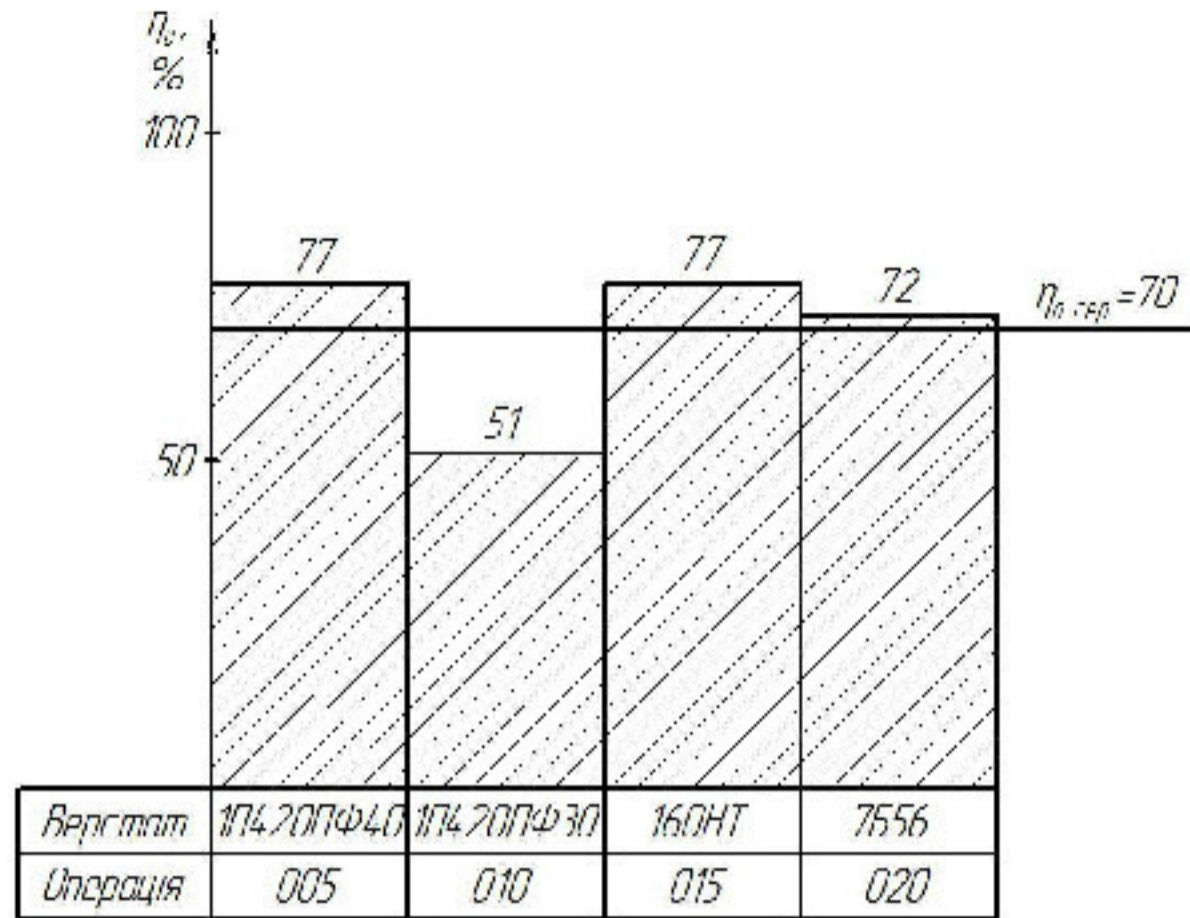


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Висновок. На операціях 010, 015, 020 необхідно довантажити верстати обробкою інших деталей, що не ввійшли в приведену програму. Тоді середній коефіцієнт завантаження верстатів, що дорівнює 0,5 і не відповідає вимогам середньосерійного виробництва (0,75-0,85) можна підняти до нормативного.

Коефіцієнт використання обладнання за основним часом є досить високим. Це свідчить про правильність побудови технологічного процесу механічної обробки деталі, доцільність використання автоматизованого обладнання (верстатів з ЧПК), де основний час обробки переважає в значній мірі над допоміжним часом та часом обслуговування.

4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою [4, 20]:

$$P_i = \frac{\Phi_{\partial} \cdot C_{np} \cdot \eta_3 \cdot \eta_o}{\Phi_{\epsilon} \cdot K_m}, \quad (4.9)$$

де C_{np} – прийнята кількість верстатів, шт.;

Φ_{ϵ} – ефективний річний фонд роботи верстатника, $\Phi_{\epsilon} = 1840$ год.;

Φ_{∂} – ефективний фонд роботи верстата, $\Phi_{\partial} = 3890$ год.;

K_m – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування, $K_m = 1,0 \dots 2,2$;

η_3, η_o – коефіцієнти завантаження.

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,74 \cdot 0,77}{1840 \cdot 1} = 1,2;$$

$$P_{np005} = 2;$$

$$P_{010} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,64 \cdot 0,51}{1840 \cdot 1} = 0,7;$$

$$P_{np010} = 1;$$

$$P_{015} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,62 \cdot 0,77}{1840 \cdot 1} = 1,0;$$

$$P_{np015} = 1;$$

$$P_{020} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,01 \cdot 0,72}{1840 \cdot 1} = 0,02;$$

$$P_{np020} = 1.$$

Кількість основних робітників складає 5 чоловік. Із них лише робітники, що виконують операцію 005 працюють в 2 зміни. На всіх інших операціях робітники працюють лише в 1 зміну. На всіх операціях можливе довантаження основних робітників обробкою інших деталей, так як вони не в повній мірі завантажені роботою.

Кількість допоміжних робітників складає 20-25% від кількості верстатників, відповідно:

$$P_{\text{доп}} = (0,2 \dots 0,25) \cdot 5 = 1,0 \dots 1,25.$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

При серійному виробництві кількість ІТР складає 16-22% від кількості основних верстатів, тобто:

$$P_{\text{ІТР}} = (0,16...0,22) \cdot 6 = 0,96...1,32.$$

Приймаємо 1 чоловіка ІТР.

Кількість службовців при серійному виробництві складає 0,9...1,9% від кількості основних робітників, отримаємо:

$$P_{\text{СКП}} = (0,009...0,019) \cdot 5 = 0,045...0,095.$$

Приймаємо 1 чоловіка, який має обслуговувати ще ряд інших дільниць (наприклад бухгалтер).

МОП приймаємо в межах 1-2% від загальної кількості працюючих

$$P_{\text{МОП}} = (0,01...0,02) \cdot 8 = 0,08...0,16.$$

Приймаємо 1 чоловіка (з обслуговуванням інших дільниць).

Отримані дані занесемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники	розрахунок	2,92	5
Допоміжні робітники	20...25%	1,0...1,25	1
ІТР	16...22%	0,96...1,32	1
СКП	0,9...1,9%	0,045...0,095	1
МОП	1...2%	0,08...0,16	1

4.5 Висновки

В даному розділі виконано проектування елементів дільниці для реалізації удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006». При цьому розраховано приведену програму для роботи дільниці в середньосерійному виробництві, яка складає 75470 шт. (проектується дільниця, на якій вироблятиметься 5 подібних деталей).

Середній коефіцієнт завантаження обладнання є досить високим, однак не відповідає умовам середньосерійного виробництва (0,75-0,85). Верстат на операціях 010-020 необхідно довантажити обробкою інших деталей (крім тих, що враховані в приведеній програмі).

Дільниця механічної обробки повинна містити 6 верстатів, що обслуговуються 5 основними і 4 допоміжними працівниками. Всі працівники (крім основних робітників-верстатників) не завантажені роботою на даній дільниці і вони обслуговують ще інші дільниці.

**5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ
ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»**

5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки [2]

Технологічний аудит проводять з метою оцінки комерційного потенціалу розробки, яка була розроблена і створена в результаті науково-технічної діяльності.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів, які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	«0»	«1»	«2»	«3»	«4»
1	2	3	4	5	6
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки потрібно звести в таблицю за зразком таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	1
2	1	2	1
3	2	2	3
4	1	1	2
5	2	3	3
6	2	1	2
7	4	3	3
8	2	1	2
9	3	4	3
10	2	3	2
11	2	4	2
12	3	4	4
Сума балів	СБ ₁ = 26	СБ ₂ = 30	СБ ₃ = 28
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{26 + 30 + 28}{3} = 28$		

Згідно таблиці 5.2 розробка має рівень комерційного потенціалу середній.

Так як в даній розробці використовується стандартне обладнання, то всі дії можуть виконуватися на підприємстві.

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

Потенційними покупцями нового товару можуть бути малі та середні машинобудівні та ремонтні підприємства з дрібносерійним, серійним та великосерійним виробництвом, які мають на меті виготовляти деталі.

Так як дане інноваційне рішення проектується, розраховується і впроваджується лише на даному виробництві, то використовуватись воно буде лише на даному підприємстві.

Оцінювання рівня якості інноваційного рішення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанту інженерного рішення.

В даній магістерській роботі під час оцінювання якості продукції доцільно визначати абсолютний і відносний її рівні.

Абсолютний рівень якості інноваційного товару знаходять обчисленням вибраних для його вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати інноваційне рішення, вимоги замовника до нього, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо). Всі ці дані для кожного параметра заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри інноваційного рішення

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Кількість верстатів	9			40%
Кількість основних робітників	8			20%
Середній розряд робітників		7		10%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{я.а.} = \sum_{i=1}^n P_{Pi} \cdot \alpha_i, \quad (5.1)$$

де P_{ni} – числове значення i -го параметра інноваційного рішення; n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання; α_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

$$K_{x.a.} = 9 \cdot 0,4 + 8 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 8.$$

Визначимо відносний рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості аналогу (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	8	6	1,33	0,4
Кількість основних робітників, чол.	8	5	1,6	0,2
Середній розряд робітників	4	3,5	1,14	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,41	0,5	1,22	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,62	0,7	1,13	0,15
Собівартість заготовки, грн.	416,22	404,7	-	-

Відносні (одичні) показники якості з будь-якого параметра q_i , що занесено у відповідні колонки таблиці 5.3, визначаються за формулами:

$$q_i = \frac{P_{ni}}{P_{bi}}, \quad (5.2)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}}, \quad (5.3)$$

де P_{Hi} , P_{Bi} – числові значення i -го параметра відповідно нового і базового виробів.

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{н.в.} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.4)$$

$$K_{н.в.} = 1,33 \cdot 0,4 + 1,6 \cdot 0,2 + 1,14 \cdot 0,1 + 1,22 \cdot 0,15 + 1,13 \cdot 0,15 = 1,32.$$

Значення відносного показника якості інноваційного рішення більше одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару-конкурента.

Конкурентоспроможність продукції – це комплексна багатоаспектна характеристика товару, що визначає його переваги на ринку порівняно з аналогічними товарами-конкурентами як за ступенем відповідності конкретній потребі, так і за витратами на їх задоволення.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками для нашої інноваційної розробки є технічні параметри, а також економія підприємства на втратах від браку.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (K) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}}, \quad (5.5)$$

де $I_{т.п.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е.п.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (5.6)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Якщо $K > 1$, то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння; якщо $K < 1$, то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо $K = 1$, то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів.

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 1,32. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{404,7}{416,22} = 0,97.$$

Тоді, користуючись формулою (5.5), розрахуємо загальний показник конкурентоспроможності:

$$K = \frac{1,32}{0,97} = 1,36.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Ступиця ГБ 20.006» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»

5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу K , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [2]:

$$K = Z_o + Z_{дод} + Z_n + B_{буд} + B_{обз} + B_{тр} + B_{осн} + B_{инв} + B_{пу} + B_{не} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.; $Z_{дод}$ – додаткова заробітна плата розробників, грн.; Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.; $B_{буд}$ – вартість будівлі, що її займає діляниця, грн.; $B_{обз}$ – початкова вартість технологічного обладнання, грн.; $B_{тр}$ – початкова вартість транспортних засобів, грн.; $B_{осн}$ – початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів, грн.; $B_{инв}$ – вартість виробничого та господарчого інвентарю, грн.; $B_{пу}$ – вартість програм управління, грн.; $B_{не}$ – передвиробничі витрати, грн.; $B_{оз}$ – вартість оборотних засобів, грн.

5.2.2 Основна заробітна плата розробників

Витрати на основну заробітну плату розробників (Z_o) розраховують за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p} \text{ [грн.]}, \quad (5.8)$$

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p = 22$ дні.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.	Прим.
Керівник проекту	9500	431,82	10	4318,2	
Інженер-технолог	8500	386,36	8	3090,91	
Інженер-конструктор	8500	386,36	8	3090,91	
Економіст	8500	386,36	2	772,72	
Всього				z_o	11272,74

5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

Додаткова заробітна плата розраховується як 10...12% від основної заробітної плати розробників за формулою:

$$z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot z_o \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 11272,74 = 1127,274 \approx 1127,3 \text{ (грн.)}$$

5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок розробників z_n розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за формулою:

$$z_n = (z_o + z_{\text{дод}}) \cdot H_{zn} \text{ [грн.]}, \quad (5.10)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$z_n = (11272,74 + 1127,274) \cdot 0,22 = 2728 \text{ (грн.)}$$

5.2.5 Вартість будівлі, що її займає ділянка

У нашому випадку не передбачається будівництво ділянки, тому ми розрахуємо вартість переобладнання існуючої ділянки. В цьому випадку можна обчислити витрати на переобладнання власних старих приміщень для облаштування удосконаленого технологічного процесу за формулою:

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{пл}} \cdot S_{\text{заг}} \text{ [грн.],} \quad (5.11)$$

де $C_{\text{пл}}$ – приблизна вартість переобладнання 1 м² власних приміщень ($C_{\text{пл}} \approx 200 \dots 1000$ грн./м²);

$S_{\text{заг}}$ – загальна площа виробничої ділянки, м².

$$B_{\text{буд.}} = 600 \cdot 110 = 66000 \text{ (грн.)}$$

5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{обл}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i \text{ [грн.],} \quad (5.12)$$

де C_i – ціна придбання одиниці обладнання даного виду, марки, грн.;

$C_{\text{пр.}i}$ – прийнята кількість одиниць обладнання відповідного найменування, які встановлені на ділянці, шт.;

K_i – коефіцієнт, що ураховує доставку, монтаж, налагодження обладнання тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$; для промислових робіт $K_i = 1,3 \dots 1,5$);

k – кількість найменувань обладнання встановленого на ділянці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40	500000	3	1,1	1650000
2	Токарно-револьверний верстат з ЧПК високої точності 160НТ	600000	1	1,1	660000
Всього					2310000

Придбані верстати були у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 3 верстати 1П420ПФ30 – $3 \cdot 300000 = 900000$ (грн.);

- 1 верстат 2Р135Ф2 – 120000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 1020000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$O = 2310000 - 1020000 = 1290000 \text{ (грн.)}$$

5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

Для організації технологічного процесу додаткові транспортні засоби не плануються, тому їх вартість розраховувати не будемо.

5.2.8 Початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів

При укрупнених розрахунках витрати на інструмент і інше технологічне оснащення приймаються у відсотках від вартості основного технологічного обладнання і складають у серійному виробництві загального машинобудування – 10...15%.

Вартість інструментів і технологічного оснащення ($B_{то}$) розраховують за формулою:

$$B_{то} = B_{обл} \cdot \frac{K_n}{100\%} \text{ [грн.]}, \quad (5.13)$$

де $B_{обл}$ – балансова вартість обладнання, грн.;

K_n – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{то} = 1290000 \cdot 0,10 = 129000 \text{ (грн.)}$$

Вартість оснастки великої вартості ($B_{осв}$) становить 20...30% вартості інструменту і технологічного оснащення, і розраховується за формулою:

$$B_{осв} = (0,2...0,3) \cdot B_{то} \text{ [грн.]}; \quad (5.14)$$

$$B_{осв} = 129000 \cdot 0,25 = 32250 \text{ (грн.)}$$

Вартість контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів ($B_{кнт}$), не закріплених за окремими робочими місцями і обслуговуючих одночасно всю ділянку, встановлюють пропорційно вартості інструменту і технологічного оснащення в межах 6...12% та розраховують за формулою:

$$B_{кнт} = (0,06...0,12) \cdot B_{то} \text{ [грн.]}; \quad (5.15)$$

$$B_{кнт} = 0,1 \cdot 129000 = 12900 \text{ (грн.)}$$

Загальна вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів ($B_{осн}$) визначається за формулою:

$$B_{осн} = B_{то} + B_{осв} + B_{кнт} \text{ [грн.]}; \quad (5.16)$$

$$B_{осн} = 129000 + 32250 + 12900 = 174150 \text{ (грн.)}$$

5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

Розрахунки не ведуться адже інвентар залишається той самий що і до удосконалення.

5.2.10 Вартість програм керування

Вартість програм керування для обладнання з ЧПК (B_{ny}) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

$$B_{ny} = (0,05...0,1) \cdot B_{обз} \text{ [грн.];} \quad (5.17)$$

$$B_{ny} = 0,1 \cdot 1290000 = 129000 \text{ (грн.)}$$

5.2.11 Величина передвиробничих витрат

Так як передвиробничі витрати – це частина одноразових (пускових) витрат, що пов'язані із підготовкою та освоєнням виробництва. В даному випадку вони не враховуються, так як виробництво існує і виконується його модернізація.

5.2.12 Величина оборотних засобів

Оборотні засоби – це сукупність оборотних фондів виробництва і фондів обігу, що беруть участь у виробничому процесі. В існуючому виробничому процесі вони є в наявності і тому при удосконаленні окремих операцій технологічного процесу дільниці вони можуть не враховуватися.

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$K = 11272,74 + 1127,27 + 2728 + 66000 + 1290000 + 174150 + 129000 = 1674278,01 \text{ (грн.)}$$

5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

5.3.1 Сировина та матеріали

Для визначення потреби в матеріалах окрім їх номенклатури необхідно мати норми витрат матеріалів на одиницю продукції.

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» складає 404,7 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{вн}i}}{\eta_i} \text{ [грн.],} \quad (5.18)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеній i -й технологічній операції, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на визначеній i -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, $C_e = 2,99$ грн.;

$K_{\text{вн}i}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності на визначеній i -й технологічній операції, $K_{\text{вн}i} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i = 0,96$.

Проведені розрахунки бажано звести до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Токарно-револьверна з ЧПК, 1П420ПФ40	22	0,0882	4,83
010 Токарно-револьверна з ЧПК, 1П420ПФ30	30	0,0168	1,26
015 Токарно-револьверна з ЧПК, 160НТ	11	0,0244	0,67
020 Горизонтально-протягувальна, 7Б56	30	0,00038	0,03
Всього			Σ 6,79

5.3.3 Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \text{ [грн.],} \quad (5.19)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год;

t_i – час роботи робітника на визначеній i -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}} \text{ [грн.],} \quad (5.20)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, $M_M = 4173$ грн. (на 01.01.2019 р.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств машинобудування до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дні;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C = (4173 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 48 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Токарно-револьверна з ЧПК, 1П420ПФ40	0,1147	3	1,35	48	5,51
010 Токарно-револьверна з ЧПК, 1П420ПФ30	0,0329	3	1,35	48	1,58
015 Токарно-револьверна з ЧПК, 160НТ	0,0317	3	1,35	48	1,52
020 Горизонтально- протягувальна, 7Б56	0,00053	4	1,5	53,35	0,03
Всього					Σ 8,64

5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

Розраховується як 10...12% від основної заробітної плати робітників:

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (5.21)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 8,64 = 0,864 \text{ (грн.)}$$

5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок робітників Z_n розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{zn} \text{ [грн.]}, \quad (5.22)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$Z_n = (8,64 + 0,864) \cdot 0,22 = 2,09 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{\text{заг}} = H_{\text{зв}} \cdot Z_p \text{ [грн.];} \quad (5.23)$$

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 8,64 = 21,6 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	404,7	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	6,79	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	Z_p	8,64	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$Z_{\text{дод}}$	0,864	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	Z_n	2,09	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	21,6	
Всього	S_B	444,68	

5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

$$C_{\text{нп}} = S_e \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) \text{ [грн.],} \quad (5.24)$$

де $C_{\text{нп}}$ – нижня межа ціни реалізації виробу, грн.;

S_e – виробнича собівартість виробу, грн.;

P – нормативний рівень рентабельності, рекомендується приймати $P = 5...20\%$;

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 1.10.2019 року, $w = 20\%$.

Необхідність врахування податку на додану вартість виникає у зв'язку з тим, що коли буде встановлюватись верхня межа ціни, а потім договірна ціна, то ціна базового виробу зазвичай містить цей податок.

$$C_{\text{вир}} = 444,68 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 640,34 \text{ (грн.)}$$

5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ($C_{\text{вир}}$) захищає інтереси споживача і визначається тією ціною, яку споживач готовий сплатити за продукцію з кращою споживчою якістю.

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється $C_{\text{вир}} = 640,34$ грн.

5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

При модернізації технологічного процесу розрахунок величини чистого прибутку, який отримає виробник протягом одного року, розраховується за формулою:

$$\Pi = \left\{ \left[C_{\text{дог}} - \frac{(C_{\text{дог}} - M) \cdot f}{100} - S_B - \frac{q \cdot S_B}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (5.25)$$

де $C_{\text{дог}}$ – договірна ціна реалізації виробу, грн.;

M – вартість матеріальних ресурсів, які були придбані виробником для виготовлення одиниці виробу, грн.;

S_e – виробнича собівартість виробу, грн.;

f – зустрічна ставка податку на додану вартість, $f = 16,67\%$;

h – ставка податку на прибуток, $h = 18\%$;

q – норматив, який визначає величину адміністративних витрат, витрат на збут та інші операційні витрати, $q = 5...10\%$;

N – число виробів, які планується реалізувати за рік, шт.

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[640,34 - \frac{(640,34 - 404,7) \cdot 16,67}{100} - 444,68 - \frac{10 \cdot 444,68}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 75470 = \\ &= 6925645,37 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

При оцінці ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників, як: чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект); внутрішня норма дохідності (прибутковості); індекс прибутковості; термін окупності.

5.6.1 Розрахунок чистого дисконтованого доходу

Дана модернізація передбачає одноразові капітальні вкладення, тому NPV можна визначити за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.]}, \quad (5.26)$$

де Π_t – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у t -му році функціонування проекту, грн.;

K – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення (проект), грн.;

d – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції;

n – термін протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

t – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$NPV = \frac{6925645,37}{(1+0,2)^1} + \frac{6925645,37}{(1+0,2)^2} - 1674278,01 = 8906569,08 \text{ (грн.)}$$

Враховуючи, що $NPV > 0$, то проект можна рекомендувати до реалізації.

5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

Мінімальне можливе значення внутрішньої норми доходності проекту IRR_{MIN} розраховується такою формулою:

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (5.27)$$

де Π_t – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у t -му році функціонування проекту, грн.;

A_t – амортизаційні відрахування у t -му році функціонування проекту на обладнання, яке безпосередньо було використано для розробки інноваційного рішення, грн.;

K – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення (проект), грн.;

n – термін протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

t – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[2]{\frac{6925645,37 + 6925645,37}{1674278,01}} - 1 = 1,88.$$

5.6.3 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності капітальних вкладень (або додаткових капітальних вкладень) розраховується за формулою:

$$T_o = \frac{\Delta K(K)}{П} \text{ [років]}, \quad (5.28)$$

де K – величина капітальних вкладень для розробки нової технології грн.,
 ΔK – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

$П$ – прибуток, отриманий виробником за 1 рік продажу продукції, виробленої з застосуванням нового технологічного процесу, грн.

$$T_o = \frac{1674278,01}{6925645,37} = 0,24 \text{ (року)}.$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006», які включають витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали тощо.

За результатами всіх розрахунків виявлено, що для впровадження удосконаленого технологічного процесу потрібно 1674278,01 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 6925645,37 грн., термін окупності 0,24 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» доцільне для впровадження.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз умов праці

При механічній обробці в процесі виготовлення деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» виникає ряд фізичних, хімічних, психофізіологічних і біологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [21, 22].

Фізичні небезпечні чинники:

- рухомі частини виробничого устаткування, що пересуваються, вироби і заготовки;
- стружка оброблюваних матеріалів, уламки інструментів, висока температура поверхні оброблюваних деталей і інструмента;
- підвищена напруга в електромережі, при якій може відбутися замикання через тіло людини.

Так, при опрацюванні крихких матеріалів (чавуну, латуні, бронзи та ін.) на високих швидкостях різання, стружка від верстата розлітається на відстань (3-5 м). Металева стружка, особливо в'язких металів (деталей), що має високу температуру (400-600°C) і велику кінетичну енергію, має серйозну небезпеку не тільки для працюючого, але і для осіб, що знаходяться поблизу верстата. Найбільш поширеними у верстатників є травми очей.

Фізичними шкідливими виробничими факторами, характерними для процесу різання, є підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; високий рівень шуму і вібрації; недостатня освітленість робочої зони; наявність прямого і відбитого блиску; підвищена пульсація світлового потоку. При відсутності засобів захисту запиленість повітряного середовища в зоні дихання при фрезеруванні крихких матеріалів може перевищувати гранично допустимі концентрації. При фрезеруванні латуні і бронзи кількість пилу в повітрі приміщення досить невелика (14,5-20 мг/м³). Проте деякі сплави (латунь ЛЦ40С і бронза Бр. ОЦС) містять свинець, тому токсичність пилу, що утворюється при їхньому фрезеруванні може перевищувати ГДК.

При роботі тупим ріжучим інструментом відбувається інтенсивне нагрівання внаслідок чого з змащувально-охолоджуючої речовини виділяються

шкідливі гази, що є хімічним шкідливим виробничим фактором. Аерозоль нафтових масел, що входять до складу змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР), може викликати подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів, сприяти зниженню імунобіологічної реактивності.

До психофізіологічних шкідливих виробничих факторів процесів обробки матеріалів різанням можна віднести фізичні перевантаження при установці, закріпленні і зніманні деталей, перенапруження зору, монотонність праці.

До біологічних чинників відносяться хвороботворні мікроорганізми і бактерії, що виділяються при роботі з ЗОР.

6.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Показники мікроклімату в виробничих приміщеннях нормуються для теплого та холодного періодів року згідно категорій робіт відповідно ГОСТ 12.1.005-88. Роботи, які виконуються, відносяться до категорії Пб.

Оптимальні показники мікроклімату визначаються на всю робочу зону, допустимі – диференційовано для постійних і непостійних робочих місць.

Якщо по технологічним вимогам, технічним і економічним причинам оптимальні норми не забезпечуються, то встановлюються допустимі величини показників мікроклімату відповідно до ГОСТ 12.1.005-88. Оптимальні і допустимі показники згідно ГОСТ 12.1.005-88 приведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Оптимальні і допустимі показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		оптим.	доп.	оптим.	доп.	оптим.	доп.
Холодний	Пб	17-19	15-21	40-60	75	0,2	<0,4
Теплий	Пб	20-22	16-27	40-60	70-25	0,3	0,2-0,5

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від відкритих джерел не повинна перевищувати 100 Вт/м^2 при опроміненні тіла до 25%. Це забезпечується тим, що працівникам видають спеціальний одяг, який захищає людину від

теплового опромінення. Джерела інтенсивного теплового опромінення огорожуються захисними огорожами.

В приміщенні механічного цеху повинна бути встановлена система опалення на холодний період року, а саме: водяне опалення.

В повітрі робочої зони в результаті технологічних процесів та роботи обладнання виділяються шкідливі речовини – пари мастил, окис заліза та двоокис кремнію при обробці різанням тощо. Для видалення з приміщення шкідливих речовин потрібно застосувати такі заходи, як приточно-витяжну вентиляційну систему; застосовувати природну вентиляцію.

6.2.2 Освітлення

Нормування природного освітлення відповідно до СНіП II-4-79:

- характеристика зорової роботи: робота дуже високої точності;
- найменший розмір об'єкту розрізнення: від 0,15 до 0,3 мм;
- розряд зорової роботи: II б;
- вид природного освітлення: бокове;
- КПОн = 2,5% (для суміщеного освітлення КПОн = 1,5%);
- пояс світлового клімату – 4 (північніше 50° широти), коефіцієнт світового клімату $m = 0,9$;
- так як вікна орієнтовані на північ і південь, то азимут 90, звідки коефіцієнт сонячності $c = 0,75$;
- нормоване значення КПО для даного поясу світлового клімату – 1,0125%.

Нормування штучного освітлення:

- характеристика зорової роботи: робота дуже високої точності;
- найменший розмір об'єкту розрізнення; від 0,15 до 0,3 мм;
- розряд зорової роботи: II б;
- характеристика фону: середній;
- контраст з об'єктом розрізнення: середній;
- освітленість при загальному освітленні повинна дорівнювати 750 лк, при комбінованому 3000 лк.

На верстатах використовуємо для місцевого освітлення лампи розжарювання.

Розрахунок локального (місцевого) освітлення зони різання.

Розрахунок проводимо за точковим методом.

Необхідна освітленість

$$E'_A = \frac{I_e \cdot \cos\alpha}{r^2} = \frac{148 \cdot \cos 34,99}{1,22^2} = 81,41 \text{ (лк)}.$$

де I_e – сила світла в напрямку променя від джерела світла на розрахункову точку робочої поверхні.

Фактична освітленість:

$$E_A^\phi = E'_A \cdot \frac{\Phi \cdot \mu}{10^3 \cdot K} = 81,46 \cdot \frac{1180 \cdot 1,2}{1,22^2} = 76,89 \text{ (лк)}.$$

де μ – коефіцієнт впливу віддалених світильників, приймаємо $\mu = 1,2$.

Так як на розрахункову точку падає світло декількох світильників, то визначаємо сумарну освітленість за формулою:

$$E_\Sigma = 2 \cdot E_A^\phi = 2 \cdot 76,89 = 153,78 \text{ лк} > 150 \text{ лк}.$$

Отже, вибираємо лампи ЛБ 20-4 з потужністю 20 Вт і світловим потоком $\Phi = 1180$ тривалістю горіння $10 \cdot 10^3$ годин.

Природне освітлення проводиться через вікна розмірами $3,5 \times 3,2$ м.

6.2.3 Виробничий шум

Шум має великий вплив на працездатність людини. Джерелами шуму на розглядає мій ділянці є працююче обладнання, шум з сусідніх ділянок та шум автотранспорту.

Для постійних робочих місць у виробничих приміщеннях і території підприємства допустимі рівні звукового тиску згідно ГОСТ 12.1.003 - 83 наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Допустимі рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньо герметичними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	82	82	78	75	73	71	69	80

Для зниження шуму у виробничих приміщеннях застосовують різні методи: зменшення рівня шуму в джерелі його виникнення; звукопоглинання і звукоізоляція; установка глушників шуму; раціональне розміщення обладнання; застосування засобів індивідуального захисту.

6.2.4 Виробничі вібрації

В механічному цеху має місце локальна вібрація, яка передається через руки робітника, що працює за верстатом.

По часовій характеристиці – вібрація непостійна. По направленню дії вібрація відноситься до направленої вздовж осі передпліччя. Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора верстату відповідно до ГОСТ 12.1.012-90 вказані в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора верстата

Категорія вібрацій по санітарним нормам і критерії оцінки	Характеристика умов праці	Джерела вібрації
3 тип «а»	Технологічні вібрації діючі на операторів стаціонарного обладнання або що передаються на робочі місця, які не мають джерел вібрації	Металорізальні верстати

Таблиця 6.4 – Санітарні норми однотипних показників вібраційного навантаження на оператора

Вид вібрації	Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні і кореговані по частоті та еквівалентні кореговані значення			
			Вібраційне прискорення		Віброшвидкість	
			м/с ²	рівень дБ	м/с	рівень дБ
Локальна	3 тип "а"	Z ₀ , X ₀ , Y ₀	2,0	126	2,0	112
Загальна			0,1	100	0,2	92

Так, як норми показників вібрації не дотримані, то для забезпечення вібробезпеки потрібно використовувати вібродемпфування.

Вібродемпфування – рівень вібрації зменшується за рахунок перетворення енергії механічних коливань в теплову енергію. На віброуючі частини наноситься шар пружнов'язкого матеріалу.

6.3 Техніка безпеки

З метою захисту верстатника від можливого отримання травм, пов'язаних з виділенням металічних частинок (стружки, осколків інструмента при його поломці), а також з розбризкуванням змащувально-охолоджувальної рідини при роботі на верстаті, передбачається індивідуальний захист працюючого – наявність захисного екрану, захисних окулярів. Робоче місце верстатника повинно бути закрито екраном для запобігання вилітання частинок стружки і уламків інструменту.

Розробка технологічної документації, організація і виконання технологічних процесів повинні відповідати вимогам системи стандартів безпеки праці.

Для охолодження зони різання допускається використовувати мінеральне мастило з температурою спалаху не нижче 150 °С, вільне від кислот і вологи. ЗОР повинна попадати в зону різання методом розпилення.

Ріжучий інструмент і елементи його кріплення (болти, гайки, фланці) повинні бути закриті кожухами, міцно закріпленими на верстаті.

Після закінчення роботи потрібно прибрати робоче місце стружкоприймачем.

6.3.1 Електробезпека

Експлуатація більшості машин в механічному цеху пов'язана з використанням електричної енергії.

По степеню ураження електричним струмом згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) механічний цех належить до приміщень з підвищеною

небезпекою ураження людей електричним струмом тому що підлога бетонна, тобто струмоведуча.

З метою захисту робочих проводять організаційні міри, такі як проведення інструктажів по техніці безпеки (ввідного, первинного, при необхідності повторного – позапланового, цільового), нанесення символів і інших запобіжних надписів на електроустановках. Верстат підключений до трифазного чотирьохпровідного джерела з заземленою нейтраллю змінного струму напругою 220/380 В, тому згідно ГОСТ 12-1-030-81, необхідно використовувати занулення.

6.4 Пожежна безпека

В якості робочої рідини використовується мінеральне мастило. Температура спалаху у нього більше 61 °С тому дане виробництво слід віднести до категорії «В». В відповідності з ДБН В.2.1.1-2002 приміщення має ступінь вогнестійкості – II, допустиме значення поверхів – фактично I, площа поверху не обмежується. Межі вогнестійкості будівлі II ступеня стійкості, м:

Стіни	межа вогнестійкості
Несучі і сходові клітки	2
Самонесучі	1
Зовнішні не несучі	0,25
Колони	2
Сходові площадки, ступені, балки	1
Плити, настили і інші перекриття	0,25
Елементи покриття:	
Плити, настили, прогони	0,25
Балки, ферми, арки	0,25

Для забезпечення гасіння пожежі в початковому стані його джерело треба встановити найшвидше, тому встановлюємо внутрішній пожежний кран.

З метою забезпечення пожежобезпеки слід контролювати установку по допускній температурі, так як в ній використовується мінеральне мастило, а також не допускати перегріву електродвигунів.

В приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій повинна бути не менша 2,2 м. Висота від підлоги до низу виступаючих частин конструкцій

і обладнання у місцях регулярного проходження людей і на шляхах евакуації – не менше 2 м.

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях споруд, через евакуаційні виходи. Кількість евакуаційних виходів з будівель слід приймати не менше двох.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця приміщення до евакуаційного виходу із будівлі для даного приміщення згідно ДБН В.2.1.1-2002 не обмежується. Ширина виходу із приміщення: через двері – 1 м, через розсувні ворота – 2,5 м. Кількість людей на 1 метр складає близько 10 чоловік. Згідно ДБН В.2.1.1-2002 кількість до 120 чоловік. В механічному цеху знаходиться пожежний щит з вогнегасником, сокирою, лопатою, відром, біля щита ящик з піском.

6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

6.5.1 Дія електромагнітних та іонізуючих випромінювань електронні пристрої.

Дія електромагнітного імпульсу характеризується генерацією дуже короткого (сотні наносекунд), але інтенсивного електромагнітного випромінювання, яке розповсюджується від джерела з інтенсивністю, що зменшується, у відповідності з теорією електромагнетизму. Створюване імпульсом поле може бути достатньо потужним, щоб спричинити виникнення короткочасних перенапружень в електричних провідниках, таких як дроти або провідні доріжки друкованих схем.

Це може спричинити необоротні пошкодження широкого спектру електричного і електронного обладнання, особливо комп'ютерів і радіо або радарних приймачів. Залежно від електромагнітної стійкості електроніки, вона може бути необоротно пошкоджена або, іншими словами, електрично знищена. Комп'ютери, використовувані в системах обробки даних, комунікаційних системах, системах відображення інформації, системах промислового контролю,

включаючи системи сигналізації автомобільних і залізних доріг, і комп'ютери, вбудовані у військове устаткування, таке, як сигнальні процесори, системи контролю польотів, цифрові системи контролю двигунів є потенційно уразливими до дії ЕМІ.

Джерелами іонізуючих випромінювань є радіоактивних елементи і їх ізотопи, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок та ін. Рентгенівські установки і високовольтні джерела постійного струму відносяться до джерел рентгенівського випромінювання.

Дія іонізуючих випромінювань на елементну базу радіоелектронних пристроїв та інформаційних систем як правило викликає зміну практично всіх електричних і експлуатаційних характеристик їх елементів. Цей процес залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів зі зміною перехідних струмів в р-п переходах транзисторів, вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів, опорів транзисторів, ємностей конденсаторів, тощо.

Наслідком дії іонізуючих випромінювань на електронні системи може бути миттєва втрата працездатності при критичних рівнях радіації або розвиток відновлюваних чи невідновлюваних змін через деякий час після початку опромінення при рівнях радіації значно нижчих від критичних.

Сучасне обладнання загального та промислового призначення містить в собі значну кількість електронного обладнання, тому необхідно приділяти достатньо уваги питанням збереження його функціональності в умовах дії іонізуючого та електромагнітного випромінювань.

6.5.2 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах дії електромагнітних випромінювань.

Оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії електромагнітних можна за допомогою коефіцієнта безпеки

$$K_B = 20 \lg \frac{U_D}{U_{B(\Gamma)}},$$

де U_D – допустиме коливання напруги живлення системи, В;

$U_{B(\Gamma)}$ – напруга створена електромагнітним випромінюванням, відповідно, у вертикальних чи горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК, В.

Безпечною робота системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань буде у випадку, коли $K_{\text{БГ}} \geq 40$ дБ.

Допустиме коливання напруги живлення для системи ЧПК складає

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N = 18 + \frac{18}{100} \cdot 2 = 18,36(\text{В}),$$

де $U_{\text{ж}} = 18$ В – номінальна напруга живлення системи;

$N = 5\%$ – допустимі відхилення напруги.

Основна частина струмопровідних елементів системи ЧПК розміщена в горизонтальній площині, їх максимальна довжина між елементами становить близько 0,5 м.

Допустима величина наведеної електромагнітним полем напруги в горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК

$$K_{\text{БГ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\Gamma}},$$

Тоді

$$40 = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\Gamma}}; \quad \frac{U_{\text{д}}}{U_{\Gamma}} = 10^{\frac{40}{20}};$$

$$U_{\Gamma} = \frac{U_{\text{д}}}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{18,36}{100} = 0,1836(\text{В}).$$

Звідки максимально допустиме значення вертикальної складової напруженості електричного поля

$$E_{\text{в}} = \frac{U_{\Gamma}}{l_{\Gamma}} = \frac{0,1836}{0,5} = 0,3672 \text{ В/м}$$

Отже, безпечна робота системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах дії

електромагнітних випромінювань буде забезпечена, якщо значення вертикальної складової напруженості електричного поля не перевищуватиме 0,3672 В/м.

6.5.3 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Критерієм, що дозволяє оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань, є максимальне значення потужності дози, яка може зумовити виникнення змін в елементній базі системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Аналіз принципової схеми системи ЧПК показав, що елементами без яких неможливе її нормальне функціонування є: інтегральні схеми, транзистори, конденсатори, резистори, діоди, діелектричні матеріали, кварцові елементи, магнітні матеріали, мікросхеми індуктивності та напівпровідники.

Граничне значення потужності дози гамма-випромінювання для системи за довідниковими даними складає $p_{cp} = 10^4$ Р/с.

Таблиця 6.5 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»

Елементи і матеріали системи ЧПК	Границя стійкості елементів системи ЧПК, $p_{гр.і},$ Р/с	Границя стійкості для системи ЧПК в цілому, $p_{гр},$ Р/с
Транзистори, діоди	10^5	10^4
Інтегральні схеми, напівпровідники	10^4	
Конденсатори, індуктивності	10^5	
Резистори	10^6	
Діелектричні матеріали	10^4	
Мікросхеми	10^4	
Магнітні матеріали	10^7	
Кварцові елементи	10^{10}	

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання визначається за формулою

$$P_{зр} = P_{зв} \cdot K_{пос} \cdot K_{над} = 10^4 \cdot 10 \cdot 0,95 = 9,5 \cdot 10^4 \text{ (P/c)},$$

де $P_{зв}$ – мінімальне значення рівня радіації, що може спричинити початок зворотних змін в елементах системи ЧПК;

$K_{пос} = 10$ – коефіцієнт послаблення радіації;

$K_{над} = 0,9 \cdot 0,95$ – коефіцієнт надійності роботи.

Проведений розрахунок показав, що безпечна робота системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечена, якщо в умовах експлуатації потужність дози іонізуючих випромінювань не перевищуватиме $9,5 \cdot 10^4$ P/c.

Висновок. Проведені розрахунки з оцінки безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань дають змогу зробити висновок, що система працюватиме безпечно в умовах дії цих чинників, якщо інтенсивності впливу іонізуючого та електромагнітного випромінювань не перевищуватимуть, відповідно, $9,5 \cdot 10^4$ P/c і 0,3672 В/м.

6.6 Висновки

В розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проаналізовано умови праці на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006», розглянуті організаційно-технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії, забезпечення безпечної роботи та протипожежного захисту, а також проведено оцінку безпеки роботи дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та економічно обґрунтовано удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006». При цьому поставлено і виконано такі завдання.

1. Визначено тип виробництва і форма організації роботи, виконано аналіз технологічності конструкції деталі, вибрано спосіб виготовлення заготовки з урахуванням техніко-економічного порівняння доцільних варіантів – лиття за виплавним моделями та лиття в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші). Для цих способів спроектовано заготовки та техніко-економічним порівнянням встановлено, що економічно доцільнішим варіантом є виготовлення заготовки литтям в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням суміші), оскільки вартість заготовки при цьому складає 404,7 грн., що менше у порівнянні з литтям за виплавним моделями – 416,22 грн.

2. Вибрано чистові і чорнові технологічні бази, спроектовано удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006», виконано розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу, вибрано припуски на механічну обробку, встановлено режими різання та норми часу на виконання переходів і операцій.

3. Технологічний маршрут механічної обробки заготовки розроблений на основі типових технологічних процесів виготовлення подібних деталей, що дало змогу прискорити процес проектування і покращити якість розробки. Обладнання вибрано з урахуванням нових тенденцій обробки різанням, з урахуванням можливості використання високопродуктивних методів. Саме тому акцент було зроблено на виборі верстатів з ЧПК. Вибір моделей верстатів, способів виготовлення заготовки виконано на основі техніко-економічних розрахунків, що дало можливість вибрати оптимальний варіант.

6. Для удосконаленого технологічного процесу розроблено план дільниці механічної обробки, яка по ходу технологічної обробки містить 6 верстатів, що обслуговуються 5 основними і 4 допоміжними працівниками; при обробці

приведеної програми побудовані графік завантаження обладнання та графік використання обладнання за основним часом.

7. Виконано аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на точність, що забезпечується під час тонкого розточування довгих отворів на настроєному верстаті.

8. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка настроєння і похибка, що зумовлена неточністю позиціювання при підведенні різального інструмента (різця) до початкової точки.

9. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця, зменшується до рівня похибки позиціювання поперечного супорта верстата завдяки використанню програмованої корекції інструмента. Встановлено, що за період між введенням корекції різця на величину дискети слід обробити 23 заготовки.

10. Обробка на токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 160НТ гарантовано забезпечує задану точність розміру $\varnothing 50H7^{(+0,025)}$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 19 мкм.

11. Для переходу, що розглядається, визначено кількісне значення коефіцієнта уточнення, яка узгоджується з рекомендаціями [16].

12. Виконані розрахунки капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу та дільниці для його реалізації, які склали 1674278,01 грн. Визначено собівартість продукції, річний економічний ефект від впровадження удосконаленого технологічного процесу склав 6925645,37 грн. На основі отриманих даних спрогнозовано термін окупності впровадження технологічного процесу – 0,24 року, що не перевищує рекомендованого значення 3-5 років.

13. В розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проаналізовано умови праці на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006», розглянуті організаційно-технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії, забезпечення безпечної роботи та протипожежного захисту, а також проведено оцінку безпеки роботи дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» в умовах надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
2. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні : навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.
3. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – Минск : ОО НД «Альянс», 2007. – 256 с.
4. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 148 с.
5. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. – [Чинний від 1987-07-01] М. : Изд-во стандартов, 1987. – 53 с.
6. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.
7. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
8. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2. Практикум : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев [и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
11. Барановський Ю. В. Режимы резания металлов: Справочник. Ю. В. Барановський, Л. А. Брахман, Ц. З. Бродский [и др.] ; / под ред. Ю. В. Барановського. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.
12. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть I. Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 206 с.
13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 473 с.
14. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Маталин А. А. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
15. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения / Солонин И. С. – М. : Машиностроение, 1972. – 216 с.
16. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
17. Ящерицын П. И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении / Ящерицын П. И. — Минск :Вышэйшая школа, 1974. – 607 с.
18. Г. С. Писаренко Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.
19. Порівняльний аналіз точності обробки отвору остаточним розточуванням на токарному верстаті з ручним та числовим програмним керуванням / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, Р. Ю. Басистюк, К. Ю. Казарян // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів

ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7410>.

20. Мельников Г. Н. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Г. Н. Мельников, В. П. Вороненко ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

21. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах і роботах студентів технічних спеціальностей / Уклад. І. В. Віштак. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 45 с.

22. Безопасность труда в промышленности / К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р. В. Саборно [и др.] – К. : Техника, 1982. – 228 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

ВНТУ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри _____ ТАМ
назва кафедри (скорочено)

_____ д.т.н., проф. Л. Г. Козлов
підпис науковий ступінь, наукове звання, ПІБ

« _____ » _____ 201_ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «СТУПИЦЯ ГБ 20.006»

08-26.МКР.010.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., проф. каф. ТАМ

Дерібо О. В. _____

« _____ » _____ 201_ р.

Виконавець: ст. гр. 1ПМ-18м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Казарян К. Ю. _____

« _____ » _____ 201_ р.

1 Підстави для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) актуальність розробки обумовлена тим, що в сучасних умовах розвитку машинобудівної галузі необхідно приймати прогресивні інженерні рішення при проектуванні технологічних процесів механічної обробки деталей виробів з метою забезпечення їх точності, надійності, довговічності, економічності;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2 Мета і призначення МКР

а) мета – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» та порівняльний аналіз техніко-економічних показників обробки заготовок партії деталей на верстатах з ЧПК з побудовою технологічних маршрутів з використанням на фінішній операції абразивної обробки і точної лезової обробки, а також виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК і визначення коефіцієнта уточнення, який досягається такою обробкою;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3 Джерела розробки: завдання на МКР, дане технічне завдання, довідникова та технічна література, існуючий аналог.

4 Вхідні дані для виконання МКР

При виконанні МКР в якості вхідних даних було задано:

- деталь типу «Ступиця ГБ 20.006»;
- річна програма випуску розрахункового представника – 5000 шт.;
- приведена програма – 75470 шт.;
- матеріал деталі – сталь 45л ГОСТ 1050-88;
- серійність виробництва – середньосерійне;
- необхідність розгляду альтернативних варіантів виготовлення заготовки деталі та вибору найбільш оптимальної;
- необхідність проектування альтернативних варіантів технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Ступиця ГБ 20.006» на базі автоматизованого обладнання з вибором оптимального варіанту.

5 Вимоги до виконання МКР

МКР повинна бути виконана в задані терміни згідно завдання, затвердженого кафедрою ТАМ та замовником (якщо тема виконана за завданням підприємства).

При виконанні МКР забезпечити прийняття прогресивних інженерних рішень, що забезпечать досягнення поставленої мети.

Магістерська кваліфікаційна робота повинна складатися з 2-х частин:

1-а частина – розрахунково-пояснювальна записка;

2-а частина – графічна.

Склад кожного розділу (частини) наведений у рекомендованому змісті та основних вимогах до оформлення МКР, розроблених та затверджених кафедрою технологій та автоматизації машинобудування (ТАМ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ).

6 Етапи та стадії розробки

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 4 основних частин:

- спеціальна;
- економічна частина;
- охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях;
- графічна.

На кожну частину, завдання видає викладач відповідної кафедри, контролює процес роботи та візує виконану роботу підписом у бланку завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками	02.09.19 р.	22.10.19 р.	Формування задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Огляд технології виготовлення деталі типу «Фланець»	02.09.19 р.	22.10.19 р.	Об'єкт дослідження, розділ 1
3	Спеціальна частина Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006». Аналіз точності обробки, що забезпечується тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК високої точності. Розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006».	04.10.19 р.	28.11.19 р.	розділ 2, 3, 4 публікація результатів
4	Підготовка економічної частини	04.10.19 р.	02.12.19 р.	розділ 5, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	04.10.19 р.	02.12.19 р.	розділ 6
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	04.10.19 р.	02.12.19 р.	пояснювальна записка

Загальне керівництво магістерською кваліфікаційною роботою здійснює викладач випускної кафедри, він же керує виконанням спеціальної частини.

7 Економічні показники: термін окупності; мінімальна ціна; річна потреба в продукції; економічна перевага в порівнянні з іншими.

8 Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, рецензія.

9 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, яка затверджена наказом ректора.

10 Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011 р.

11 Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту

ЗАТВЕРЖДУЮ
керівник МКР: к.т.н., професор каф. ТАМ

_____ Дерібо О. В.

« ____ » _____ 201_ р.

Технічне завдання

на удосконалення технологічного процесу та дільниці механічної обробки

Найменування та область застосування

Удосконалений технологічний процес та дільниця механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» призначена для механічної обробки поверхонь деталі згідно з кресленням, а також забезпечувати вимоги до точності деталі, що вказані в розділі «Технічні вимоги».

Дільниця механічної обробки повинна відповідати умовам безпечної роботи, передбаченими ГОСТ 12.2.029-77. Обладнання дільниці передбачається експлуатувати в приміщенні механоскладального цеху.

Підстава для проектування

Проектування дільниці механічної обробки деталі і удосконалення існуючого ТП механічної обробки на підставі технічного завдання до МКР, складеного керівником і затвердженого кафедрою ТАМ.

Мета і призначення розробки

Метою МКР є удосконалення існуючого базового ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» і проектування дільниці механічної обробки на базі сучасних технологій, обладнання і на основі наукової організації праці.

Джерела розробки

- Дійсне технічне завдання.
- Креслення деталі і заготовки.
- Базова маршрутна технологія механічної обробки деталі «Ступиця ГБ 20.006».
- Єдина система конструкторської та технічної документації.
- Загальні правила по розробці технологічних процесів вибір засобів технологічної оснастки згідно ГОСТ 14.301-83.

Технічні показники

Вхідні дані для проектування дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006»:

- річний об'єм випуску деталей – $N_p = 55000$ шт.;
- маса деталі – $m_d = 4,92$ кг;
- матеріал заготовки – сталь 45л ГОСТ 1050-88.

Технічні вимоги на деталь вказані в робочому кресленні, що додається до дійсного технічного завдання.

Виробнича дільниця служить для розміщення на ній верстатів, транспортних ліній, завантажувальних пристроїв, пристосувань та іншого допоміжного обладнання.

Верстати в лінії повинні бути розташовані у відповідності з технологічним процесом механічної обробки.

Дільниця повинна бути спроектована відповідно до вимог безпеки праці і пожежної безпеки.

Вимоги до забезпеченості використання дільниці механічної обробки, спроектованої на основі розробленого технологічного процесу

Спроектowana дільниця механічної обробки повинна передбачати безпечність праці. Верстати, та пристосування на дільниці мають бути розташовані таким чином, щоб вони не заважали роботі працівників, тобто рухомі елементи верстатів (затискні ручки, захисні щити, які відокремлюють працівника від небезпечних зон верстатів) не повинні перекривати зону руху працівників. Проходи між верстатами повинні бути спроектовані з врахуванням того, що там можуть бути тимчасові склади для заготовок та напівфабрикатів, та візків, які транспортують заготовки в процесі обробки деталей, але це не повинно заважати рухатись робітнику.

Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту

Дільниця механічної обробки має цехову ремонтну базу і технічне обслуговування та ремонт здійснювати згідно правил ППР. Кінцеву підналадку і регулювання виконувати після обробки пробних заготовок.

Економічні показники.

До економічних показників входять:

- термін окупності;
- собівартість одиниці продукції;
- величина капітальних вкладень;
- економічна перевага в порівнянні з іншими.

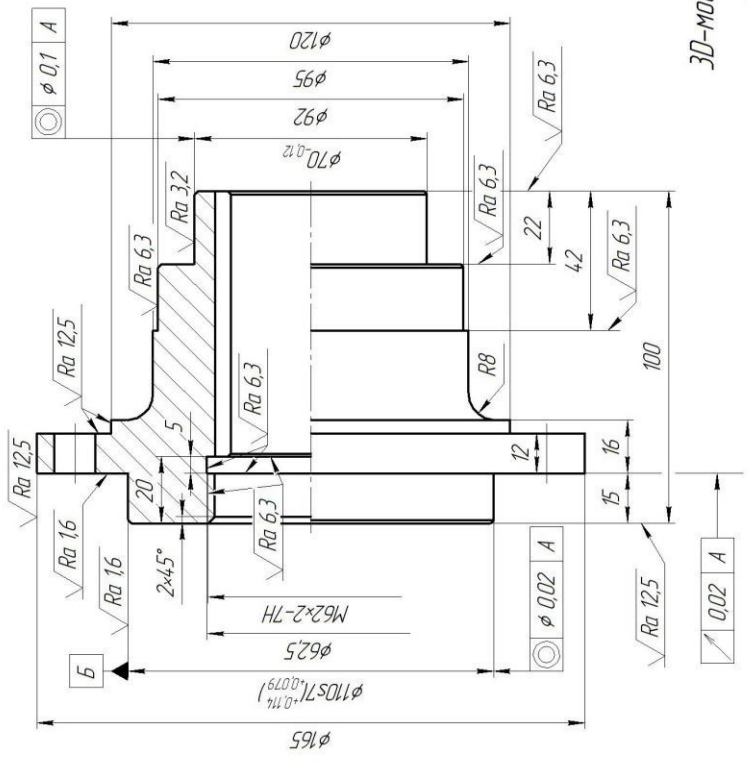
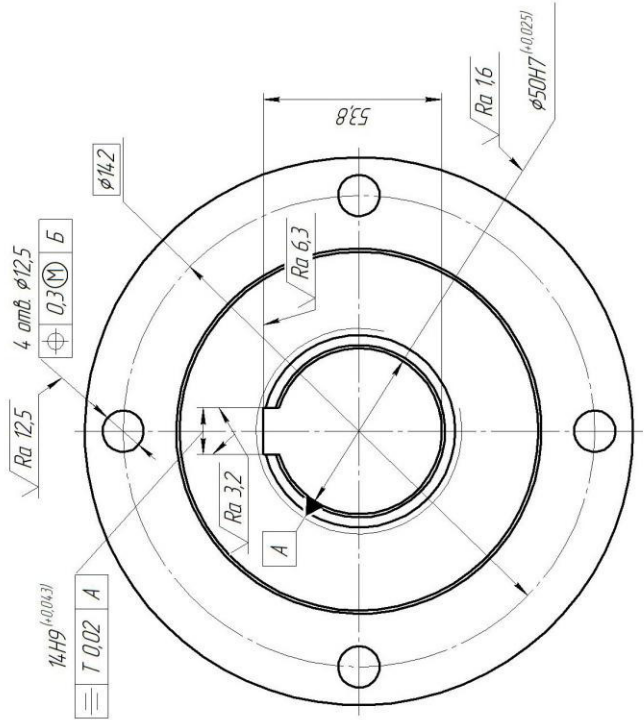
Стадії та етапи розробки.

Зміст розділів МКР і терміни їх виконання згідно дійсного ТЗ і положення кафедри по оцінці рівня і ритмічності виконання роботи.

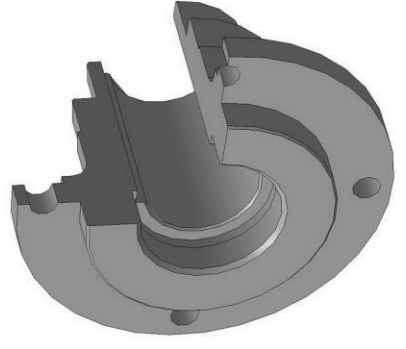
Додаток Б

Графічна частина

08-26.МКР.010.00.001



3D-модель детали



1. 250..280 HB.
2. Неблизки фаски 1x45°.
3. Неблизки граничны відхилення H14, h14, ±IT14/2.

08-26.МКР.010.00.001		Маса	4,92	11
Ступиця ГБ 20.006		Діаметр		1
Сталь 45Л ГОСТ 1050-88		Висота		180
		ст. зр.	10М-18М	

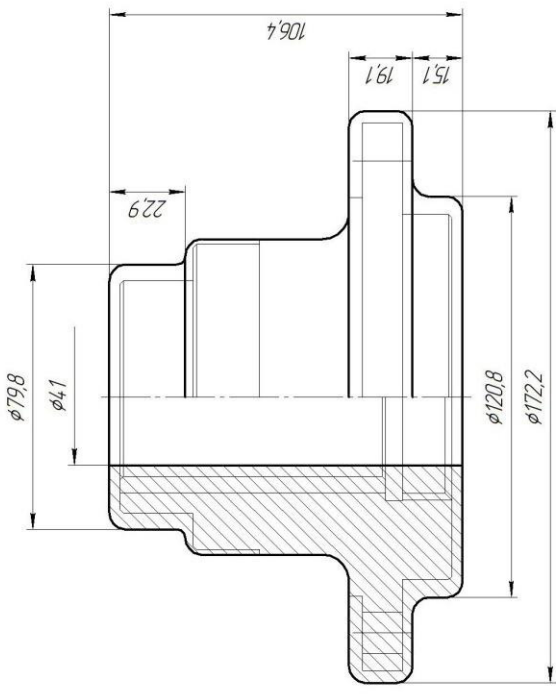
Ім'я/Ініціал	№ докум.	Лист	Кількість	Листів
Розроб.	Казарян К.Ф.			
Проєкт.	Левко О.В.			
Інженер				
Начальник	Семіх О.В.			
Уліт.	Козлов Л.І.			

Котировки

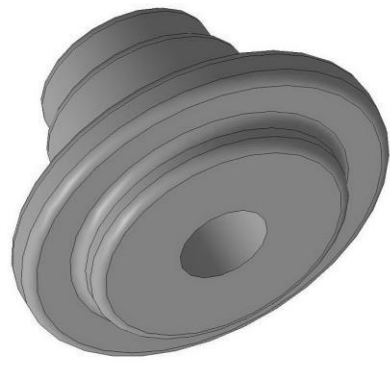
Формат А2

08-26.МКР.010.00.002

$\sqrt{Ra\ 50}$ (✓/1)



3D-модель заготовки



1. Точність вилітка 11м-8-15-11т. Зм. 0. ГОСТ 26645-85.
2. Маса 4,92-1691-0,72-7,331 ГОСТ 26645-85.
3. Невказані радіуси заокруглень 5-8 мм, формувальні нахили 1°13' (верхня частина), 1°42' (нижня частина).
4. Допускається раковина, густоти $\phi 2,2$ мм на глибини 2,3 мм.

08-26.МКР.010.00.002		Лист		Маса		Указатель	
Ступиця (вилібок)		7,331		11			
Сталь 45Л ГОСТ 1050-88		Лист		Листов		1	
		ВНТУ		ст. зр. 1ПМ-18М		Формат А2	

Лист № розд.	Лист в даної	Взам. шифр №	Лист № розд.	Лист в даної	Лист № розд.	Лист в даної
Лист № розд.	Лист в даної	Взам. шифр №	Лист № розд.	Лист в даної	Лист № розд.	Лист в даної
Лист № розд.	Лист в даної	Взам. шифр №	Лист № розд.	Лист в даної	Лист № розд.	Лист в даної

Маршрут механічної обробки заготовки деталі "Ступиця ГБ 20.006"

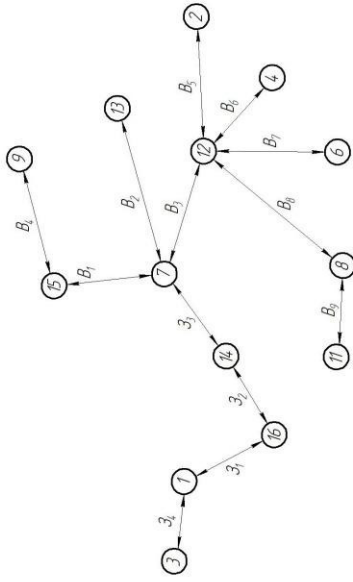
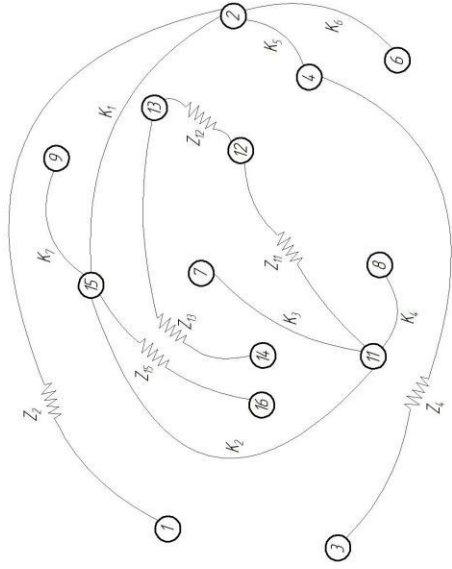
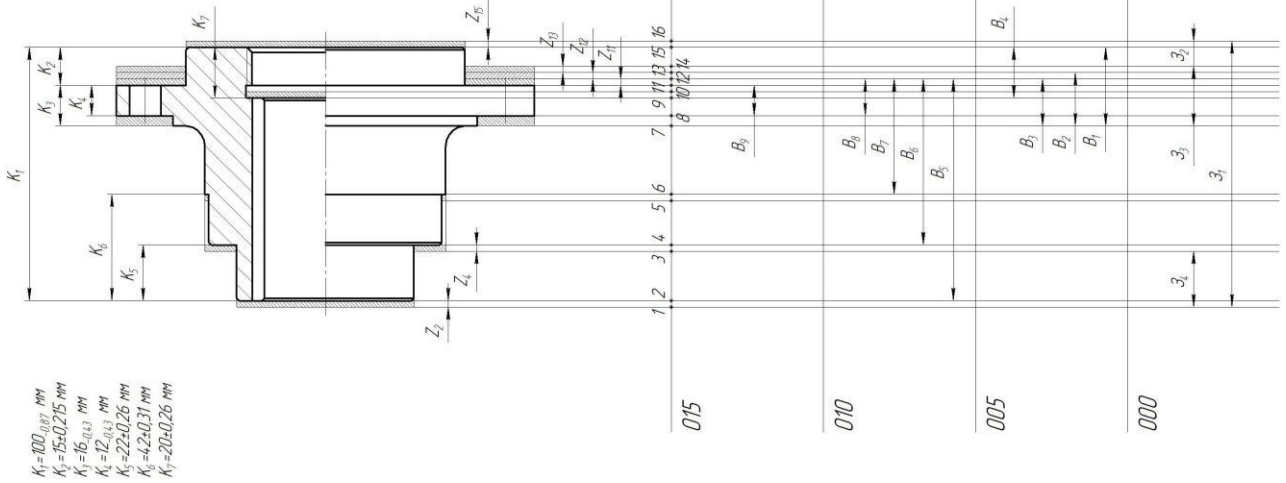
№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема установлення	Тип обладнання
005	<p style="text-align: center;"><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово згідно з ескізом, поверхню 3, торець 4 попередньо в розміри $\phi 111,058_{-0,54}$ мм, $18,68_{-0,52}$ мм. 3. Точити поверхню 3 попередньо в розмір $\phi 110,585_{-0,14}$ мм, торець 4 остаточно. 4. Точити поверхню 3 остаточно. 5. Розточити фаску 5, поверхню 6, торець 7 одноразово, поверхню 8 попередньо в розмір $\phi 48,105_{-0,62}$ мм. 6. Розточити канавку 9 одноразово. 7. Розточити фаску 10 одноразово, поверхню 8 попередньо в розмір $\phi 49,565_{-0,16}$ мм. 8. Розточити поверхню 8 остаточно. 9. Нарізати різь в отворі 6. 10. Центрувати 4 отв. 11 в розміри $\phi 5$ мм, 6 мм. 11. Свердлити 4 отв. 11. 12. Зняти заготовку. 	<p style="text-align: center;">A</p> <p style="text-align: center;">11 4 отв. $\phi 5$ $\pm 0,3$ М Б</p> <p style="text-align: right;">H14, h14, ±IT14/2.</p>	Токарно-револьверний з ЧПК ПП4.20ПФ40
010	<p style="text-align: center;"><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1, фаску 2 одноразово, поверхню 3 попередньо в розмір $\phi 71,27_{-0,74}$ мм, торець 4, фаску 5, поверхню 6, торець 7, поверхню 8, торець 9, поверхню 10 одноразово згідно з ескізом. 3. Точити поверхню 3 попередньо в розмір $\phi 70,27_{-0,19}$ мм. 4. Точити поверхню 3 остаточно. 5. Розточити фаску 11 одноразово. 6. Зняти заготовку. 	<p style="text-align: right;">H14, h14, ±IT14/2.</p>	Токарно-револьверний з ЧПК ПП4.20ПФ30

Маршрут механічної обробки заготовки деталі "Ступиця ГБ 20.006" (продовження)

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема устанавлення	Тип обладнання
015	<p style="text-align: center;"><i>Токарно-револьверна з ЧПК</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити поверхню 1, торець 2 одноразово згідно з ескізом. 3. Розточити отвір 3 одноразово згідно з ескізом. 4. Зняти деталь. 		Токарно-револьверна з ЧПК високої точності 160НТ
020	<p style="text-align: center;"><i>Горизонтально-протягувальна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Протягнути паз 1 згідно з ескізом. 3. Зняти заготовку. 		Горизонтально-протягувальний 7556

Розмірний аналіз технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу



Вихідний граф-дерево

Похідний граф-дерево

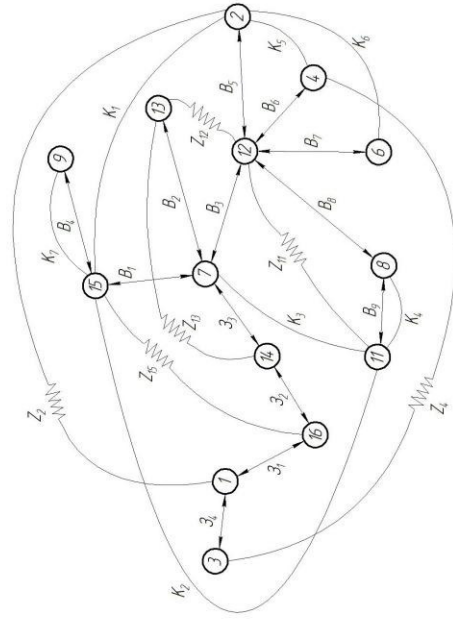
Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та їх допусків, мм

Початковий розмір	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру в технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	тип розмір	макс розмір				
B_1	31645	32265	0.62	32262	$32262_{-0.62}$	-
B_2	18.16	18.68	0.52	18.68	$18.68_{-0.52}$	-
B_3	16.83	17.26	0.43	17.26	$17.26_{-0.43}$	-
B_4	19.74	20.26	0.43	20	20 ± 0.275	-
B_5	84.745	85.615	0.87	85.615	$85.615_{-0.87}$	-
B_6	62.265	63.005	0.74	63.005	$63.005_{-0.74}$	-
B_7	42.435	43.055	0.62	43.005	$43.005_{-0.62}$	-
B_8	12.4	12.83	0.43	12.83	$12.83_{-0.43}$	-
B_9	11.57	12	0.43	12	$12_{-0.43}$	-
Z_1	108.95	112.55	3.6	112.55	-	$112.55_{+3.6}$
Z_2	13.085	15.285	2.2	14.185	-	$14.185_{+2.2}$
Z_3	21.18	23.38	2.2	23.38	-	$23.38_{+2.2}$
Z_4	19.71	22.11	2.4	20.91	-	$20.91_{+2.4}$

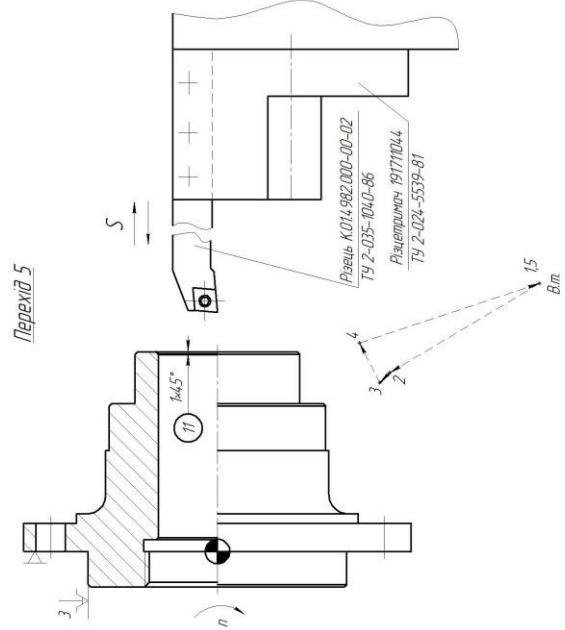
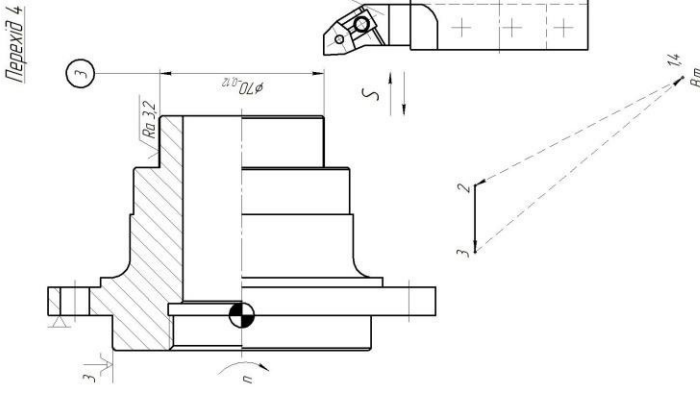
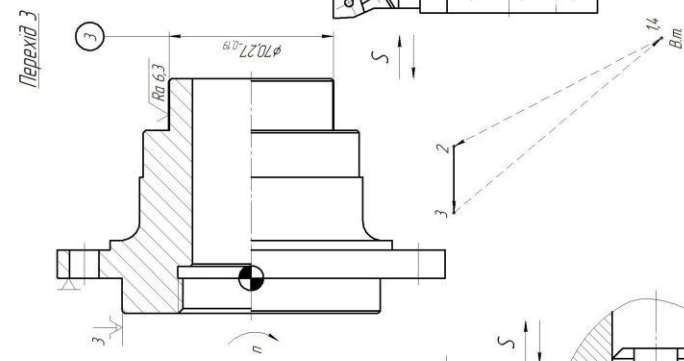
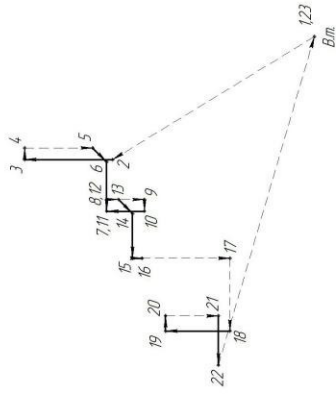
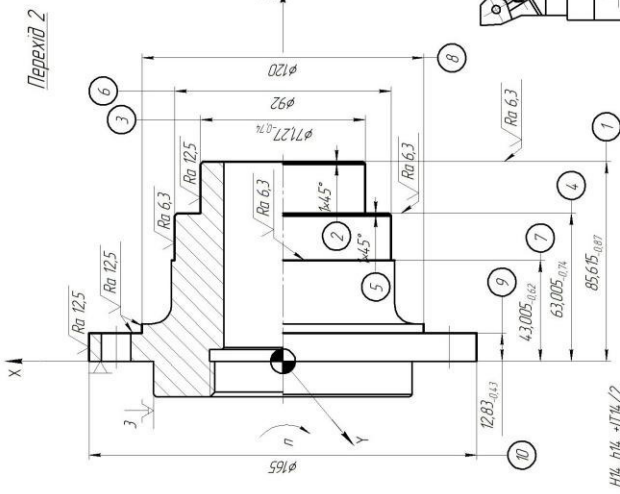
Значення припусків, мм

Припуски	Z_2	Z_1	Z_4	Z_3	Z_5	Z_6	Z_7
	Граничні значення	1.5	2.0	0.4	0.9	2.5	2.0
	Z_{min}	Z_{max}					
	10.8	12.805	1.26	1.85	5.22	7.02	

Суміщений граф



08-26 МКР 0100.300



5	Розрахунок фланцю 11 одвіразада	130.62	10	800	0.5
4	Точити паверина 3 асталоча	283.76	0.12	1200	0.1
3	Точити паверина 3 паперельча	177.6	0.35	800	0.5
2	Точити паверина 1, фланцю 2 одвіразада, паверина 3 паперельча, паверина 4, фланцю 5, паверина 6, паверина 7, паверина 8, паверина 9, паверина 10 одвіразада.	117.75 106.76 15.71 14.9.15 14.13 14.4.44 14.9.15 188.4 259.05 259.05	6.0 10 15 7.0 5.0 15 2.0 4.0 4.0	500 500 500 500 500 500 500 500 500	0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4
№	№	№	№	№	№
статус	статус	статус	статус	статус	статус
1/1	3	4	10	10	10
Облаштування					
Режими роботи					
08-26 МКР 0100.300					

Лист	№	Колір	№	№	№
1	1	1	1	1	1
Кодовий номер					
08-26 МКР 0100.300					
ВНТУ					
ст. дп. ПП-184					
Київ					

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

Мета роботи – виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК і визначення коефіцієнта уточнення, який досягається такою обробкою.

Для діаметрального розміру $\phi 50H7^{(+0,025)}$ мм сумарну похибку можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\text{пц}})^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пс}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{к}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{т}})^2} \quad [\text{МКМ}]. \quad (1)$$

Елементарні похибки

Похибка, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначено за формулою

$$\varepsilon_{\text{пц}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \quad [\text{МКМ}];$$

$$\varepsilon_{\text{пц}} = 0,5 \text{ МКМ.} \quad (2)$$

Похибка настроєння

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2} + \varepsilon_{\text{зм}}^2 \quad [\text{МКМ}], \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\text{р}} = 2 \text{ МКМ}; \quad \varepsilon_{\text{вм}} = 1 \text{ МКМ}; \quad \varepsilon_{\text{зм}} = 0,25 \text{ МКМ};$$

$$\varepsilon_{\text{н}} = 2,5 \text{ МКМ.}$$

Похибка позиціонування $\varepsilon_{\text{п.р.г.}} = 5 \text{ МКМ.}$

Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця $\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{к}} = 2 \text{ МКМ.}$

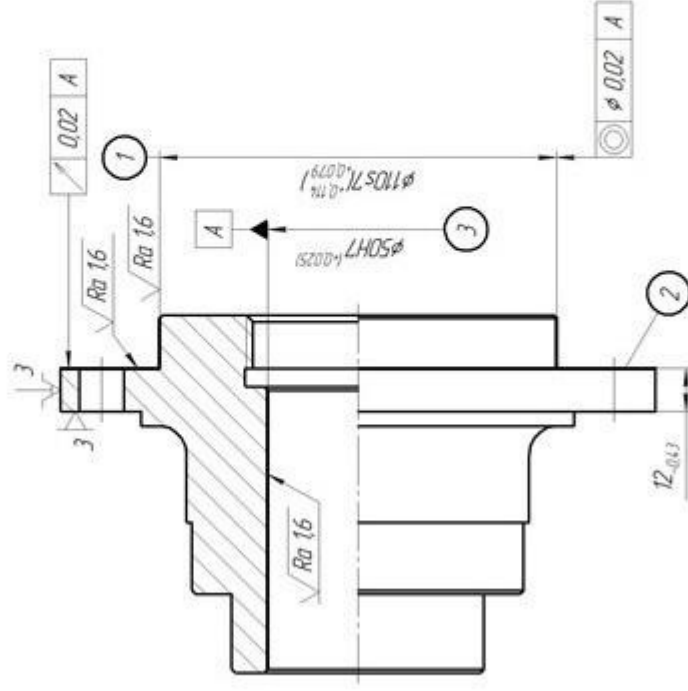


Рисунок 1 – Ескіз обробки на операції 015

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

(продовження)

Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстага

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{C \cdot l}{L_6} \text{ [мкм]}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\text{в}} = 1,6 \text{ мкм.}$$

Похибка, що спричиняється, тепловими деформаціями елементів системи ВПД

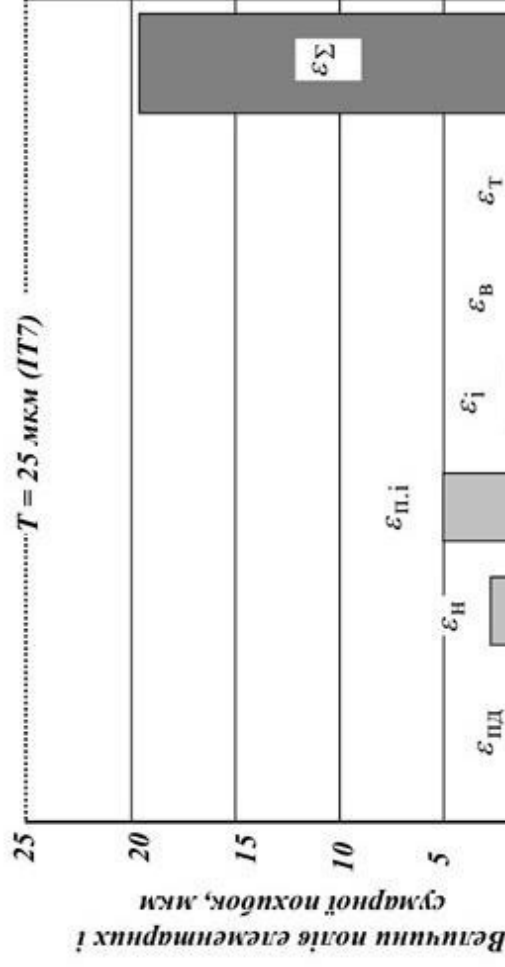
$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,15(\varepsilon_{\text{п.д}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{п.і}} + \varepsilon_{\text{і}} + \varepsilon_{\text{в}}) \text{ [мкм]}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\text{т}} = 1,5 \text{ мкм.}$$

Сумарна похибка обробки

$$\varepsilon_{\Sigma} = 19 \text{ мкм};$$

$\varepsilon_{\Sigma} < T = 25$ мкм – необхідна точність обробки забезпечуватиметься.



*Поля елементарних похибок (на радіус)
і сумарної похибки (на діаметр)*

Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час тонкого розточування отвору на верстаті з ЧПК моделі 160НТ

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

(продовження)

Висновок

1. На прикладі обробки заготовки деталі типу «Ступиця ГБ 20.006» на токарно-револьверному верстаці з ЧПК моделі 160НТ (клас точності «В») виконано аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на точність, що забезпечується під час тонкого розточування довгих отворів на настроєному верстаці.
2. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка настроєння і похибка, що зумовлена неточністю позиціонування при підведенні різального інструмента (різця) до початкової точки.
3. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця, зменшується до рівня похибки позиціонування поперечного супорта верстата завдяки використанню програмованої корекції інструмента. Встановлено, що за період між введенням корекції різця на величину дискрети потрібно обробити 23 заготовки.
4. Обробка на токарно-револьверному верстаці з ЧПК моделі 160НТ гарантовано забезпечує задану точність розміру $\varnothing 50\text{H}7^{(+0,025)}$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 19 мкм.
5. Для переходу, що розглядається, визначено кількісне значення коефіцієнта уточнення, яка узгоджується з рекомендаціями [16].
6. Результати дослідження можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки і у навчальному процесі.

Техніко-економічне порівняння варіантів технологічного процесу

<i>Показники</i>	<i>По базовому технологічному процесу</i>	<i>По удосконаленому технологічному процесу</i>
<i>1. Маса деталі, кг</i>	<i>4,92</i>	<i>4,92</i>
<i>2. Маса заготовки, кг</i>	<i>6,504</i>	<i>7,331</i>
<i>3. Коефіцієнт використання матеріалу</i>	<i>0,76</i>	<i>0,67</i>
<i>4. Собівартість заготовки, грн.</i>	<i>416,22</i>	<i>404,7</i>
<i>5. Кількість операцій, шт.</i>	<i>6</i>	<i>4</i>
<i>6. Кількість верстатів, шт.</i>	<i>8</i>	<i>6</i>
<i>7. Кількість основних робітників, чол.</i>	<i>8</i>	<i>5</i>
<i>8. Площа виробнича, м²</i>	<i>640,34</i>	<i>444,68</i>
<i>9. Капітальні вкладення, грн.</i>	<i>-</i>	<i>1674278,01</i>
<i>10. Собівартість деталі, грн.</i>	<i>897,19</i>	<i>623,05</i>
<i>11. Економічний ефект, грн.</i>	<i>-</i>	<i>6925645,37</i>
<i>12. Термін окупності, років</i>	<i>-</i>	<i>0,24</i>