

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

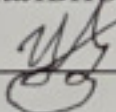
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

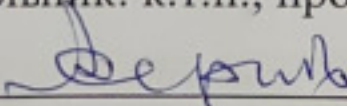
«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки
деталі типу “Шток ГЦ 05.017.002”»

08-26.МКР.024.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ІПМ-22м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

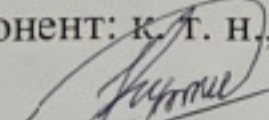

Шамрай В. С.

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ


Дерібо О. В.

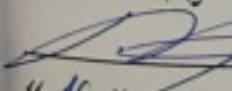
« 5 » 12 2023 р.

Опонент: к. т. н., доцент каф. АТМ

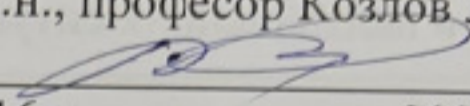

Кужель В. П.

« 15 » 12 2023 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ


д.т.н., проф. Козлов Л. Г.
« 16 » 12 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Машинобудування та транспорту
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 13 Механічна інженерія
Спеціальність – 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

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

« 16 » жовтня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шамраю Владиславу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»

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

затверджені наказом ВНТУ від « 18 » вересня 2023 року № 274 .

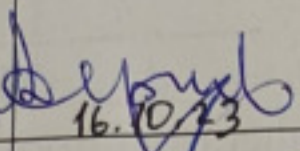
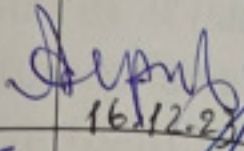
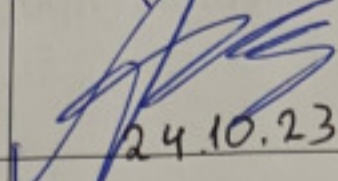
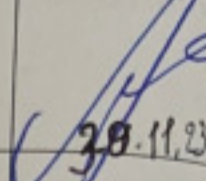
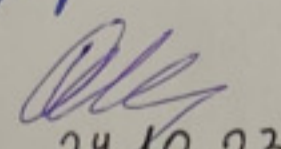
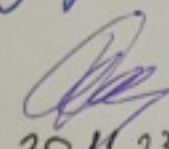
2. Строк подання студентом роботи: 15 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Шток ГЦ 05.017.002»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 3000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Вал»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»; аналіз точності обробки чистовим і тонким точінням на верстатах з ЧПК зовнішніх циліндричних поверхонь довгих заготовок деталей типу «Ступінчастий вал»; розрахунок дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»; економічна доцільність удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Шток ГЦ 05.017.002»; шток (заготовка); маршрут механічної обробки; розмірний аналіз технологічного процесу; карта налагоджень; ілюстраційний матеріал до наукової частини; план дільниці; техніко-економічні показники

6. Консультанти розділів роботи

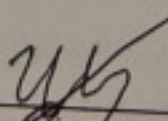
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання п
Спеціальна частина	Дерібо О. В., професор кафедри ТАМ	 16.10.23	 16.12.23
Економічна частина	Лесько О. Й., завідувач кафедри ЕПВМ	 24.10.23	 30.11.23
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С. В., професор кафедри БЖДПБ	 24.10.23	 30.11.23

7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

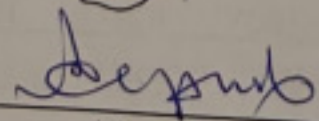
№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Прим
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	до 24.10.23	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	до 27.10.23	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	до 1.11.23	
4	Розв'язання поставлених задач	до 21.11.23	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	до 6.12.23	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	до 30.11.23	
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	до 30.11.23	
8	Попередній захист МКР	5.12.23	
9	Перевірка роботи на плагіат	12.12.23	
10	Нормоконтроль МКР	13.12.23	
11	Опонування МКР	15.12.23	
12	Захист МКР	18.12.23	

Студент


(підпис)

Шамрай В. С.

Керівник роботи


(підпис)

Дерібо О. В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Шамрай В. С. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2023. 142 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 23 назв; рис.: 22; табл. 39.

Метою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002».

Для досягнення поставленої мети проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Вал»; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002» 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 кількість обладнання та працівників; удосконалено дільницю механічної обробки.

В науковій частині роботи для умов середньосерійного виробництва виконано аналіз точності обробки чистовим і тонким точінням на токарних верстатах з ЧПК високої точності зовнішніх циліндричних поверхонь довгих заготовок деталей типу «Ступінчастий вал».

В економічній частині роботи виконано економічні розрахунки по впровадженню запропонованих у роботі рішень. В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, деталь, дільниця механічної обробки.

ABSTRACT

Shamrai V. S. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Stock GC 05.017.002» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2023. 142 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 23 titles; fig.: 22; tabl. 39.

The purpose of the work is to improve the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Stock GC 05.017.002» type.

To achieve the goal, a review of manufacturing technologies for the "Shaft" type part was conducted; developed options for the route of mechanical processing of a part of the type «Stock GC 05.017.002» using modern CNC machines and choosing the best of them based on the minimum costs; dimensional and accurate modeling of the improved technological process of mechanical processing was carried out; cutting modes and time standards are determined; the number of equipment and employees is calculated; improved mechanical processing department.

In the scientific part of the work, for the conditions of medium series production, an analysis of the accuracy of processing by finishing and fine turning on high-precision CNC lathes of the external cylindrical surfaces of long workpieces of "Stepped shaft" type parts was performed.

In the economic part of the work, economic calculations were performed for the implementation of the solutions proposed in the work. The work also developed measures for occupational health and safety in emergency situations.

Key words: technological process, mechanical processing, workpiece, part, device, mechanical processing section.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»	10
1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення	10
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Вал»	13
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ШТОК ГЦ 05.017.002»	17
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	17
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	20
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	27
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	38
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	42
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	46
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	51
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	53
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	62
2.10 Призначення режимів різання	66
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	71
2.12 Визначення технічних норм часу	73
3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ЗОВНІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТУПІНЧАСТИЙ ВАЛ»	80

	6
3.1 Постановка задачі дослідження	80
3.2 Результати дослідження	82
3.3 Висновок	92
4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ШТОК ГЦ 05.017.002»	94
4.1 Розрахунок приведеної програми	94
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	99
4.3 Розрахунок кількості працівників на дільниці	102
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ШТОК ГЦ 05.017.002»	105
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	105
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002 ГЦ 05.017.002»	112
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	118
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	122
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	123
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	123
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	127
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	128
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	130
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих чинників НС	135
ВИСНОВКИ	138
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	140
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи	143
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	144

ВСТУП

Актуальність. Однією з найважливіших задач машинобудівних технологій є забезпечення необхідної якості виробів, якомога меншої їх собівартості за умови забезпечення необхідної кількості їх виготовлення. Ефективним способом розв'язання цієї задачі є використання сучасних обладнання з ЧПК багатоцільових верстатів. Їх перевагою є універсальність, у поєднанні з можливістю автоматизації процесів механічної обробки, забезпечення необхідної якості виробів, можливість швидкого переналагодження в переходах від одного типорозміру деталей до іншого. Використання таких верстатів скорочує простой, підвищує частку машинного часу, скорочує обсяг операцій контролю.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002».

При цьому повинні бути виконані такі **завдання**:

- проаналізувати наявні технології виготовлення деталі типу «Вал»;
- на основі креслення деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002» виконати якісний і кількісний аналіз технологічності її конструкції;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»;
- розробити варіантів удосконаленого маршруту механічної обробки та вибрати кращий з них за мінімумом приведених витрат;
- виконати розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки;
- призначити режими різання;
- встановити технічні норми часу на операції;
- розрахувати дільницю механічної обробки, кількість обладнання та працівників;

- розрахувати економічну доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»;

- розробити необхідні заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях на ділянці механічної обробки.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталей типу «Вал».

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки; метод лінійного програмування (симплекс-метод), що дозволив визначити оптимальні режими різання, методика техніко-економічного порівняння способів виготовлення вихідної заготовки.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримала подальший розвиток методологія дослідження впливу технологічних факторів на точність чистового і тонкого точіння довгих заготовок типу «Ступінчастий вал» на токарних верстатах з ЧПК високої точності.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення роботи полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»; при цьому запропоновані такі рішення:

- для виготовлення заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002» запропоновано два способи – штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) та прокат. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку штампуванням на ГКМ, оскільки собівартість виготовлення заготовки при цьому складає 142,46 грн., що менше у порівнянні з вартістю заготовки виготовленої з прокату – 171,92 грн.;

- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002» 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 15123 шт.; дільниця механічної обробки повинна містити 5 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 7 чол., всього працівників на дільниці – 13 чол.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися й обговорювалися на конференції: Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», 15 жовтня 2023 р. – 20 травня 2024 р.

Публікації. Оpubліковано тезу доповіді: Шамрай В. С., Таранік А. В., Дерібо О. В. Аналіз точності обробки чистовим і тонким точінням на верстатах з ЧПК зовнішніх циліндричних поверхонь довгих заготовок деталей типу «Ступінчастий вал / Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», (15 жовтня 2023 р. – 20 травня 2024 р.). – Електронний ресурс :

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19757>.

Деталь виготовляється із матеріалу «Сталь 40Х» за ГОСТ 4543-71, маса деталі – 3,117 кг.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад (%) сталі 40Х ГОСТ 4543-71

Марка сталі	C	Mn	Cr	Ni	Інші сталі
Сталь 40Х	0.36-0.44	0.5-0.8	0.8-0.11	≤ 0.25	-

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543-71

Твердість за Бринелем	Межа міцності, МПа	Межа текучості, МПа	Відносне видовження, %	Густина, кг/м ³
НВ 217 (після відпалу) НВ 552 (після загартовки та відпущення)	980	785	10	7850

Заготовкою деталі може бути або круглий прокат, або отримана одним із способів механічного деформування, що буде визначено у 2-му розділі. Вага заготовки може коливатися в широкому діапазоні, приблизно 5-12 кг.

Деталь служить складовою частиною, наприклад, гідроциліндру. Конструкція деталі досить складна – наприклад, потрібно формувати 6 ступенів різного діаметру. Крім того, при обробці деталі не можна обмежитися лише токарною обробкою – в деталі потрібно отримати шпонковий паз та паз, в якому потрібно обробити ступінчасті отвори, а також – для отримання якісної поверхні – майже всі ступені потрібно або прошліфувати або тонко проточити при попередній термообробці.

Всі поверхні деталі, які підлягають обробці, можна поділити на 2 групи: поверхні і розміри з підвищеними вимогами – до основних, від яких залежить службове призначення деталі, всі інші – до другорядних. Таким чином, до основних (їх подавляючи більшість) можна віднести такі поверхні:

Ø22g6 – Ra = 0,63 мкм,

Ø18h6 – Ra = 1,6 мкм,

Ø40f7 – Ra = 0,63 мкм,

Ø45h7 – Ra = 1,6 мкм.

Креслення деталі має всі необхідні дані, але його необхідно корегувати згідно вимог ЄСКД та вимог технологічності. На креслені проставлені технічні вимоги до термообробки, визначена базова поверхня – поверхня «Е» ($\text{Ø}40f7$), вказані вимоги щодо припустимого значення радіального биття окремих поверхонь відносно базової.

Виконано наступне корегування креслення заданої деталі:

- уточнені межові відхилення розміру $\text{Ø}40 \begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix}$, новий розмір $\text{Ø}40 \begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix}$ (відповідає посадці $f7$); розміру $\text{Ø}22 \begin{smallmatrix} -0,008 \\ -0,022 \end{smallmatrix}$, новий $\text{Ø}22 \begin{smallmatrix} -0,007 \\ -0,020 \end{smallmatrix}$ (відповідає посадці $g6$); розміру $\text{Ø}40 \begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,085 \end{smallmatrix}$, новий розмір $\text{Ø}40 \begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,087 \end{smallmatrix}$ (відповідає посадці $f9$), розміру $\text{Ø}45 \begin{smallmatrix} -0,032 \\ -0,038 \end{smallmatrix}$, новий розмір $\text{Ø}45 \begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,025 \end{smallmatrix}$ (відповідає посадці $h7$); розміру $\text{Ø}18 \begin{smallmatrix} -0,012 \\ -0,012 \end{smallmatrix}$, новий розмір $\text{Ø}18 \begin{smallmatrix} -0,013 \\ -0,013 \end{smallmatrix}$ (відповідає посадці $h6$); розміру канавки $\text{Ø}38,5 \begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,05 \end{smallmatrix}$, новий розмір $\text{Ø}38,5 \begin{smallmatrix} -0,062 \\ -0,062 \end{smallmatrix}$ (відповідає посадці $h9$);

- уточнена ширина канавки розміром 2 мм, новий розмір 3,25;

- уточнений розмір пазу на поверхні $M 42 \times 1,5$ – ширина пазу 6,3 мм, новий розмір – 6 мм;

- проставлена шорсткість окремих поверхонь, якої не вистачало на креслені:

$Ra = 0,63$ мкм – пов. $\text{Ø}40f7$;

протилежні торці деталі (розмір 600 мм) – $Ra = 6,3$ мкм;

$Ra = 6,3$ мкм – дно шпонкового пазу $b = 6$ мм;

$Ra = 3,2$ мкм – шорсткість всіх інших поверхонь, яка не проставлена на креслені.

Більшість лінійних розмірів проставлена нераціонально, тобто «ланцюжком», при цьому збільшується похибка базування. Цей недолік, якщо буде потрібно, буде усуватися, зокрема при розмірно-точностному моделюванні технологічного процесу.

На креслені деталі задані технічні вимоги:

- радіальне биття пов. $\text{Ø}40f7$ відносно пов. «Е» (пов. $\text{Ø}40f7$, але розташована з боку ступені $M 42 \times 1,5 - 6g$) припускається в межах 0,02 мм;

- радіальне биття пов. $\varnothing 45h7$ відносно пов. «Е» припускається 0,02 мм;
- при механічній обробці деталі заплановано шліфування основних поверхонь, тобто деталь потрібно термозагартувати і досягти твердості HRC 30...35.

Висновок. Вимоги до деталі за параметрами точності, шорсткості та взаємного розташування поверхонь відповідають рекомендаціям конструкторських розробок, являються доцільними і можуть бути досягненими без особливих труднощів в процесі механічної обробки деталі.

1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Вал»

По технологічним ознакам деталь «Шток ГЦ 05.017.002» відноситься до класу «Вал ступінчастий».

Наведемо приклад типового технологічного маршруту механічної обробки ступінчастих валів в серійному виробництві [1-7].

Таблиця 1.3 – Типовий маршрут механічної обробки деталі типу «Вал»

Операц.	Назва та зміст операції	Обладнання
1	2	3
005	Фрезерування торців та зацентровка	Фрезерно-центрувальні верстати моделей МР37, МР71, МР78
010	Чорнова токарна обробка	Токарні верстати 16К20, 1712П, 16К20Ф3
015	Термічна обробка – покращення	
025	Чистова токарна обробка	Токарні верстати 16К20, 1712П, 16К20Ф3
030	Фрезерування шпонкових пазів	Консольно-фрезерні верстати 6М81Г, 6М11
035	Нарізання різі	Токарно-гвинторізні верстати 1А616, 16К20

Продовження таблиці 1.3

1	2	3
040	Термообробка – загартовування	
045	Шліфування поверхонь	Круглошліфувальні верстати ЗМ151, ЗМ153
050	Фрезерування шліців	Шліцефрезерний верстат 5350А
055	Шліфування шліців	Шліцешліфувальні верстати ЗБ451П, 3451
060	Калібрування різи, зачистка заусенців	
065	Промивання	
070	Остаточний контроль	

Враховуючи конструктивні особливості даної деталі, вимоги до точності та шорсткості поверхонь, вимоги до їх взаємного розташування та орієнтовну серійність виготовлення, наведемо декілька варіантів технологічного процесу механічної обробки, орієнтуючись на номери поверхонь, які вказані на нижченаведеному кресленні.

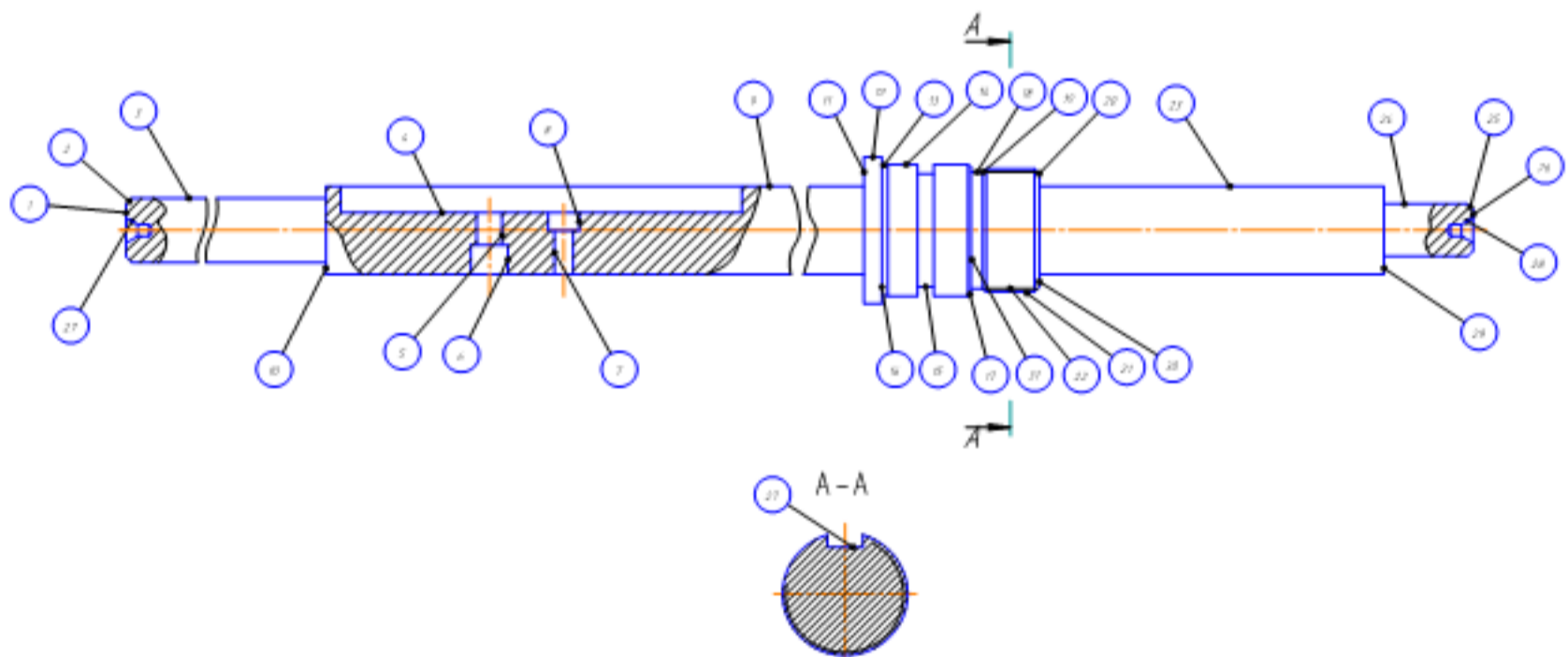


Рисунок 1.2 – Креслення деталі з номерами поверхонь

Таблиця 1.4 – 1-ий варіант технологічного процесу (базовий)

№ опер.	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
1	2	3	4
005	Токарно-револьверна з ЧПК	Установ А. Підрізка торця 26, центрування отв. 28, точіння пов. 23 попереднє та торця 30 остаточне, точіння пов. 24 попереднє та торця 30 остаточне Установ Б. Підрізка торця 1, центрування отв. 27, точіння пов. 9 попереднє та торця 11 остаточне, точіння пов. 3 попереднє та торця 10 остаточне.	1П420ПФ30
010	Токарна з ЧПК	Установ А. Точіння пов. 12 остаточне, пов. 14 попереднє, пов. 21 остаточне, пов. 14, 23, 24 остаточне, фаски 17, 20, 25, кканавки 13, 15, 18 однократно, нарізання різи 22. Установ Б. Точіння пов. 3, 9 остаточне, фаски 2	16К20Т1
015	Фрезерна з ЧПК	Фрезерування пазу 4, центрування отв. 5 та 7, свердління отв. 5 та 7, цекування отв. 8, фрезерування пазу 27 (установ А); цекування пов. 6 (установ Б)	ЛТ260МФ3
020	Термічна	НВ 260...280	СВЧ
025	Круглошліфувальна з ЧПК	Шліфування пов. 14, 23 та 24 попереднє та остаточне	3М151Ф2
030	Круглошліфувальна з ЧПК	Шліфування пов. 9 остаточне, пов. 3 попередньо та остаточне	3М151Ф2

Таблиця 1.5 – 2-ий варіант технологічного процесу (удосконалений)

№ опер.	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
1	2	3	4
005	Токарно-револьверна з ЧПК	Установ А. Підрізка торця 26, центрування отв. 28, точіння пов. 23 попереднє та торця 30 остаточне, точіння пов. 24 попереднє та торця 30 остаточне Установ Б. Підрізка торця 1, центрування отв. 27, точіння пов. 9 попереднє та торця 11 остаточне, точіння пов. 3 попереднє та торця 10 остаточне.	1П420ПФ30

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4
010	Токарна з ЧПК	Установ А. Точіння пов. 12 остаточне, пов. 14 попереднє, пов. 21 остаточне, пов. 14, 23, 24 остаточне, фаски 17, 20, 25, канавки 13, 15, 18 однократно, нарізання різі 22. Установ Б. Точіння пов. 3, 9 остаточне, фаски 2	16K20T1
015	Фрезерна з ЧПК	Фрезерування пазу 4, центрування отв. 5 та 7, свердління отв. 5 та 7, цекування отв. 8, фрезерування пазу 27 (установ А); цекування пов. 6 (установ Б)	ЛТ260МФ3
020	Термічна	НВ 260...280	СВЧ
025	Токарна з ЧПК	Точіння пов. 14, 23 та 24 попереднє та остаточне, точіння пов. 9 остаточне, пов. 3 попередньо та остаточне	МК6801Ф3

Порівняння двох наведених варіантів технологічного процесу вказує, що базовий варіант технологічного процесу на операція 025-030 побудований за принципом диференціації операцій, що значно подовжує цикл обробки деталі, а це є недоліком.

З двох варіантів технологічного процесу, наведених у табл. 1.4-1.5, перевагу потрібно віддати 2-му варіанту, як більш продуктивному. Проведемо його детальну розробку стосовно складу, порядку переходів на кожній операції та базування деталі на операціях.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ШТОК ГЦ 05.017.002»

2.1 Аналіз конструкції і технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз технологічності

Задана деталь відноситься до ступінчастого валу і має досить складну конструкцію – потрібно утворити 6 ступенів різного діаметру. Крім того, при обробці деталі не можна обмежитися лише токарною обробкою – в деталі потрібно отримати шпонковий паз та паз, в дні якого потрібно обробити отвори, а також для отримання якісної поверхні майже всі ступені потрібно прошліфувати.

До позитивних характеристик технологічності можна віднести наступні:

- більшість поверхонь можна обробляти прохідними різцями;
- діаметральні розміри шийок валу зменшуються від середини до кінців валу;
- жорсткість валу можна вважати достатньою для отримання високих квалітетів точності розмірів (6...9 квалітети), тому що $L/D_{\max} = 600/50 = 12$, тобто відношення не перевищує 12;
- різева поверхня $M42 \times 1,5$ може оброблятися напрохід (є вихід різця у зарізову канавку);
- форма деталі сприяє з точки зору техніко-економічної ефективності обробляти її на верстатах з ЧПК (токарних, шліфувальних), цьому ж сприяє різноманітність необхідної фрезерно-свердлильної обробки.

До технологічних особливостей заданої деталі відноситься таке:

- багато поверхонь деталі має високі вимоги до точності розмірів та шорсткості поверхонь – це викликає необхідність багатоперехідної обробки, наприклад, на токарній операції – два попередніх точіння та остаточне, а потім ще застосування шліфувальної операції (поверхні з 6-м квалітетом точності);
- паз розміром 135×20 є закритим, тобто немає можливості більш продуктивної обробки дисковою фрезою.

Деталь в більшій частині обробки (токарна і шліфувальна операції) легко збазувати, якщо передбачити виготовлення центрувальних отворів. Всі поверхні доступні для механічної обробки та для контролю.

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності

Згідно ГОСТ 18831-74 кількісна оцінка технологічності оцінюється такими показниками:

- Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_y = Q_{y.c}/Q_c, \quad (2.1)$$

де $Q_{y.c}$, Q_c – відповідна кількість уніфікованих елементів і загальна кількість типорозмірів конструкторських елементів (різьба, отвори, фаски тощо).

Таблиця 2.1 – Загальна кількість конструктивних елементів

Діаметральні розміри		Лінійні розміри		Отвори		Різьба		Фаски, радіуси	
уніф.	неуніф.	уніф.	неуніф.	уніф.	неуніф.	уніф.	неуніф.	уніф.	Неуніф.
8	3	4	12	4	-	1	-	16	-

$$K_y = 33/48 = 0,68.$$

При $K_y \geq 0,6$ деталь відноситься до технологічних.

- Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{T_{ср}}, \quad (2.2)$$

де $T_{ср}$ – середній квалітет точності розмірів.

Таблиця 2.2 – Розрахунок коефіцієнта точності

Квалітет точності	6	7	9	10	11	12	14
Кількість поверхонь	3	2	5	1	1	3	33

$$T_{\text{ср}} = (3 \cdot 6 + 2 \cdot 7 + 5 \cdot 9 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 11 + 3 \cdot 12 + 33 \cdot 14) / 48 = 594 / 48 = 12,38;$$

$$K_{\text{т.о}} = 1 - \frac{1}{12,38} = 1 - 0,08 = 0,92 .$$

При $K_{\text{т.о}} \geq 0,8$ деталь відноситься до технологічних.

- Коефіцієнт шорсткості обробки:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}}, \quad (2.3)$$

де $\text{Ш}_{\text{ср}}$ – середній клас шорсткості:

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum \text{Ш}_i \cdot n_i}{n_i}. \quad (2.4)$$

Таблиця 2.3 – Визначення коефіцієнта шорсткості

Шорсткість R_a , мкм	0,63	1,6	3,2	6,3
Кількість поверхонь	2	4	3	38

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 0,63 + 4 \cdot 1,6 + 3 \cdot 3,2 + 38 \cdot 6,3}{48} = 2,95 ;$$

$$K_{\text{ш}} = 1 / 2,95 = 0,339.$$

При $K_{\text{ш}} < 0,32$ деталь відноситься до технологічних, в нашому випадку $K_{\text{ш}} > 0,32$, тобто знаходиться дуже близько до межі технологічності.

Висновок: Розглянувши всі позитивні і негативні фактори з врахуванням кількісних показників можна зробити висновок, що деталь досить технологічна.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

2.2.1 Визначення типу виробництва

Вихідні дані:

- річний обсяг виготовлення деталі, $N = 3000$ шт.;
- режим роботи підприємства, $m = 2$ зміни;
- дійсний річний фонд роботи обладнання, $F_d = 3890$ год. (металорізальні верстати з ЧПК); $F_d = 4029$ год. (універсальні верстати).

Вибір типу виробництва здійснюємо за методикою, наведеною в [8]. Попередньо зорієнтуємося щодо типу виробництва за [8]: для деталі масою до 10 кг (в нашому випадку $m_d = 3,117$ кг) і заданого річного обсягу виготовлення $N = 3000$ шт. – рекомендовано умови середньосерійного типу.

Тепер визначаємо основний час обробки:

- підрізання торця ступені $\varnothing 18$:

$$T_{o1} = 0,037(D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,037(18^2 - 0) \cdot 10^{-3} = 0,012 \text{ (хв).}$$

- точіння пов. $\varnothing 18$

$$T_{o2} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 18 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,092 \text{ (хв).}$$

- точіння пов. $\varnothing 30$ ($\varnothing 40f7$):

$$T_{o3} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 30 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 0,592 \text{ (хв).}$$

- підрізання торця ступені $\varnothing 22$:

$$T_{o4} = 0,037(D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,037(22^2 - 0) \cdot 10^{-3} = 0,018 \text{ (хв).}$$

- точіння пов. $\varnothing 22$:

$$T_{O_5} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 22 \cdot 130 \cdot 10^{-3} = 0,486 \text{ (хв).}$$

- точіння пов. Ø40 (Ø40f9):

$$T_{O_6} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 30 \cdot 265 \cdot 10^{-3} = 1,352 \text{ (хв).}$$

- точіння пов. Ø50:

$$T_{O_7} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 50 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,051 \text{ (хв).}$$

- точіння поверхонь Ø45:

$$T_{O_8} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 45 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,230 \text{ (хв).}$$

- точіння пов. під різь М42×1,5:

$$T_{O_9} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 42 \cdot 23 \cdot 10^{-3} = 0,164 \text{ (хв).}$$

- нарізання різі М42×1,5:

$$T_{O_{10}} = 19dl \cdot 10^{-3} = 19 \cdot 42 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 15,162 \text{ (хв).}$$

- фрезерування пазу 135×20:

$$T_{O_{11}} = 6l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 135 \cdot 10^{-3} = 0,81 \text{ (хв).}$$

- свердління отв. Ø8,5:

$$T_{O_{12}} = 0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 8,5 \cdot 21 \cdot 10^{-3} = 0,093 \text{ (хв).}$$

- свердління отв. Ø6,2:

$$T_{O_{13}} = 0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 6,2 \cdot 21 \cdot 10^{-3} = 0,071 \text{ (хв)}.$$

- зенкерування отв. Ø12,5:

$$T_{O_{14}} = 0,21dl \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 12,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,0263 \text{ (хв)}.$$

- зенкерування отв. Ø10,5:

$$T_{O_{15}} = 0,21dl \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 10,5 \cdot 6,2 \cdot 10^{-3} = 0,0137 \text{ (хв)}.$$

- шліфування пов. Ø22g6:

$$T_{O_{16}} = 0,15dl \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 22 \cdot 130 \cdot 10^{-3} = 0,429 \text{ (хв)}.$$

- шліфування пов. Ø18h6:

$$T_{O_{17}} = 0,15dl \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 18 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,081 \text{ (хв)}.$$

- шліфування пов. Ø45h7:

$$T_{O_{18}} = 0,15dl \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 30 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 0,522 \text{ (хв)}.$$

- шліфування пов. Ø45h7:

$$T_{O_{19}} = 0,15dl \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 45 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,203 \text{ (хв)}.$$

- шліфування пов. Ø40f9:

$$T_{O20} = 0,1dl \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 30 \cdot 265 \cdot 10^{-3} = 0,795 \text{ (хв)}.$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час обробки:

$$T_{\text{шт-к}} = \varphi_k \cdot T_{O_i} \text{ [хв.]}, \quad (2.5)$$

де φ_k – табличний коефіцієнт, який враховує обладнання для конкретної обробки та тип виробництва; T_{O_i} – основний час на кожній операції.

1) Токарно-револьверна операція:

$$\begin{aligned} T_{\text{шт-к т-р}} &= (T_{O1} + \dots + T_{O6}) \cdot \varphi_k = (0,012 + 0,092 + 0,592 + 0,018 + 0,486 + 1,352) \cdot 1,66 = \\ &= 2,552 \cdot 1,66 \cong 4,24 \text{ (хв)}. \end{aligned}$$

2) Токарна операція з ЧПК:

$$\begin{aligned} T_{\text{шт-к чпк ток.}} &= (T_{O7} + \dots + T_{O10}) \cdot \varphi_k = (0,051 + 0,23 + 0,164 + 15,162) \cdot 1,3 = \\ &= 15,607 \cdot 1,3 = 20,3 \text{ (хв)}. \end{aligned}$$

3) Фрезерна операція з ЧПК:

$$\begin{aligned} T_{\text{шт-к чпк фр.}} &= (T_{O11} + \dots + T_{O15}) \cdot \varphi_k = (0,81 + 0,093 + 0,071 + 0,0263 + 0,0137) \cdot 1,4 = \\ &= 1,014 \cdot 1,4 = 1,42 \text{ (хв)}. \end{aligned}$$

4) Круглошліфувальна операція з ЧПК:

$$\begin{aligned} T_{\text{шт-к чпк кр. шл.}} &= (T_{O16} + \dots + T_{O20}) \cdot \varphi_k = (0,429 + 0,081 + 0,522 + 0,203 + 0,795) \cdot 1,52 = \\ &= 2,03 \cdot 1,52 = 3,1 \text{ (хв)}. \end{aligned}$$

Визначаємо розрахункову кількість обладнання:

$$C_p = (N \cdot T_{шт-к}) / (F_d \cdot 60 \cdot \eta_{з.н.}), \quad (2.6)$$

де $\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження верстата, $\eta_{з.н.} = 0,8$ [8] (для умов серійного типу виробництва).

1) Токарно-револьверна операція:

$$C_{p \text{ ток-рев.}} = (3000 \cdot 4,24) / 4029 \cdot 60 \cdot 0,8 = 0,066,$$

приймаємо $P = 1$ верстат.

2) Токарна операція з ЧПК:

$$C_{p \text{ чпк ток.}} = (3000 \cdot 20,3) / 3890 \cdot 60 \cdot 0,8 = 0,33,$$

приймаємо $P = 1$ верстат

3) Фрезерна операція з ЧПК:

$$C_{p \text{ чпк фр.}} = (3000 \cdot 1,42) / 3890 \cdot 60 \cdot 0,8 = 0,023,$$

приймаємо $P = 1$ верстат

4) Круглошліфувальна операція з ЧПК:

$$C_{p \text{ чпк кр.шл.}} = (3000 \cdot 3,1) / 3890 \cdot 60 \cdot 0,8 = 0,05,$$

приймаємо $P = 1$ верстат

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з.ф.} = C_p / P. \quad (2.7)$$

1) Токарно-револьверна операція:

$$\eta_{з.ф.т-р} = 0,066/1 = 0,066.$$

2) Токарна операція з ЧПК:

$$\eta_{з.ф.чпк\ ток.} = 0,33/1 = 0,33.$$

3) Фрезерна операція з ЧПК:

$$\eta_{з.ф.чпк\ фр.} = 0,023/1 = 0,023.$$

4) Круглошліфувальна операція з ЧПК:

$$\eta_{з.ф.чпк\ кр.шл.} = 0,05/1 = 0,05.$$

Визначаємо кількість операцій, які виконуються на одному робочому місці:

$$O = \eta_{з.н.}/\eta_{з.ф.}, \quad (2.8)$$

1) Токарно-револьверна операція:

$$O_{т-р} = 0,8/0,066 = 12,12.$$

2) Токарна операція з ЧПК:

$$O_{чпк\ ток.} = 0,8/0,33 = 2,42.$$

3) Фрезерна операція з ЧПК:

$$O_{чпк\ фр.} = 0,8/0,023 = 34,78.$$

4) Круглошліфувальна операція з ЧПК:

$$O_{\text{чпк кр.шл.}} = 0,8/0,05 = 16.$$

Визначаємо коефіцієнт закріплення операцій:

$$\eta_{\text{з.о.}} = \sum_{i=1}^n O_i / \sum_{i=1}^n P = (12,12+2,42+34,78+16)/4 = 16,33.$$

Згідно ГОСТ 14.004-74 отриманий коефіцієнт закріплення операцій відповідає умовам середньосерійного типу виробництва ($10 < \eta_{\text{з.о.}} < 20$).

2.2.2 Визначення організаційної форми виробництва

1) Добовий випуск деталей:

$$N_{\text{д}} = N/254 = 3000/254 = 11,8 \approx 12 \text{ (шт.)}$$

2) Добова продуктивність поточної лінії:

$$Q_{\text{д}} = F_{\text{доб}}/T_{\text{сер}} \cdot \eta_{\text{з.н.}} [\text{шт./хв.}], \quad (2.9)$$

де $F_{\text{доб}}$ – добовий фонд часу роботи обладнання у 2 зміни, $F_{\text{доб.}} = 952$ хв.;
 $T_{\text{сер.}}$ – середня трудомісткість операцій.

$$T_{\text{сер.}} = (4,24+20,3+1,42+3,1)/4 = 7,3 \text{ (хв.)}$$

Тоді

$$Q_{\text{д}} = (952/7,3) \cdot 0,8 = 104 \text{ (шт.)}$$

Тому, що $Q_d > N_d$, застосування однономенклатурної лінії недоцільно, тобто обираємо групову форму організації виробництва.

3) Кількість деталей у партії для одночасного запуску у виробництво:

$$n = N \cdot a / 254 \text{ [шт.]}, \quad (2.10)$$

де a – періодичність запуску деталей у днях; приймаємо $a = 12$ днів.

Тоді:

$$n = 3000 \cdot 12 / 254 = 141,73 \text{ (шт.)},$$

приймаємо $n_{\text{пр}} = 142$ шт.

4) Розраховуємо кількість змін роботи на обробку всієї партії деталей:

$$C = (T_{\text{шт-к сер.}} \cdot n_{\text{пр}}) / (476 \cdot 0,8) = 7,3 \cdot 142 / 476 \cdot 0,8 = 2,72,$$

приймаємо $C_{\text{пр}} = 3$ зміни.

5) Уточнення кількості деталей у партії:

$$n_{\text{пр}} = (476 \cdot 0,8 \cdot 3) / 7,3 = 156,5 \approx 157 \text{ (шт.)}$$

Висновок. Таким чином, остаточно приймаємо тип виробництва – середньосерійний з груповою формою організації виробничого процесу, запускаючи на обробку через кожні 12 днів партії деталей величиною 157 шт.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

- Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки [9]

Вихідна інформація:

- річна програма виготовлення – 3000 шт. (середньосерійний тип виробництва);

- матеріал деталі – сталь 40Х ГОСТ 4543-71;

- маса деталі – $m_d = 3,117$ кг;

- габарити деталі – $\varnothing_{\max} 50 \times \varnothing_{\min} 22 \times 600$ мм;

- шорсткість поверхонь після обробки:

max – $R_a = 6,3$ мкм;

min – $R_a = 0,63$ мкм;

- квалітет точності розмірів деталі:

max – 6-й квалітет;

min – 14-й квалітет;

- поверхонь, необроблюваних механічним способом, немає.

Виходячи із заданої інформації, можна запропонувати метод виготовлення заготовки пластичним деформуванням, тому що заданий матеріал не підлягає виливанню:

1-й спосіб – гаряча об'ємна штамповка на горизонтально-кувальній машині (ГКМ);

2-й спосіб – круглий гарячекатаний прокат.

Дамо стисло характеристику запропонованих способів отримання заготовки:

- Гаряче об'ємне штампування найбільш широко розповсюджено для виготовлення якісних заготовок. Цим способом виготовляють заготовки для відповідальних деталей автомобілів, тракторів, металорізальних верстатів, тощо. Задана деталь – «Шток ГЦ 05.017.002» – є однією з таких відповідальних деталей, тобто, може бути деталлю швидкодіючого приводу металорізального верстата. Спосіб гарячого штампування найбільш ефективний при серійному, великосерійному та масовому виробництві, що суттєво важливо, якщо виникне необхідність збільшення виробничої програми. Найбільш доцільно виготовлення штампування заготовок деталей масою не більше за 50 кг.

В порівнянні, наприклад, з куванням гаряче об'ємне штампування має наступні переваги:

- поковки, виготовленні штамповкою, мають кращу якість поверхонь, шорсткість поверхонь досягає $R_a = 20 - 5$ мкм;
- штамповані поковки можна виготовляти із значно меншими допусками, ніж при куванні, а при точному штампуванні допуски можна довести до часток міліметра, припуски знижуються в 2–3 рази;
- значно підвищується продуктивність праці;
- за рахунок наявності в конструкції штампувального обладнання виштовхувачів, штампувальні нахили значно менші, ніж при отримуванні штамповок на молотах або взагалі відсутні.

В залежності від обладнання є такі види об'ємного штампування: на штампувальних пароповітряних молотах подвійної дії, кривошипних гаряче штампувальних пресах (КГШП), горизонтально-кувальних машинах (ГКМ), гідравлічних пресах, тощо.

Із всіх перерахованих вище різновидів гарячого об'ємного штампування найбільш ефективним в нашому випадку є штампування на ГКМ.

На відміну від штампів молотових та пресових, штампи для ГКМ мають два взаємно перпендикулярних роз'єми і можуть бути відкритими та закритими. Це створює в штампі кращі умови для виконання владжувальних робіт і дозволяє виготовляти поковки, як правило, без штампувальних нахилів. Поковки, отримані на ГКМ, звичайно, мають форму тіл обертання, що також важливо для виготовлення заготовки заданої деталі «Шток ГЦ 05.017.002».

І хоча необхідно враховувати те, що маса отриманих на ГКМ поковок порівняно невелика, стійкість штампів нижча, ніж у молотів та пресів, однак економія металу, що досягається, можливість отримувати більш складні та точні поковки, виключення попередніх операцій розрізання прутків на штучні заготовки, роблять цей спосіб економічно доцільним.

- Другим запропонованим способом виготовлення заготовки для заданої деталі є використання круглого гарячекатаного прокату, відрізаного в розмірі штучної заготовки.

Різниця в діаметрах заданої деталі складає:

$$50 - 22 = 28 \text{ (мм)},$$

тобто припуск на сторону, який потрібно зняти при формоутворенні деталі, дорівнює 14 мм. Для умов середньосерійного типу виробництва це припустимо, але все ж таки набагато зменшується коефіцієнт використання матеріалу. Щодо економічної доцільності одного із запропонованих способів, то про це можна гарантовано стверджувати після проектування заготовок та визначення собівартостей їх виготовлення, що і буде виконано у подальшій роботі.

- Розрахунок розмірів заготовки для обох способів її виготовлення

Призначення припусків (табличних) на механічну обробку та розрахунок граничних розмірів.

Вихідні дані по деталі:

– матеріал – сталь 40Х ГОСТ 4543-71: 0,36 – 0,48%С; 0,17 – 0,37%Si; 0,3 – 0,8% Mn; 0,8 – 1,1%Cr; 0,2%Ni (не більше); 0,04%P (не більше); 0,04%S (не більше);

– маса деталі – 3,117 кг;

Вихідні дані для розрахунку (гаряче об'ємне штампування на ГKM):

– маса поковки (розрахункова)

$$m_p = m_a \cdot K_p = 3,117 \cdot 1,4 \cong 4,36 \text{ (кг)}$$

($K_p = 1,4$ – розрахунковий коефіцієнт [9]);

– клас точності – Т5 [9];

– група сталі – М2 [9];

– ступінь складності – С2 [9]:

охоплююча фігура – циліндр;

$$50 \cdot 1,05 = 52,5 \text{ (мм) (діаметр);}$$

$$600 \cdot 1,05 = 630 \text{ (мм) (довжина);}$$

маса охоплюючої фігури (розрахункова):

$$m_p' = (\pi \cdot 5,25^2 / 4) \cdot 63 \cdot 7,8 \cong 10632 \text{ г} = 10,632 \text{ (кг);}$$

$$m_p / m_p' = 4,36 / 10,63 \cdot 2 = 0,41 \text{ ;}$$

– конфігурація поверхні роз'єму штамп – П

– вихідний індекс: 14

Визначаємо припуски та ковальський напуски:

а) основні припуски на розміри [9] (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Основні припуски

Розмір, мм	Шорсткість, R_a , мм	Припуск, мм (на сторону)
Ø22g6	0,63	2,0
Ø40f9	1,6	1,8
Ø50h14	3,2	2,3
Ø40f7	0,63	2,0
30 IT14/2	6,3	1,8
30 IT14/2	3,2	2,0
116±0,1	3,2	2,3
59h14	3,2	2,0
265±0,1	3,2	2,7
130h14	6,3	2,5
Ø18-0,012	1,6	2,0

б) додаткові припуски, які враховують [9]:

– відхилення від площинності, прямолінійності, вигнутості:

стержня – 1,0 мм (по довжині),

фланця – 0,4 мм (по довжині);

– зміщення на поверхні роз'єму штамп – 0,3 мм [9];

– при виготовленні поковок по класу точності Т5 із застосуванням полум'яного нагріву допускається збільшення припуску поковки з масою 3,2 кг до 0,5 мм [9], приймаємо 0,4 мм.

Визначаємо розміри поковки та їх припустимі відхилення:

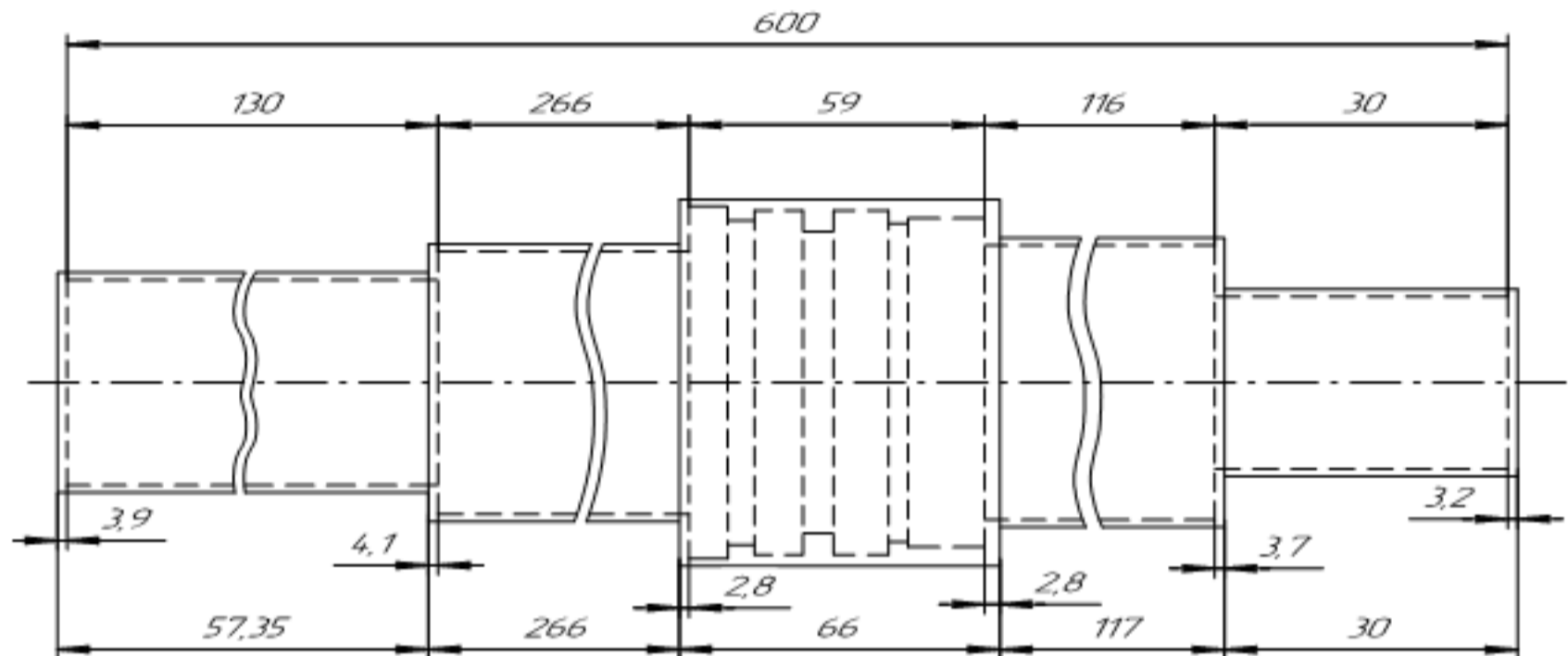


Рисунок 2.1 – До визначення лінійних розмірів заготовки

Діаметри:

$$\text{Ø}22g6+(2+1+0,4)\cdot 2 = 28,8 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 30 \text{ мм}$$

$$\text{Ø}40f9+(1,8+1+0,4)\cdot 2 = 46,4 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 46,5 \text{ мм}$$

$$\text{Ø}50+(2,3+0,4+0,4)\cdot 2 = 56,2 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 56 \text{ мм}$$

$$\text{Ø}40f7+(2+1+0,4)\cdot 2 = 36,8 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 47 \text{ мм}$$

$$\text{Ø}18+(2+1+0,4)\cdot 2 = 21,4 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 21,5 \text{ мм}$$

Довжини (див. табл. 2.4 та рис. 2.1):

$$30+(1,8+1+0,4)-(2,3+1+0,4) = 29,5 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 30 \text{ мм}$$

$$116+(2,3+1+4)-(2,0+0,4+0,4) = 116,9 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 117 \text{ мм}$$

$$59+(2,0+0,4+0,4)\cdot 2 = 65,6 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 66 \text{ мм}$$

$$265+(2,7+1+0,4)-(2,0+0,4+0,4) = 266,3 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 266 \text{ мм}$$

$$130+(2,5+1+0,4)-(2,7+1+0,4) = 129,8 \text{ (мм)}, \text{ приймаємо } 130 \text{ мм}$$

$$\sum L = 30 + 117 + 66 + 266 + 130 = 609 \text{ (мм)}.$$

Призначаємо припустимі відхилення розмірів [9]:

$\text{Ø}30-2,5 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,9 \end{smallmatrix} \right)$	$30-2,5 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,9 \end{smallmatrix} \right)$
$\text{Ø}37-2,5 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,9 \end{smallmatrix} \right)$	$117-3,2 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +2,1 \\ -1,1 \end{smallmatrix} \right)$
$\text{Ø}56-2,8 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +1,8 \\ -1,0 \end{smallmatrix} \right)$	$66-2,8 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +1,8 \\ -1,0 \end{smallmatrix} \right)$
$\text{Ø}36,5-2,5 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,9 \end{smallmatrix} \right)$	$266-4,0 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +2,7 \\ -1,3 \end{smallmatrix} \right)$
$\text{Ø}21,5-2,5 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,9 \end{smallmatrix} \right)$	$130-3,2 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +2,1 \\ -1,1 \end{smallmatrix} \right)$
	$609-4,5 \text{ мм } \left(\begin{smallmatrix} +3,0 \\ -1,5 \end{smallmatrix} \right)$

- Вибір конструктивних елементів заготовки (радіусів заокруглень, нахилів, товщин стінок, тощо)

Призначаємо заокруглення зовнішніх і внутрішніх кутів [9]:

- стержня – 2 мм (Ø30, Ø37, Ø36,5, Ø21,5);
- фланця – 2,5 мм (Ø56)

Допуски радіусів заокруглень [9]:

2,0 мм

Штампувальні нахили зовнішніх поверхонь [9]: 5° .

Допуск на відхилення штампувальних нахилів [9]: $\pm 1,25^\circ$.

У поковок, виготовлених на ГKM, припустима висота заусенця в площині роз'єму матриць не повинна перевищувати подвоєної величини залишкового облою [9]:

$$0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ (мм)}.$$

Заготовка – гарячекатаний круглий прокат

Згідно ГОСТ 2590-57 обираємо сортовий гарячекатаний круглий прокат підвищеної точності: $\text{Ø}55 \begin{smallmatrix} +0,2 \\ -1,0 \end{smallmatrix}$ який нарізається на штучні заготовки довжиною: $L = 610 \pm 1,5$ мм (при цьому враховується наступне: розрізання прокату на штучні заготовки буде здійснюватися на гільйотинних ножицях – точність розрізання від $\pm 0,25$ до ± 3 мм; припустима кривизна різку прутка не повинна перевищувати 5 мм для діаметрів вище 30 мм [9])

- Оформлення ескізів двох варіантів заготовки

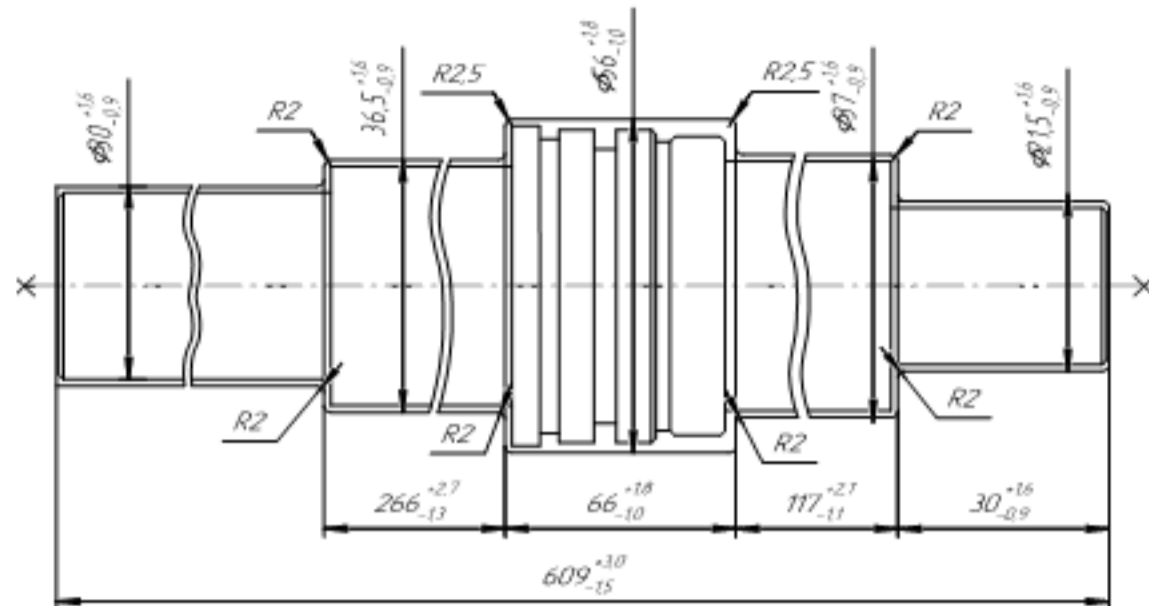


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки, яка виготовляється на ГKM

1. Припустиме зміщення по площині роз'єму штапу – не більше 0,3 мм.
2. Клас точності виготовлення – Т5, група сталі – М2, ступінь складності – С2.
3. Невказані штапувальні нахили зовнішніх поверхонь – 5°.
4. Припустимий заусенець – до 1,6 мм.

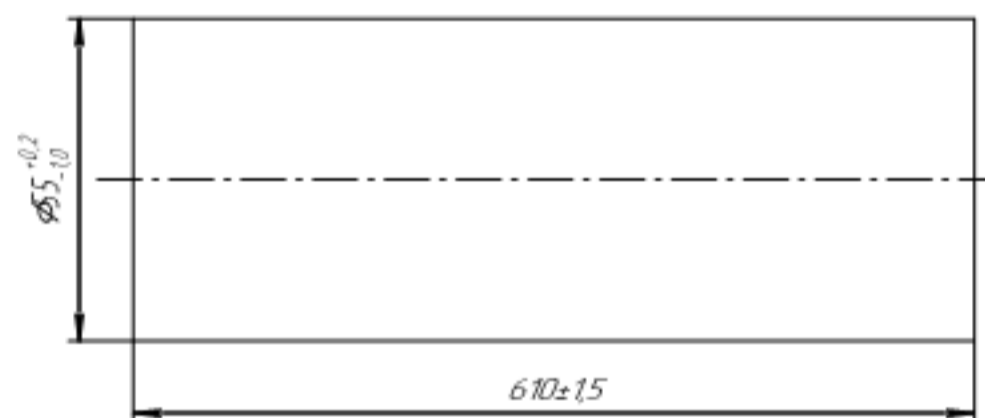


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки, яка виготовляється з круглого гарячекатаного сортового прокату підвищеної точності

- Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси для двох варіантів заготовки
Штапування на ГKM

Масу заготовки визначаємо по припуску, який знімається з кожної поверхні:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{д}} + m_{\text{відх}} \text{ [кг]}, \quad (2.11)$$

де $m_{\text{д}}$ – маса деталі; $m_{\text{відх}}$ – це маса відходів матеріалу

Визначаємо масу відходів при обробці таких поверхонь:

Ø22g6:

$$m_{\text{відх}_1} = \frac{(3^2 - 2,2^2) \cdot \pi}{4} \cdot 13 \cdot 7,8 = \frac{(9 - 4,84) \cdot \pi}{4} \cdot 13 \cdot 7,8 \cong 331,13 \text{ (г)}$$

Ø40f9:

$$m_{\text{відх}_2} = \frac{(3,65^2 - 3^2) \cdot \pi}{4} \cdot 26,5 \cdot 7,8 = \frac{(13,32 - 9) \cdot \pi}{4} \cdot 26,5 \cdot 7,8 \cong 701,37 \text{ (г)}$$

Ø50:

$$m_{\text{відх}_3} = \frac{(5,6^2 - 5^2) \cdot \pi}{4} \cdot 0,6 \cdot 7,8 = \frac{(31,36 - 25) \cdot \pi}{4} \cdot 0,6 \cdot 7,8 \cong 23,37 \text{ (г)}$$

Ø45h7:

$$m_{\text{відх}_4} = \frac{(5,6^2 - 4,5^2) \cdot \pi}{4} \cdot 5,3 \cdot 7,8 = \frac{(31,36 - 20,25) \cdot \pi}{4} \cdot 5,3 \cdot 7,8 \cong 360,54 \text{ (г)}$$

Ø39,8:

$$m_{\text{відх}_5} = \frac{(4,5^2 - 3,98^2) \cdot \pi}{4} \cdot 0,4 \cdot 7,8 = \frac{(20,25 - 15,84) \cdot \pi}{4} \cdot 0,4 \cdot 7,8 \cong 10,8 \text{ (г)}$$

Ø38,5:

$$m_{\text{відх}_6} = \frac{(4,5^2 - 3,85^2) \cdot \pi}{4} \cdot 0,55 \cdot 7,8 = \frac{(20,25 - 14,82) \cdot \pi}{4} \cdot 0,55 \cdot 7,8 \cong 18,29 \text{ (г)}$$

Ø42:

$$m_{\text{відх}_7} = \frac{(4,5^2 - 4,2^2) \cdot \pi}{4} \cdot 1,9 \cdot 7,8 = \frac{(20,25 - 17,64) \cdot \pi}{4} \cdot 1,9 \cdot 7,8 \cong 30,36 \text{ (г)}$$

Ø40f7:

$$m_{\text{відх}_8} = \frac{(3,7^2 - 3^2) \cdot \pi}{4} \cdot 11,6 \cdot 7,8 = \frac{(13,69 - 9) \cdot \pi}{4} \cdot 11,6 \cdot 7,8 \cong 331,12 \text{ (г)}$$

Ø18h6:

$$m_{\text{відх.}} = \frac{(2,15^2 - 1,8^2) \cdot \pi}{4} \cdot 3 \cdot 7,8 = \frac{(4,62 - 3,24) \cdot \pi}{4} \cdot 3 \cdot 7,8 \cong 25,35 \text{ (г)}$$

Визначасмо масу заготовки:

$$m_{\text{заг.ГКМ}} = 1270 + (331,13 + 701,37 + 23,37 + 360,54 + 10,8 + 18,29 + 30,36 + 331,12 + 25,35) = 3117 + 1832,33 = 4949,33 \text{ г} \cong 4,95 \text{ (кг)}$$

- Круглий прокат

$$m_{\text{заг.пр.}} = \frac{3,14 + 5,5^2}{4} \cdot 61 \cdot 7,8 = 11298,46 \text{ г} \cong 11,3 \text{ (кг)}$$

Визначення коефіцієнту точності маси для двох заготовок

Для заготовки, виготовленої на ГКМ:

$$K_{\text{в.м.ГКМ}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{ГКМ}}} = \frac{3,117}{4,95} \cong 0,629$$

для заготовки, виготовленої з круглого прокату:

$$K_{\text{в.м.пр.}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{заг.пр.}}} = \frac{3,117}{11,3} \cong 0,276$$

- Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовок та вибір найраціональнішого

Визначаємо вартості заготовок [9]:

ГКМ:

$$S_{\text{заг.ГКМ}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot m_{\text{заг.ГКМ}} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_n \cdot K_M \cdot K_n \right) - (m_{\text{заг.ГКМ}} - m_{\text{д}}) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000} \text{ [грн.],} \quad (2.12)$$

де K_T, K_C, K_B, K_M, K_P – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та обсягу виробництва заготовок; C_i – вартість 1 т заготовок; $S_{\text{відх.}}$ – вартість 1 т відходів

$$S_{\text{заг.гкм.}} = \left(\frac{23740}{1000} \cdot 4,95 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 0,89 \cdot 1,13 \cdot 1 \right) - (4,95 - 3,117) \cdot \frac{2000}{1000} = 142,46 \text{ (грн.)}$$

Прокат:

$$S_{\text{заг.пр.}} = M + \sum C_{\text{о.з.}} \text{ [грн.]}, \quad (2.13)$$

де M – витрати на матеріал заготовки; $\sum C_{\text{о.з.}}$ – технологічна собівартість операцій і правки, калібрування, розрізання їх на штучні заготовки тощо:

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{C_{\text{п.з.}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot 100} \text{ [грн.]}, \quad (2.14)$$

де $C_{\text{п.з.}}$ – приведені витрати на робочому місці [1]; $T_{\text{шт-к}}$ – штучно калькуляційний час на виконання заготівельної операції, $C_{\text{п.з.}} = 18000$ коп/год. (розрізання на ножицях)

$$M = m_{\text{заг.пр.}} \cdot S - (m_{\text{заг.пр.}} - m_{\text{л}}) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000} = 11,3 \cdot 15,6 - (11,3 - 3,117) \cdot \frac{2000}{1000} = 159,92 \text{ (грн.)}$$

$$T_{\text{шт-к}} = 4 \text{ хв.}$$

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{18000 \cdot 4}{60 \cdot 100} = 12 \text{ (грн.)}$$

Таким чином:

$$S_{\text{заг.пр.}} = 159,92 + 12 = 171,92 \text{ (грн.)}$$

Економічний ефект на річну програму виготовлення

$$E = (S_{\text{заг.пр.}} - S_{\text{заг.гкм}}) \cdot N = (171,92 - 142,46) \cdot 3000 = 88380 \text{ (грн.)}$$

Висновок. Коефіцієнт точності маси та вартість заготовки, отриманої штампуванням на ГKM, є більш економічним і тому для подальшої роботи і приймаємо цю заготовку.

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

а) Розглянемо пов. Ø22g6.

За довідником уточнюємо відхилення, які задав на кресленні конструктор Ø22g6 $\left(\begin{smallmatrix} -0,007 \\ -0,020 \end{smallmatrix}\right)$.

Шорсткість цієї поверхні після обробки повинна складати за кресленням $R_a = 0,63$ мкм

Загальне уточнення фактичне [1, 8]:

$$\varepsilon_{\sum \phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n \quad (2.15)$$

де $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$ – уточнення якого-небудь розмірного параметру заготовки по одному з переходів.

Потрібне уточнення:

$$\varepsilon_{\sum \text{погр.}} = \frac{T_{\text{заг.}}}{T_{\text{дет.}}} = \frac{a_{\text{заг.}}}{a_{\text{дет.}}}, \quad (2.16)$$

де $T_{\text{заг.}}$, $T_{\text{дет.}}$ – допуски параметру, який розглядається відповідно для заготовки та деталі; $a_{\text{заг.}}$, $a_{\text{дет.}}$ – кількість одиниць допуску для даного квалітету точності відповідно для заготовки та деталі.

Метод отримання заготовки – штампування. Обраний спосіб штампування – на горизонтально-кувальних машинах (ГKM).

Для 15-го квалітету точності розмірів заготовки: $T_{\text{заг.}} = 2500$ мкм, для 6-го квалітету точності розмірів деталі: $T_{\text{дет.}} = 13$ мкм.

Тоді:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2500}{13} = 192,3.$$

Приймаємо $n_{\text{пр}} = 5$, призначивши уточнення по окремим переходам:

$\varepsilon_1 = 6$ (рекомендовано $\varepsilon = 5 \dots 6$);

$\varepsilon_2 = 4$ (рекомендовано $\varepsilon = 3 \dots 4$);

$\varepsilon_3 = 4$;

$\varepsilon_4 = 2$ (рекомендовано $\varepsilon = 2 \dots 2,5$).

Тоді:

$$\varepsilon_{\Sigma \phi} = 6 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 2 = 192,3.$$

Після чорнової обробки:

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг.}}}{\varepsilon_1} = \frac{2500}{6} \cong 416,7 \text{ (мкм) } (\sim 13\text{-й квалітет});$$

після першої напівчистої обробки:

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{416,7}{4} \cong 104,2 \text{ (мкм) } (\sim 10\text{-й квалітет});$$

після другої напівчистої обробки:

$$T_3 = \frac{T_2}{2,5} = \frac{104,2}{4} \cong 26 \text{ (мкм) } (\sim 7\text{-й квалітет});$$

після чистої обробки:

$$T_4 = \frac{26}{2} = 13 \text{ (мкм) (6-й квалітет).}$$

Таким чином, наведена вище послідовність обробки пов. Ø22g6: обточування попереднє; обточування остаточне; шліфування попереднє; шліфування остаточне.

- Розглянемо пов. Ø40f7.

За довідником уточнюємо відхилення, які задав на кресленні конструктор: Ø40f7 $\left(\begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix}\right)$.

Шорсткість цієї поверхні після обробки повинна складати за кресленням $R_a = 0,63$ мкм, $T_{\text{заг.}} = 2500$ мкм, для 6-го квалітету точності розмірів деталі $T_{\text{дет.}} = 16$ мкм.

$$\varepsilon_{\sum \text{пор.}} = \frac{2500}{25} \cong 156,25 .$$

Приймаємо $n_{\text{пр}} = 4$, призначивши уточнення по окремим переходам:

$$\varepsilon_1 = 6; \varepsilon_2 = 4; \varepsilon_3 = 3,5; \varepsilon_4 = 1,86.$$

Тоді:

$$\varepsilon_{\sum \phi} = 6 \cdot 4 \cdot 3,5 \cdot 1,86 = 152,25 .$$

Після чорнкової обробки:

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг.}}}{\varepsilon_1} = \frac{2500}{6} \cong 416,7 \text{ (мкм) (~ 13-й квалітет);}$$

після першої напівчистої обробки:

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{416,7}{4} \cong 104,2 \text{ (мкм)} (\sim 10\text{-й квалітет});$$

після другої напівчистої обробки:

$$T_3 = \frac{T_2}{\varepsilon_3} = \frac{104,2}{3,5} \cong 29,8 \text{ (мкм)} (\sim 8\text{-й квалітет});$$

після чистої обробки:

$$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon_4} = \frac{29,8}{1,86} \cong 25 \text{ (мкм)} (7\text{-й квалітет}).$$

Таким чином, наведена вище послідовність обробки пов. $\varnothing 40f7 \left(\begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix} \right)$:

- обточування попереднє;
- обточування остаточне;
- шліфування попереднє;
- шліфування остаточне.

На інші поверхні кількість ступенів обробки визначається аналогічним способом, а дані про це зводимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

Поверхня, її розмір та шорсткість	Кількість ступенів обробки	Прийняті технологічні методи обробки по окремим ступеням
1	2	3
$\varnothing 45h7 \left(\begin{smallmatrix} +0,025 \\ \end{smallmatrix} \right)$, $R_a = 1,6 \text{ мкм}$	4	1. Точіння попереднє 2. Точіння остаточне 3. Шліфування попереднє 4. Шліфування остаточне

Продовження таблиці 2.5

1	2	3
$\varnothing 40f7 \left(\begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix} \right)$, $R_a = 0,63$ мкм	4	1. Точіння попереднє 2. Точіння остаточне 3. Шліфування попереднє 4. Шліфування остаточне
$\varnothing 18h6 \left(\begin{smallmatrix} - \\ -0,013 \end{smallmatrix} \right)$, $R_a = 1,6$ мкм	4	1. Точіння попереднє 2. Точіння остаточне 3. Шліфування попереднє 4. Шліфування остаточне
$\varnothing 40f9 \left(\begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,087 \end{smallmatrix} \right)$, $R_a = 1,6$ мкм		1. Точіння попереднє 2. Точіння остаточне 3. Шліфування однократне
Шпонковий паз $135^{+0,1} \times 20^{+0,052}$, $R_a = 3,2$ мкм	1	1. Фрезерування однократне
Паз $b = 6h9$ мм, $R_a = 3,2$ мкм (по ширині), $R_a = 6,3$ мкм (по дну)	1	1. Фрезерування однократне
Канавка $b = 5,5^{+0,12}$ мм, $R_a = 3,2$ мкм	2	1. Точіння попереднє 2. Точіння остаточне
Канавки $b = 3,25$ мм, $b = 4$ мм, $R_a = 3,2$ мкм	1	1. Точіння однократне
Центрування отворів по торцям, центрування отворів $\varnothing 8,5$, $\varnothing 6,2$, свердління отворів $\varnothing 8,5$, $\varnothing 6,2$	1	1. Свердління однократне
Отв. $\varnothing 10,5$, $\varnothing 12,5$	1	1. Цекування
Прорізання торців, обробка фасок	1	1. Точіння однократне

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових та чорнових технологічних баз

а) Чорнові бази використовуються на першій або на першій та другій операціях при обробці чистових баз, тобто тих поверхонь, які використовуються в якості баз на всіх наступних операціях.

Аналізуючи креслення деталі «Шток ГЦ 05.017.002» в якості чорнових баз на першій операції обираємо зовнішню циліндричну поверхню заготовки найбільшого діаметру та її торець (установ А) – підрізається торець, виконується центрувальний отвір, попередньо проточуються поверхні для остаточних розмірів $\varnothing 40f7$ та $\varnothing 18h6$ та підрізаються остаточні відповідні торці. На установі Б

заготовка базується на попередньо обробленій поверхні $\varnothing 40f7$ з упором в інший торець найбільшого діаметру заготовки – підрізається торець з іншого боку заготовки, виконується другий центрувальний отвір та проточуються попередньо поверхні під остаточні розміри $\varnothing 40f9$ та $\varnothing 22g6$ з підрізанням остаточно відповідних торців.

Деталь на першій операції планується обробляти на токарно-револьверному верстаті і встановлювати до трикулачкового самоцентруючого патрону з упором у відповідний торець на кожному установі

б) Вибір чистових баз.

На всіх інших операціях, за винятком фрезерно-свердлильних переходів, в якості чистових баз будуть використовуватися центрувальні отвори.

На плануємих в подальшому токарній та шліфувальній операціях при такому базуванні похибка базування на всі діаметральні та лінійні розміри буде відсутня, тому що заплановано прийняту схему базування реалізувати шляхом встановлення деталі до поводкового патрону з плаваючим переднім центром і обертовим заднім центром. Також, таке встановлення зробить можливим більш швидко замінювати деталі.

На фрезерній операції деталь найбільш доцільно базувати по зовнішнім циліндричним поверхням та по одному з торців деталі. Можливі два варіанти:

а) деталь базується по двом поверхням попередньо обробленими на токарній операції (залишається тільки їх прошліфувати) $\varnothing 22g6$ та $\varnothing 18h6$ з упором в торець поверхні $\varnothing 50$;

б) деталь базується по двом циліндричним поверхням (в подальшому їх потрібно тільки прошліфувати) $\varnothing 40f9$ та $\varnothing 40f7$ з упором в торець пов. $\varnothing 50$.

Порівняємо всі варіанти по виникаючій похибці базування і обираємо найкращий:

Варіант а)

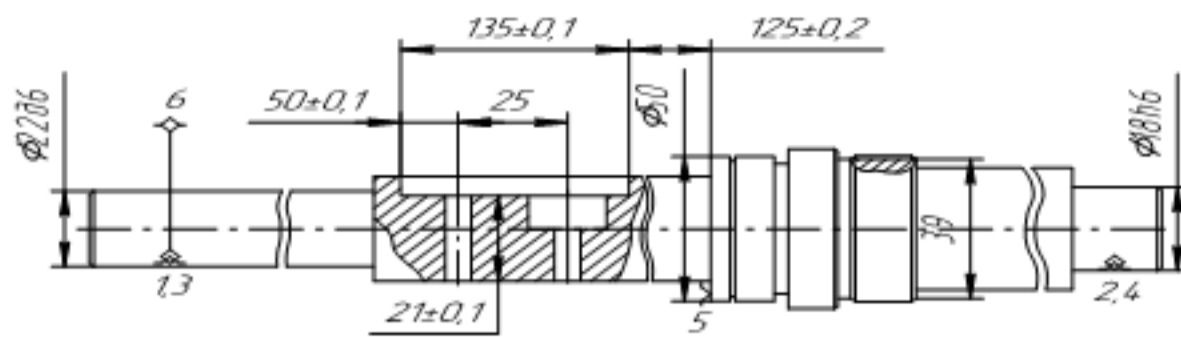

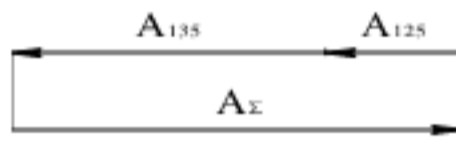


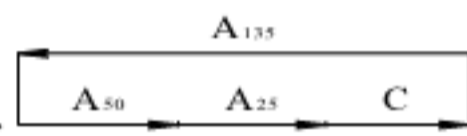
Рисунок 2.4 – Чистові технологічні бази (варіант а)

- Розмір $125 \pm 0,2$:  Т.Б. – технологічна база;
В.Б. – вимірювальна база.

$\varepsilon_{\delta_{145}} = 0$ – вимірювальна база співпадає з технологічною

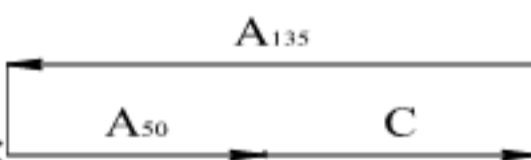
- Розмір $135^{+0,1}$: 

$\varepsilon_{\delta_{135}} = T_{125} = 400 \text{ мкм} > T_{135} (T_{135} = 100 \text{ мкм})$ – точність розміру не досягається

- Розмір $50 \pm 0,1$:  C – розмір налагодження

$\varepsilon_{\delta_{50}} = T_{135} + c ; c = 0;$

$\varepsilon_{\delta_{135}} = T_{135} = 100 \text{ мкм} < T_{50} (T_{50} = 200 \text{ мкм})$ – точність розміру досягається

- Розмір 25: 

$\varepsilon_{\delta_{25}} = T_{135} + T_{50} = 100 + 200 = 300 \text{ мкм} < T_{25} (T_{25} = 520 \text{ мкм})$ – точність розміру досягається

- Розмір $21 \pm 0,1$:

$$\varepsilon_{\delta_{21}} = T_{22} \cdot 0,5(1/\sin \alpha - 1) = 50 \cdot 0,5(1/0,707 - 1) = 25 \cdot 0,414 = 10,35 \text{ (мкм)}$$

$\varepsilon_{\delta_{21}} = 200 \text{ мкм} > \varepsilon_{\delta_{21}} (200 \text{ мкм} > \sim 10 \text{ мкм})$ – точність розміру досягається

- Розмір 39:

$$\varepsilon_{\delta_{39}} = T_{18} \cdot 0,5(1/\sin \alpha - 1) = 13 \cdot 0,5(1/0,707 - 1) = 6,5 \cdot 0,414 = 2,7 \text{ (мкм)}$$

$T_{39} = 620 \text{ мкм} > \varepsilon_{\delta_{39}} (620 > 2,7 \text{ мкм})$ – точність розміру досягається

Варіант б)

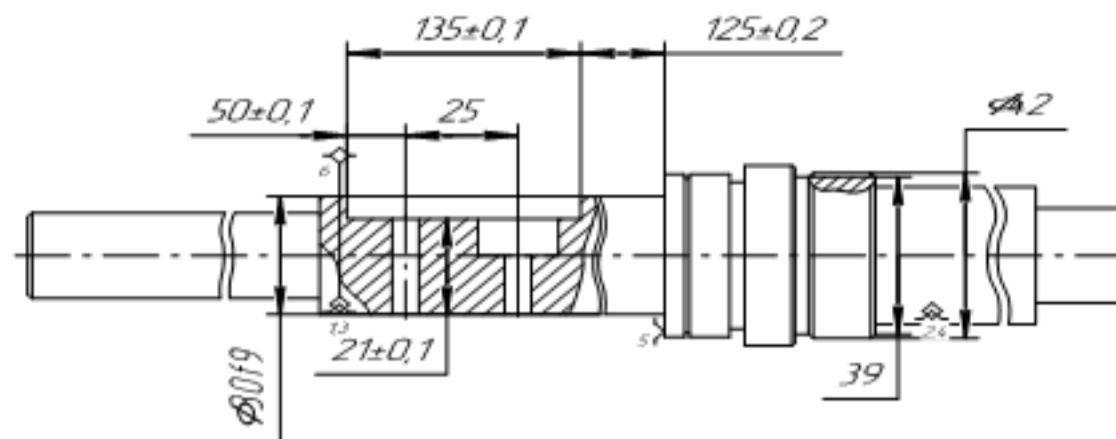


Рисунок 2.5 – Чистові технологічні бази (варіант б)

- розмір $125 \pm 0,2$: див. варіант а)
- розмір $135 \pm 0,1$ див. варіант а)
- розмір $50 \pm 0,1$ див. варіант а)
- розмір 25: див. варіант а)
- розмір $21 \pm 0,1$: див.

$$\varepsilon_{\delta_{21}} = T_{30} \cdot 0,5(1/\sin \alpha - 1) = 62 \cdot 0,5(1/0,70 - 1) = 31 \cdot 0,414 = 12,8 \text{ (мкм)}$$

$T_{21} = 200 \text{ мкм} > \varepsilon_{\delta_{21}} (200 > 12,8 \text{ мкм})$ – точність розміру досягається

– Розмір 39:

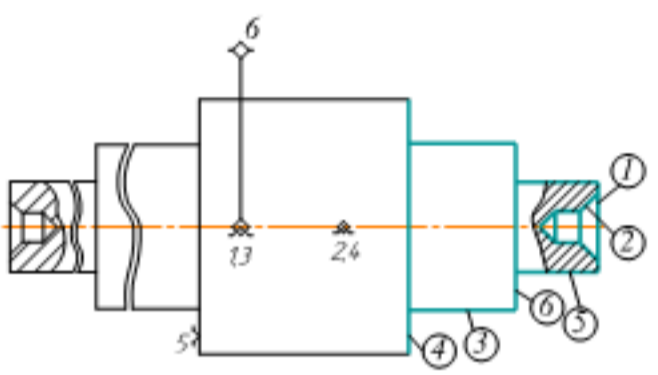
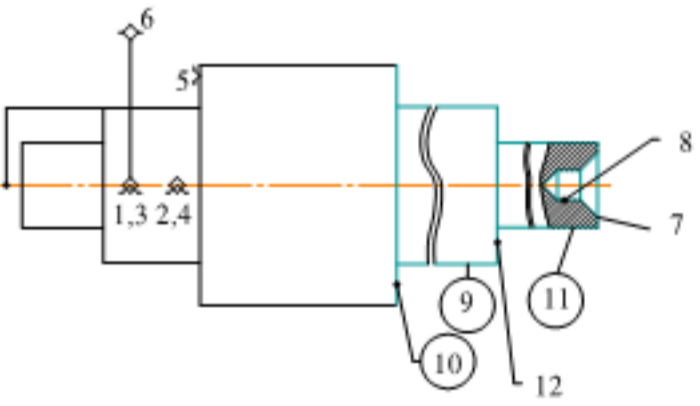
$$\varepsilon_{\delta_{39}} = T_{30} \cdot 0,5(1/\sin \alpha - 1) = 16 \cdot 0,5(1/0,70 - 1) = 8 \cdot 0,414 = 3,3 \text{ (мкм)}$$

$T_{39} = 620 \text{ мкм} > \varepsilon_{\delta_{39}} (620 > 3,3 \text{ мкм})$ – точність розміру досягається

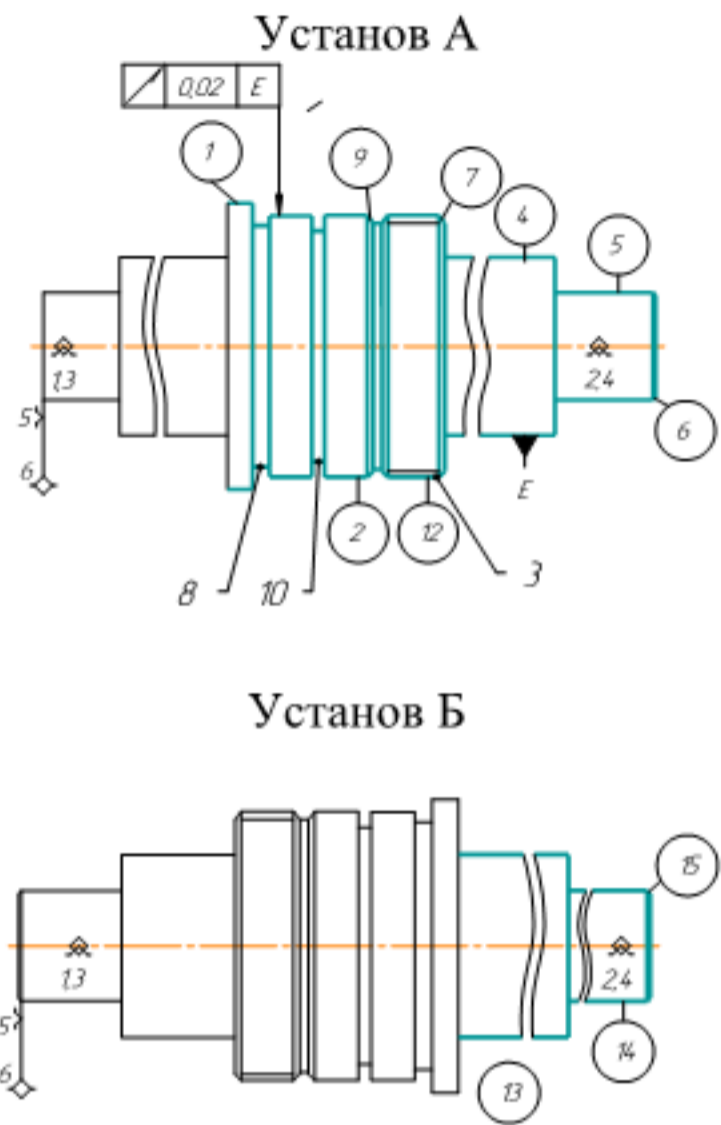
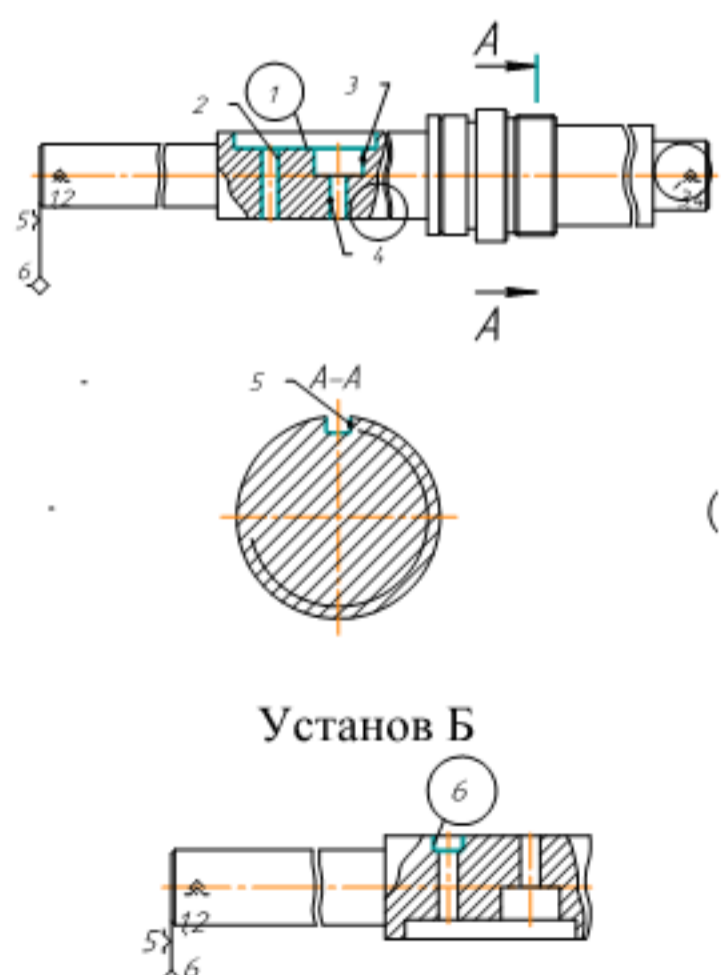
Висновок. В принципі, два розглянутих варіанти є рівноцінні з точки зору досягнення за допомогою відповідної схеми базування точності розмірів поверхонь, які за нею обробляються. Але схема варіанту б) забезпечує більшу точність, тому що між опорами (призмами) набагато менші відстані, а зона обробки знаходиться на мінімальній відстані від цих опор, тому її і приймаємо для остаточного формування технологічного маршруту.

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

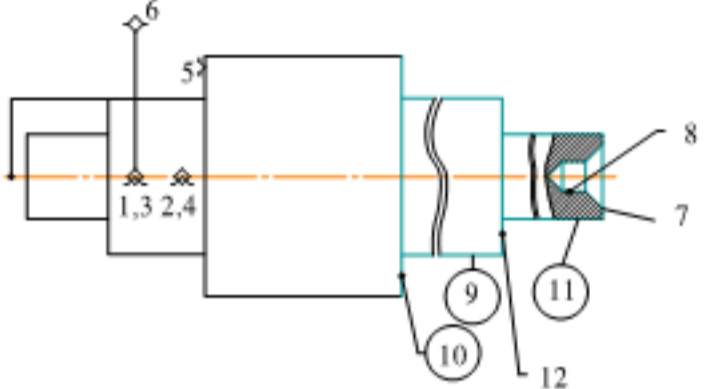
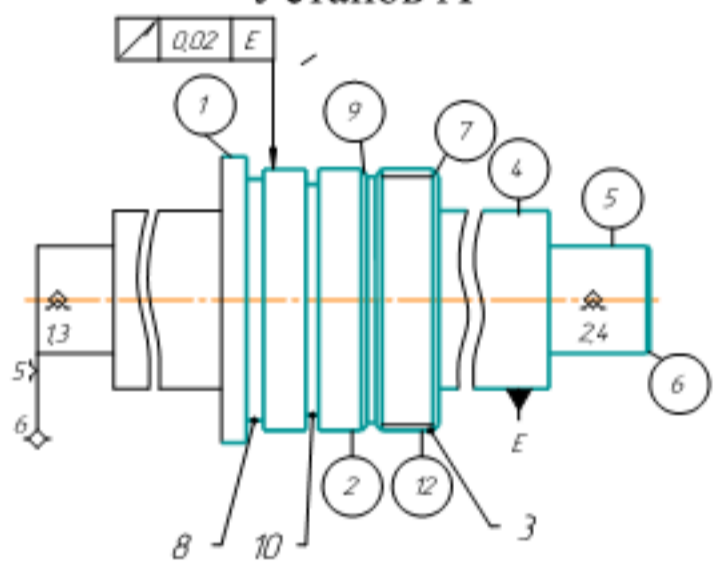
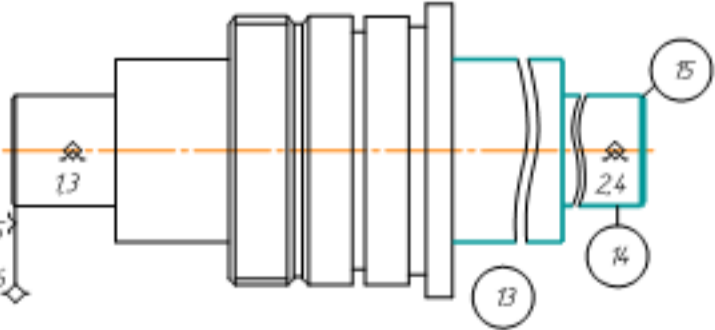
Таблиця 2.6 – Маршрут механічної обробки (1 варіант)

№ опер.	Зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Обладнання
1	2	3	4
005	<p><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <p style="text-align: center;">Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку 2. Точити торець 1 однократно 3. Центрувати отв. 2 за ГОСТ 14034-74 4. Точити пов. 3 попередньо 5. Точити торець 4 однократно 6. Точити пов. 5 попередньо 7. Точити торець 6 однократно <p style="text-align: center;">Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Точити торець 7 однократно 9. Центрув. отв. 8 за ГОСТ 14034-74 10. Точити пов. 9 попередньо 11. Точити торець 10 однократно 12. Точити пов. 11 попередньо 13. Точити торець 12 однократно 14. Зняти заготовку 	<p style="text-align: center;">Установ А</p>  <p style="text-align: center;">Установ Б</p> 	<p>ІП420ПФ30 (самоцентрувальний трикулачковий патрон)</p>

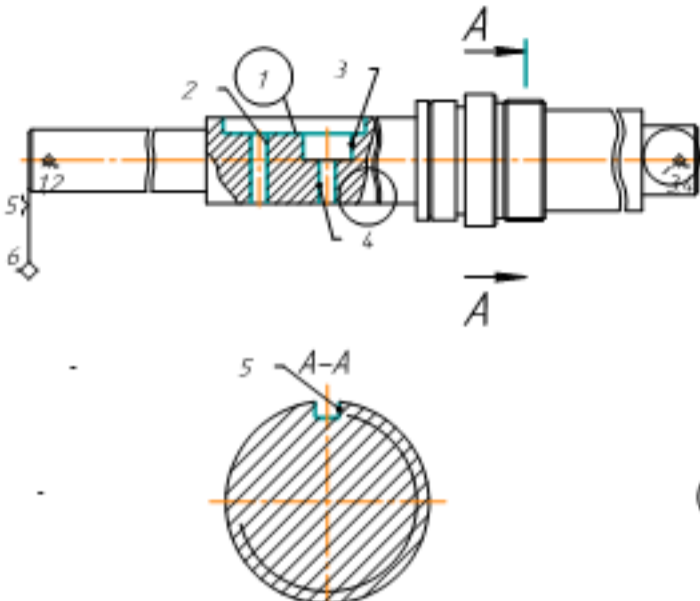
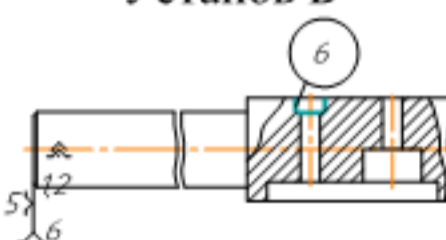
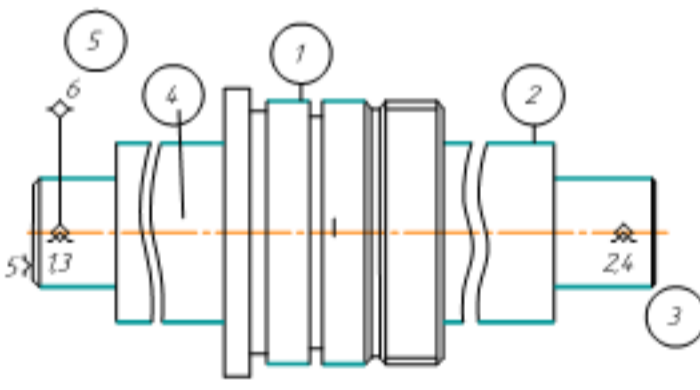
Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4
010	<p style="text-align: center;"><u>Токарна з ЧПК</u></p> <p style="text-align: center;">Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку 2. Точити пов. 1 однократно, пов. 2 попередньо, пов. 3 однократно. 3. Точити пов. 2, 4, 5 остаточно, точити фаски 6, 7, 9 однократно 4. Точити канавку 8 однократно 5. Точити канавку 10 однократно 6. Точити канавку 11 однократно 7. Нарізати різь 12 <p style="text-align: center;">Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Точити пов. 13, 14 остаточно, фаску 15 однократно 9. Зняти заготовку 		16K20T1 (центра з поводком; передній центр – плаваючий)
015	<p style="text-align: center;"><u>Фрезерна з ЧПК</u></p> <p style="text-align: center;">Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку 2. Фрезерувати пов. 1 однократно 3. Центрувати отв. 2, 3 4. Свердлити отв. 2 напрохід 5. Свердлити отв. 4 напрохід 6. Центрувати отв. 3 7. Фрезерувати паз 5 <p style="text-align: center;">Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Фрезерувати заглиблення 6 9. Зняти заготовку 		ЛТ260МФ3 (центра з поводком, передній центр – плаваючий; ділильна головка, що керується системою ЧПК)

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4
	<p style="text-align: center;">Установ Б</p> <p>8. Точити торець 7 однократно</p> <p>9. Центрув. отв. 8 за ГОСТ 14034-74</p> <p>10. Точити пов. 9 попередньо</p> <p>11. Точити торець 10 однократно</p> <p>12. Точити пов. 11 попередньо</p> <p>13. Точити торець 12 однократно</p> <p>14. Зняти заготовку</p>	<p style="text-align: center;">Установ Б</p> 	
010	<p style="text-align: center;"><u>Токарна з ЧПК</u></p> <p style="text-align: center;">Установ А</p> <p>1. Встановити заготовку</p> <p>2. Точити пов. 1 однократно, пов. 2 попередньо, пов. 3 однократно.</p> <p>3. Точити пов. 2, 4, 5 остаточно, точити фаски 6, 7, 9 однократно</p> <p>4. Точити канавку 8 однократно</p> <p>5. Точити канавку 10 однократно</p> <p>6. Точити канавку 11 однократно</p> <p>7. Нарізати різь 12</p> <p style="text-align: center;">Установ Б</p> <p>8. Точити пов. 13, 14 остаточно, фаску 15 однократно</p> <p>9. Зняти заготовку</p>	<p style="text-align: center;">Установ А</p>  <p style="text-align: center;">Установ Б</p> 	<p>16K20T1 (центра з поводком; передній центр – плаваючий)</p>

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4
015	<p align="center">Фрезерна з ЧПК</p> <p align="center">Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку 2. Фрезерувати пов. 1 однократно 3. Центрувати отв. 2, 3 4. Свердлити отв. 2 напрохід 5. Свердлити отв. 4 напрохід 6. Центрувати отв. 3 7. Фрезерувати паз 5 <p align="center">Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Фрезерувати заглиблення 6 9. Зняти заготовку 	<p align="center">Установ А</p>  <p align="center">Установ Б</p> 	<p align="center">ЛТ260МФ3 (центра з поводком, передній центр – плаваючий; ділянка головки, що керується системою ЧПК)</p>
020	Термічна		<p align="center">НВ 260...280</p>
025	<p align="center">Токарна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку 2. Точити пов. 1, 2, 3 попередньо 3. Точити пов. 1, 2, 3 остаточно 4. Точити пов. 4 однократно, пов. 5 попередньо 5. Точити пов. 5 остаточно 6. Зняти деталь 		<p align="center">МК6801Ф3 (центра з поводком)</p>

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

При порівнянні варіантів технологічного процесу обробки оцінюється річний економічний ефект:

$$E_p = \frac{N_p (\sum_1^a C_{o_1} - \sum_1^b C_{o_1})}{100} \text{ [грн.]}, \quad (2.17)$$

де N_p – річний обсяг виготовлення деталей, шт.; $\sum_1^a C_{o_1}$ – додаток собівартість операцій, які відрізняються по 1-му варіанту ТП; $\sum_1^b C_{o_1}$ – додаток собівартість операцій, які відрізняються по 2-му варіанту ТП; $C_{o_1} = \frac{C_{n-3} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot 1,3}$, де C_{n-3} – годинні приведені витрати; $T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час на операцію.

Визначасмо наближений економічний ефект з 2-х запропонованих варіантів ТП.

Таблиця 2.8 – Варіанти маршрутів механічної обробки

1-ий варіант		2-ий варіант	
Номер та назва операції	Обладнання	Номер та назва операції	Обладнання
005 Токарно-револьверна (2 установи)	1П420ПФ30	005 Токарна з ЧПК (2 установи)	1П420ПФ30
010 Токарна з ЧПК (2 установи)	16К20Т1	010 Токарна з ЧПК (2 установи)	16К20Т1
015 Фрезерна з ЧПК (2 установи)	ЛТ260МФ3Ф3	015 Фрезерна з ЧПК (2 установи)	ЛТ260МФ3Ф3
020 Термічна	Піч СВЧ	025 Термічна	Піч СВЧ
025 Круглошліфувальна з ЧПК	3М151Ф2	025 Токарна з ЧПК	МК6801Ф3
030 Круглошліфувальна з ЧПК	3М151Ф2	-	-

В обох варіантах ТП операції 005-020 являються ідентичними. Зробимо розрахунок економічного ефекту за операціями, які відрізняються.

1-ий варіант ТП

Витрати основного часу на операції 025: $T_{осн\ 025} = 1,33$ хв.

Витрати штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к\ 025} = \varphi_k \cdot \sum T_{осн\ 025} = 1,8 \cdot 1,33 = 2,4 \text{ (хв.)}$$

Приведені годинні витрати для верстата з ЧПК моделі 3М151Ф2:
 $C_{н.з.} = 42$ грн./год.

Технологічна собівартість операції 025:

$$C_{o\ 025} = \frac{C_{н.з.} \cdot T_{шт-к\ 025}}{60 \cdot K_B} = \frac{42 \cdot 2,4}{60 \cdot 1,3} = 1,3 \text{ (грн.)}$$

Витрати основного часу на операції 030: $T_{осн\ 030} = 0,71$ хв.

Витрати штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к\ 030} = \varphi_k \cdot \sum T_{осн\ 030} = 1,8 \cdot 0,71 = 1,28 \text{ (хв.)}$$

Приведені годинні витрати для верстата з ЧПК моделі 3М151Ф2:
 $C_{н.з.} = 42$ грн./год.

Технологічна собівартість операції 030:

$$C_{o\ 030} = \frac{C_{н.з.} \cdot T_{шт-к\ 030}}{60 \cdot K_B} = \frac{42 \cdot 1,28}{60 \cdot 1,3} = 0,69 \text{ (грн.)}$$

Отже, загальна технологічна собівартість процесу за 1-м варіантом ТП складає:

$$C_{o_I} = C_{o_{025}} + C_{o_{030}} = 1,3 + 0,69 = 1,99 \text{ (грн.)}$$

2-ий варіант ТП

Витрати основного часу на операції 025 обчислені за формулами загального наближення і складають: $T_{осн\ 025} = 1,325$ хв.

Витрати штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к\ 025} = \varphi_k \cdot \sum T_{осн\ 025} = 1,66 \cdot 1,325 = 2,19 \text{ (хв.)}$$

Приведені годинні витрати для верстата з ЧПК моделі МК6801Ф3:
 $C_{н.з.} = 48,6$ грн./год.

Технологічна собівартість операції 025, а, отже, і за 2-м варіантом ТП:

$$C_{оп} = C_{о\ 025} = \frac{C_{н.з.} \cdot T_{шт-к\ 025}}{60 \cdot K_B} = \frac{48,6 \cdot 2,19}{60 \cdot 1,3} = 1,36 \text{ (грн.)}$$

Річний економічний ефект може скласти величину:

$$E_p = 3000 \cdot (1,99 - 1,36) = 1890 \text{ (грн.)}$$

Висновок. Попереднє техніко-економічне порівняння 2-х запропонованих удосконалених технологічних процесів віддає перевагу 2-му варіанту, як більш дешевому. Цей варіант і приймаємо для подальшої роботи.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

- Вибір розташування технологічних розмірів

Варіант проставлення технологічних розмірів на цих операціях наведений на рис. 2.6.

Розміри $Z_0 \dots Z_4$ визначають розташування базових поверхонь деталі. технологічні розміри $B_1 \dots B_{14}$ характеризують послідовність процесу механічної

обробки, за яким утворюються конструкторські розміри $K_1 \dots K_{15}$ і визначають положення як базових, так і інших поверхонь деталі.

- Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Співставляючи розташування технологічних розмірів з кресленням деталі, можна побачити, що деякі з цих розмірів співпадають з конструкторськими, тому мають однакові допуски:

$$\begin{aligned} T(B_3) = T(K_1) = 0,4 \text{ (мм)}; & & T(K_2) = 0,2 \text{ (мм)}; \\ T(B_8) = T(K_7) = 0,4 \text{ (мм)}; & & T(K_3) = 0,6 \text{ (мм)}; \\ T(B_9) = T(K_8) = 0,2 \text{ (мм)}; & & T(K_4) = 0,6 \text{ (мм)}; \\ T(B_{10}) = T(K_{12}) = 0,4 \text{ (мм)}; & & T(K_5) = 0,6 \text{ (мм)}; \\ T(B_{11}) = T(K_{14}) = 0,4 \text{ (мм)}; & & T(K_{15}) = 0,6 \text{ (мм)}; \\ & & T(B_{14}) = T(K_{14}) = 0,4 \text{ (мм)}; \\ & & T(B_{13}) = T(K_{13}) = 0,2 \text{ (мм)}; \\ & & T(B_{12}) = T(K_{11}) = 0,1 \text{ (мм)}; \\ & & T(B_7) = T(K_5 + K_6) = 0,4 + 0,4 = 0,8 \text{ (мм)}. \end{aligned}$$

Конструкторські розміри K_9 та K_{10} досягаються за рахунок використання мірного інструмента.

Допуски на всі інші технологічні розміри та розміри заготовки призначаємо за відповідними квалітетами точності:

$$\begin{aligned} T(B_1) &= 0,4 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2); \\ T(B_2) &= 1,0 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2); \\ T(B_4) &= 1,0 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2); \\ T(B_5) &= 1,6 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2); \\ T(B_6) &= 1,0 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2); \\ T(B_7) &= 0,6 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2); \\ T(Z_0) &= 1,6 \text{ (мм)} \quad (h14); \end{aligned}$$

$$T(З_1) = 0,4 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2);$$

$$T(З_2) = 0,6 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2);$$

$$T(З_3) = 0,6 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2);$$

$$T(З_4) = 1,0 \text{ (мм)} \quad (\pm IT14/2).$$

- Розмірна схема технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу представлена на рис. 2.6.

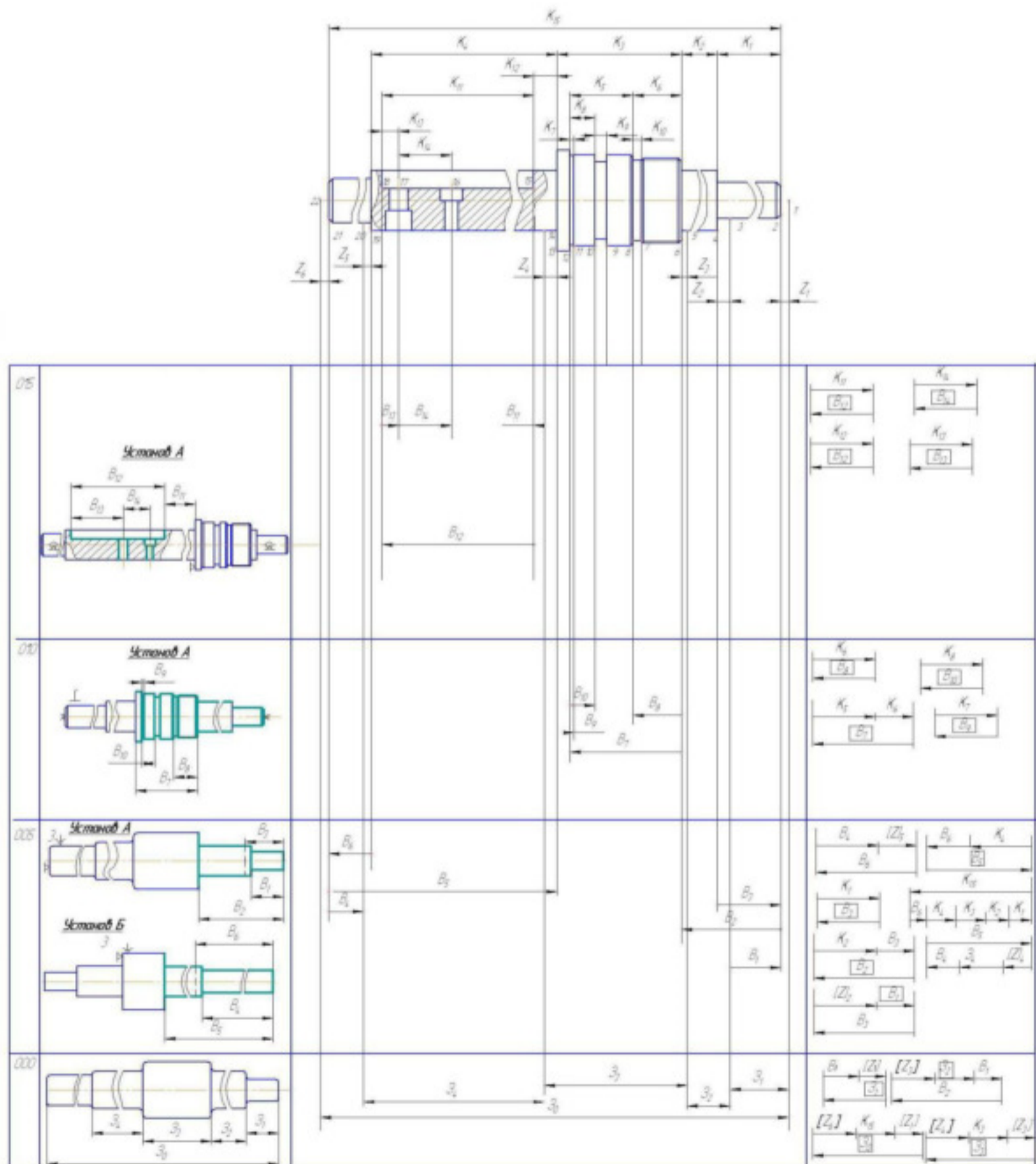


Рисунок 2.6 – Розмірна схема технологічного процесу

- Похідний, вихідний граф-дерево, суміщений граф
 Побудовані графи-дерева наведено на рис. 2.7-2.9.

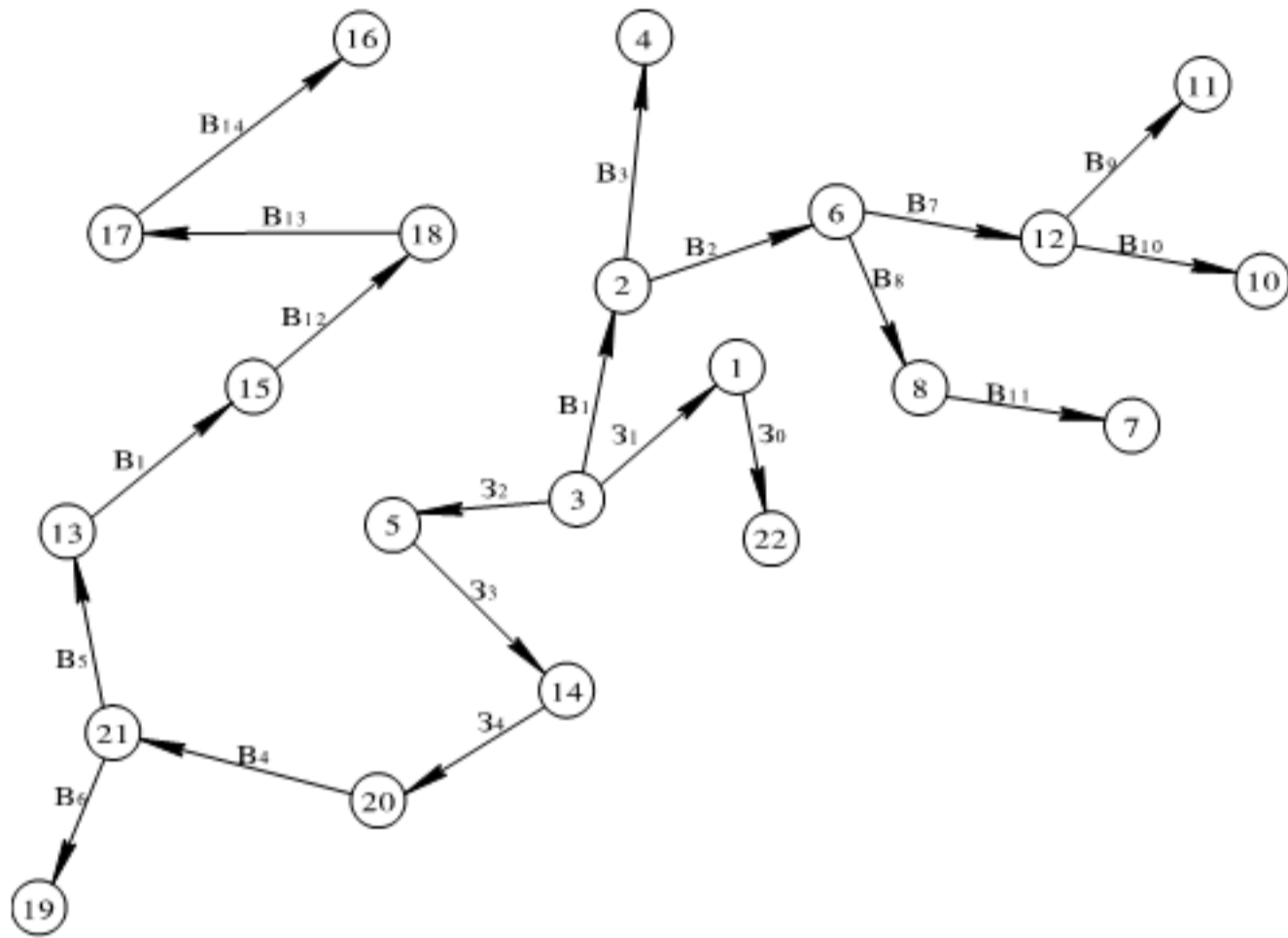


Рисунок 2.7 – Похідний граф-дерево

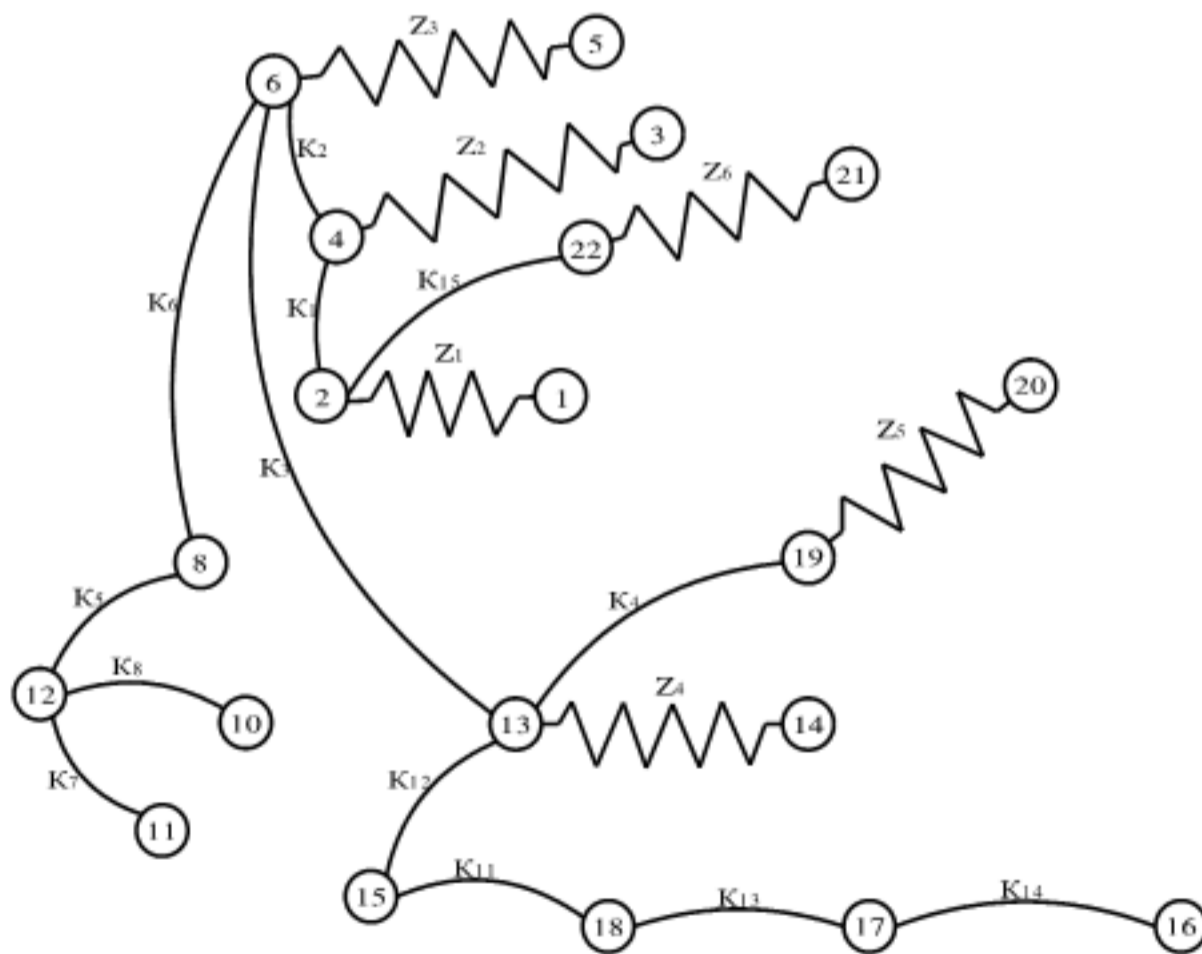


Рисунок 2.8 – Вихідний граф-дерево

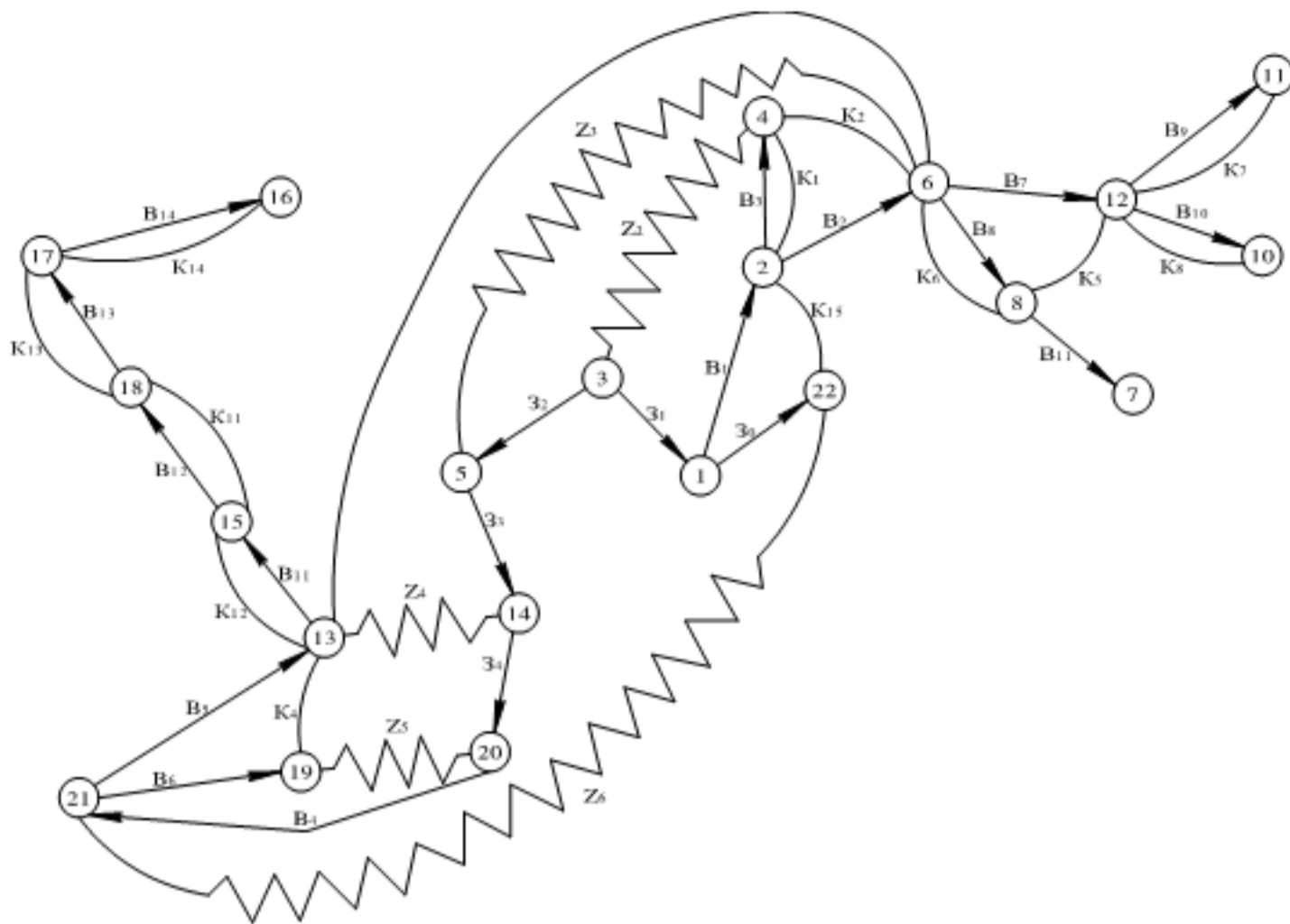


Рисунок 2.9 – Суміщений граф

- Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Призначаємо такі мінімальні припуски:

$$Z_{1\min} = Z_{6\min} = Z_{2\min} = Z_{3\min} = Z_{4\min} = Z_{5\min} = 0,4 \text{ (мм)}.$$

- Таблиця рівнянь технологічних розмірів ланцюгів

Таблиця 2.10 – Таблиця рівнянь технологічних розмірів ланцюгів

Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	2	3
1. $B_3 - K_1 = 0$	$K_1 = B_3$	B_3
2. $B_3 - B_1 - Z_2 = 0$	$Z_2 = B_3 - B_1$	B_1
3. $3_1 - B_1 - Z_1 = 0$	$Z_1 = 3_1 - B_1$	3_1
4. $B_2 - K_2 - B_3 = 0$	$K_2 = B_2 - B_3$	B_2
7. $B_5 - B_4 - Z_2 = 0$	$Z_5 = B_6 - B_4$	B_4
6. $B_5 - B_6 - K_4 = 0$	$K_4 = B_5 - B_6$	B_5
8. $B_5 - Z_4 - 3_4 - B_4 = 0$	$Z_4 = B_5 - 3_4 - B_4$	3_4
9. $B_7 - K_5 - K_6 = 0$	$K_5 + K_6 = B_7$	B_7

Продовження таблиці 2.10

1	2	3
10. $B_8 - K_6 = 0$	$K_6 = B_8$	B_8
11. $B_9 - K_7 = 0$	$K_7 = B_9$	B_9
12. $B_{10} - K_8 = 0$	$K_8 = B_{10}$	B_{10}
13. $B_{11} - K_{12} = 0$	$K_{12} = B_{11}$	B_{11}
14. $B_{14} - K_{14} = 0$	$K_{14} = B_{14}$	B_{14}
15. $B_{13} - K_{13} = 0$	$K_{13} = B_{13}$	B_{13}
16. $B_{12} - K_{11} = 0$	$K_{11} = B_{12}$	B_{12}
17. $Z_2 - B_2 + B_1 + Z_3 = 0$	$Z_3 = B_2 - B_1 - Z_2$	Z_2
18. $Z_3 - K_3 - Z_3 - Z_4 = 0$	$Z_4 = Z_3 - K_3 - Z_3$	Z_3
19. $Z_0 - K_{15} - Z_1 - Z_6 = 0$	$Z_6 = Z_0 - K_{15} - Z_1$	Z_0
5. $B_6 - K_{15} + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = 0$	$K_{15} = B_6 - (K_1 + K_2 + K_3 + K_4)$	B_6

- Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція (за необхідністю) допусків технологічних розмірів і (або) маршруту механічної обробки

Ланцюги 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 є дволанцюговими, тобто технологічні розміри співпадають в даній схемі з конструкторськими розмірами:

$$B_3 = K_1 = 30 \pm 0,2$$

$$B_8 = K_6 = 23 \pm 0,4$$

$$B_9 = K_7 = 4 \pm 0,1$$

$$B_{10} = K_8 = 12 \pm 0,2$$

$$B_{11} = K_{12} = 125 \pm 0,2$$

$$B_{14} = K_{14} = 25 \pm 0,2$$

$$B_{13} = K_{13} = 50 \pm 0,1$$

$$B_{12} = K_{11} = 135^{+0,1}$$

Ланцюг 2:

$$Z_2 = B_3 - B_1,$$

для $Z_{2\min}$:

$$Z_{2\min} = B_{3\min} - B_{1\max}$$

$$B_{1\max} = B_{3\min} - Z_{2\min} = 29,8 - 0,4 = 29,4 \text{ (мм)}$$

$$B_{1\max} = B_{3\min} - T_{B1} = 29,4 - 0,4 = 29,0 \text{ (мм)}$$

$$Z_{2\max} = B_{3\max} - B_{1\min} = 30,2 - 29,0 = 1,2 \text{ (мм)}$$

$$B_{1\text{ном}} = 29,2 \pm 0,2$$

Ланцюг 3:

$$Z_1 = Z_1 - B_1,$$

для $Z_{1\text{min}}$:

$$Z_{1\text{min}} = Z_{1\text{min}} - B_{1\text{max}}$$

$$Z_{1\text{min}} = Z_{1\text{min}} + B_{1\text{max}} = 0,4 + 29,4 = 29,8 \text{ (мм)}$$

$$Z_{1\text{max}} = Z_{1\text{min}} - T_{Z1} = 29,8 + 0,4 = 30,2 \text{ (мм)}$$

$$Z_{1\text{max}} = Z_{1\text{max}} - B_{1\text{min}} = 30,2 - 29,0 = 1,2 \text{ (мм)}$$

$$Z_{1\text{ном}} = 30 \pm 0,2$$

Ланцюг 4:

$$K_2 = B_2 - B_3$$

$$K_{2\text{min}} = B_{2\text{min}} - B_{3\text{max}}; K_2 = 116 \pm 0,11$$

$$B_{2\text{min}} = K_{2\text{min}} + B_{3\text{max}} = 115,89 + 30,2 = 146,09 \text{ (мм)}$$

$$K_{2\text{max}} = B_{2\text{max}} - B_{3\text{min}}$$

$$B_{2\text{max}} = K_{2\text{max}} + B_{3\text{min}} = 116,11 + 39,8 = 145,91 \text{ (мм)}$$

$$B_{2\text{ном}} = 145,8 \pm 0,11$$

Ланцюг 5

$$K_{15} - (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) - B_6 = 0$$

$$B_6 = K_{15} - (K_1 + K_2 + K_3 + K_4)$$

$$B_{6\text{max}} = K_{15\text{max}} - (K_{1\text{min}} + K_{2\text{min}} + K_{3\text{min}} + K_{4\text{min}}) = 60 - \\ - (29,8 + 115,9 + 58,7 + 264,9) = 130,3 \text{ (мм)}$$

$$B_{6\text{min}} = B_{6\text{max}} - T_{B6} = 130,3 - 1 = 129,3 \text{ (мм)}$$

$$B_{6\text{ном}} = 129,8 \pm 0,8$$

Ланцюг 6:

$$B_6 + K_4 - B_5 = 0; K_4 = 265 \pm 0,1$$

$$B_5 = B_6 + K_4$$

$$B_{5\text{min}} = B_{6\text{min}} + R_{4\text{max}} = 129,3 + 265,1 = 394,4 \text{ (мм)}$$

$$B_{5\text{max}} = B_{5\text{min}} + T_{B5} = 394,4 + 1,6 = 396 \text{ (мм)}$$

$$B_{5\text{ном}} = 395,2 \pm 0,8$$

Ланцюг 7:

$$B_4 + Z_5 - B_6 = 0$$

$$Z_{5\min} = B_{6\min} - B_{4\max}$$

$$B_{4\max} = B_{6\min} - Z_{5\min} = 129,3 - 0,4 = 128,9 \text{ (MM)}$$

$$B_{4\min} = B_{4\max} - T_{B4} = 128,9 - 1 = 127,9 \text{ (MM)}$$

$$Z_{5\max} = B_{6\max} - B_{4\min} = 130,3 - 127,9 = 2,4 \text{ (MM)}$$

$$B_{4\text{НОМ}} = 128,4 \pm 0,5$$

Ланцюг 8:

$$B_5 - Z_4 - 3_4 - B_4 = 0$$

$$Z_4 = B_5 - 3_4 - B_4$$

$$Z_{4\min} = B_5 - 3_{4\max} - B_{4\max};$$

$$3_{4\max} = B_{5\min} - B_{4\max} - Z_{4\min} = 394,4 - 128,9 - 0,4 = 265,1 \text{ (MM)}$$

$$3_{4\min} = 3_{4\max} - T_{34} = 265,1 - 1 = 264,1 \text{ MM}$$

$$Z_{4\max} = B_{5\max} - 3_{4\min} - B_{4\min} = 396 - 264,1 - 127,9 = 4 \text{ (MM)}$$

$$3_{4\text{НОМ}} = 264,6 \pm 0,5$$

Ланцюг 9:

$$B_7 - K_5 - K_6 = 0; K_5 = 30 \pm 0,2; K_6 = 23 \pm 0,2$$

$$K_5 + K_6 = B_7$$

$$B_{7\max} = K_{5\max} + K_{6\max} = 30,2 + 23,2 = 53,4 \text{ (MM)}$$

$$B_{7\min} = B_{7\max} - 0,4 = 53,4 - 0,4 = 53,0 \text{ (MM)}$$

$$B_{7\text{НОМ}} = 53,2 \pm 0,2$$

Ланцюг 17:

$$3_2 - B_2 + B_1 + Z_3 = 0;$$

$$Z_3 = B_2 - B_{1\max} - 3_{2\max}$$

$$3_{2\max} = B_{2\min} - B_{1\max} - Z_{3\min} = 145,29 - 29,4 - 0,4 = 115,49 \text{ (MM)}$$

$$3_{2\min} = 3_{2\max} - T_{32} = 115,49 - 0,6 = 114,89 \text{ MM}$$

$$Z_{3\max} = B_{2\max} - B_{1\min} - 3_{2\min} = 145,5 - 29 - 114,89 = 1,62 \text{ (MM)}$$

$$3_{2\text{НОМ}} = 115,19 \pm 0,3$$

Ланцюг 18:

$$3_3 - K_3 - Z_3 - Z_4 = 0; K_3 = 59 \pm 0,3$$

$$Z_4 = 3_3 - K_3 - Z_3$$

$$Z_{4\min} = Z_{3\min} - K_{3\max} - Z_{3\max}$$

$$Z_{3\min} = K_{3\max} + Z_{4\min} + Z_{3\max} = 59,3 + 0,4 + 1,62 = 61,32 \text{ (мм)}$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + T_{33} = 61,32 + 0,6 = 61,92 \text{ (мм)}$$

$$Z_{3\text{ном}} = 61,62 \pm 0,3$$

Ланцюг 19:

$$Z_0 - K_{15} - Z_1 - Z_6 = 0; \quad K_{15} = 600 - 1,75$$

$$Z_6 = Z_0 - K_{15} - Z_{1\max}$$

$$Z_{0\min} = K_{15\max} + Z_{1\max} + Z_{6\min} = 600 + 1,2 + 0,4 = 601,6 \text{ (мм)}$$

$$Z_{0\max} = Z_{0\min} + T_{30} = 601,6 + 1,6 = 603,2 \text{ мм}$$

$$Z_{6\max} = Z_{0\max} - K_{15\min} - Z_{1\min} = 603,2 - 508,25 - 0,4 = 4,55 \text{ (мм)}$$

$$Z_{0\text{ном}} = 603,2_{-1,6}$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Технологічні розміри та розміри вихідної заготовки

Розміри заготовки, мм Технологічні розміри	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	B_1	B_2	B_3	B_4	
Попереднє значення допусків	1,6	0,4	0,6	0,6	1,0	0,4	0,22	0,4	1,0	
Квалітет точності	h14	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	
Остаточні значення допусків	1,6	0,4	0,6	0,6	1,0	0,4	0,22	0,4	1,0	
Номинальні розміри	603,2	30,0	115,1 9	61,62	264,6	29,2	145,8	30,0	128,4	
Розміри заготовки, мм Технологічні розміри	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}
Попереднє значення допусків	1,6	1,0	0,4	0,8	0,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,4
Квалітет точності	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$	H9	IS12	$\pm \frac{\text{IT}14}{2}$
Остаточні значення допусків	1,6	1,0	0,4	0,8	0,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,4
Номинальні розміри	395,2	129,8	53,2	23,0	4,0	12,0	125,0	135,0	50,0	25,0

Таблиця 2.12 – Призначені припуски

Припуски, мм		Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
Граничні розміри, мм	Z_{\min}	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Z_{\max}	1,2	1,2	1,62	4,0	2,4	4,55

Висновок. За результатами розмірно-точнісного моделювання були визначені чисельні значення технологічних розмірів і розмірів заготовки, виконано остаточне призначення допусків та визначені графічні розміри припусків.

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Аналітичний розрахунок припусків та міжопераційних розмірів на поверхню $\varnothing 22g6 \left(\begin{smallmatrix} -0,007 \\ -0,020 \end{smallmatrix} \right)$ [1]

Обробка виконується в поводковому патроні в центрах. Передній центр плаваючий, задній центр – обертовий.

Маршрут обробки: точіння попереднє (чорнове), точіння остаточне (чистове), точіння тверде попереднє, точіння тверде остаточне.

Для зовнішніх і внутрішніх поверхонь мінімальний припуск визначаємо по формулі:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \text{ [МКМ]}, \quad (2.18)$$

де Rz – висота мікронерівностей, мкм; T_i – глибина дефектного шару, мкм; ρ – сума просторих відхилень, мкм; ε – похибка встановлення, мкм.

Сумарне значення просторових відхилень складає для штампованої заготовки при обробці в центрах:

$$\rho_{\text{жол.}} = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{жол.}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \text{ [МКМ]}, \quad (2.19)$$

де $\rho_{\text{жол.}}$ – похибка жолоблення заготовки:

$$\rho_{\text{жол.}} = \Delta k l = 1,5 \cdot 205 = 307,5 \text{ мкм} = 0,308 \text{ мм}.$$

$\rho_{\text{зм}}$ – допуск на зміщення одних ділянок поверхні відносно інших, наприклад, викликано неспівпаданням напівматриць в горизонтально-кувальних

машинах; $\rho_{\text{max}} = 0,3$ мкм [1] для класу точності Т5; ρ_u – похибка центрування; при установці заготовки в плаваючому передньому центрі: $\rho_u = 0$

Тоді:

$$\rho = \sqrt{300^2 + 307,5^2} = \sqrt{900,00 + 94556,25} = 429,6 \text{ (мкм)} .$$

Залишкові просторові відхилення:

$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho = 0,06 \cdot 429,6 = 25,78$ (мкм) – після попереднього обточування;

$\rho_2 = 0,04 \cdot \rho_1 = 0,04 \cdot 25,78 = 1,03$ (мкм) – після остаточного обточування;

ρ – після попереднього твердого точіння.

Похибка встановлення для однопозиційної обробки:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.20)$$

де ε_6 – похибка базування, $\varepsilon_6 = 0$, тому що єдиний розмір, який повинен бути досягнутий при обробці – це довжина деталі 130 мм (див. розмірний ланцюг) має похибку базування, яка дорівнює допуску на загальну довжину деталі; ε_3 – похибка закріплення, по причині незначних пружних деформацій її не враховуємо, тобто $\varepsilon_3 = 0$

Записуємо технологічний маршрут обробки, дані для розрахунків, а також результати розрахунків заносимо до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Припуски та міжопераційні розміри

Технологічні переходи обробки поверхні $\text{Ø}22\text{g}6\left(\begin{smallmatrix} -0,007 \\ -0,020 \end{smallmatrix}\right)$	Елементи припуску, мм			Розрахунковий розмір d_p , мм	Розрахунковий припуск $2Z_{\text{min}}$, мкм	Допуск δ , мкм	Межовий розмір, мм		Оптові значення припусків, мкм	
	R_z	T	ρ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{\text{min}}^{\text{оп}}$	$2Z_{\text{max}}^{\text{оп}}$
Заготовка	150	200	430	23,96	–	840	24,0	24,84		
Точіння:										
– попереднє	50	50	25,8	22,15	2·780	130	22,4	22,53	1600	2310
– остаточне	30	30	1,0	22,02	2·126	33	22,15	22,18	250	350
Точіння тверде:										
– попереднє	10	20	–	21,98	2·61	21	22,0	22,02	150	160
– остаточне	5	15	–		2·20	13	21,98	21,99	20	30
Всього:									2200	2850

Розрахунок мінімальних значень припусків здійснюємо за формулою:

$$2Z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) \text{ [МКМ]}.$$

Під попереднє обточування: $2Z_{\min1} = 2(150 + 200 + 430) = 2 \cdot 780 \text{ (МКМ)} ;$

під остаточне обточування: $2Z_{\min2} = 2(50 + 50 + 25,8) = 2 \cdot 125,8 \cong 2 \cdot 126 \text{ (МКМ)} ;$

під попереднє тверде точіння: $2Z_{\min3} = 2(30 + 30 + 1) = 2 \cdot 61 \text{ (МКМ)} ;$

під остаточне тверде точіння: $2Z_{\min4} = 2(5 + 15) = 2 \cdot 20 \text{ (МКМ)} .$

Визначаємо розрахункові розміри d_p :

$$d_{p3} = d_{\min} + 2Z_{\min3} = 21,98 + 0,04 = 22,02 \text{ (мм)};$$

$$d_{p2} = d_{p3} + 2Z_{\min2} = 22,02 + 0,132 = 22,152 \text{ мм} \approx 22,15 \text{ (мм)};$$

$$d_{p1} = d_{p2} + 2Z_{\min1} = 22,15 + 0,252 = 22,402 \text{ мм} \approx 22,40 \text{ (мм)};$$

$$d_{p3} = d_{p1} + 2Z_{\min3} = 22,40 + 1,560 = 23,96 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо найбільші можливі розміри:

$$d_{\max4} = d_{\min4} + \delta_4 = 21,98 + 0,013 = 21,993 \text{ мм} \approx 21,99 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max3} = d_{\min3} + \delta_3 = 22,0 + 0,021 = 22,021 \text{ мм} \approx 22,02 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max2} = d_{\min2} + \delta_2 = 22,15 + 0,033 = 22,183 \text{ м} \approx 22,18 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max1} = d_{\min1} + \delta_1 = 22,4 + 0,13 = 22,53 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max3} = d_{\min3} + \delta_3 = 24,0 + 0,84 = 24,84 \text{ (мм)}.$$

Граничні значення припусків $Z_{\max}^{\text{оп}}$ визначаємо як різницю найбільших граничних розмірів і $Z_{\min}^{\text{оп}}$ – як різницю найменших межових розмірів попереднього та виконуємо

$$2Z_{\max4}^{\text{оп}} = 22,02 - 21,99 = 0,03 \text{ мм} = 30 \text{ (МКМ)};$$

$$2Z_{\max 3}^{np} = 22,18 - 22,02 = 0,16 \text{ мм} = 160 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 2}^{np} = 22,53 - 22,18 = 0,35 \text{ мм} = 350 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 1}^{np} = 24,84 - 22,53 = 2,31 \text{ мм} = 2310 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 4}^{np} = 22,0 - 21,98 = 0,02 \text{ мм} = 20 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 3}^{np} = 22,15 - 22,0 = 0,15 \text{ мм} = 150 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 2}^{np} = 22,4 - 22,15 = 0,25 \text{ мм} = 250 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 1}^{np} = 24,0 - 22,4 = 1,6 \text{ мм} = 1600 \text{ (мкм)}.$$

Будуємо схему графічного розташування припусків та допусків на обробку пов. Ø22g6.

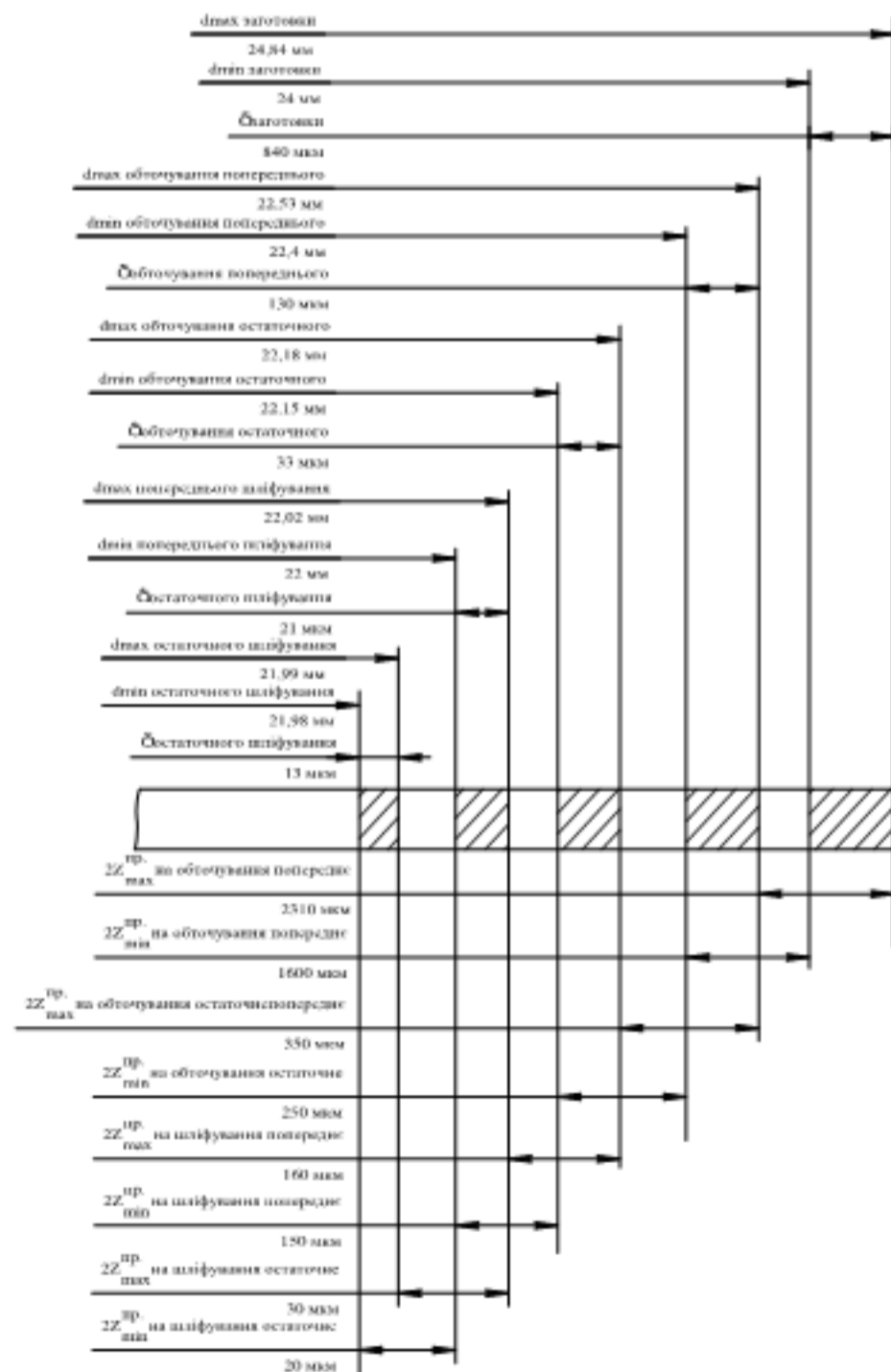


Рисунок 2.12 – Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку пов. Ø22g6

2.9.2 Нормативне призначення припусків та міжопераційних розмірів на обробку інших поверхонь.

Таблиця 2.14 – Нормативне призначення припусків та міжопераційних розмірів на обробку інших поверхонь

Поверхня	Переходи обробки	Припуск на сторону, мм	Міжопераційний розмір, мм
Пов. $\varnothing 30f6 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,033 \end{pmatrix}$, $R_a = 0,63$ мкм	1.Точіння попереднє 2.Точіння остаточне 3.Тверде точіння попереднє 4. Тверде точіння остаточне	2,5 0,925 0,05 0,025	$\varnothing 32$ $\varnothing 30,15$ $\varnothing 30,05$ $\varnothing 30f6$
Пов. $\varnothing 45f6 \begin{pmatrix} -0,025 \\ -0,041 \end{pmatrix}$, $R_a = 1,6$ мкм	1.Точіння попереднє 2.Точіння остаточне 3. Тверде точіння попереднє 4. Тверде точіння остаточне	2,0 0,35 0,05 0,025	$\varnothing 45,85$ $\varnothing 45,15$ $\varnothing 45,05$ $\varnothing 45f6$
Пов. $\varnothing 18h6 \begin{pmatrix} - \\ -0,011 \end{pmatrix}$, $R_a = 1,6$ мкм	1.Точіння попереднє 2.Точіння остаточне 3. Тверде точіння попереднє 4. Тверде точіння остаточне	1,55 0,125 0,05 0,025	$\varnothing 18,4$ $\varnothing 18,15$ $\varnothing 18,05$ $\varnothing 18h6$
Пов. $\varnothing 40f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$, $R_a = 1,6$ мкм	1.Точіння попереднє 2.Точіння остаточне 3. Тверде точіння остаточне	2,25 0,975 0,025	$\varnothing 42$ $\varnothing 40,05$ $\varnothing 40f9$

Всі інші поверхні підлягають однопереходній обробці.

2.10 Призначення режимів різання

Аналітичний розрахунок [1, 12]

- Операція 010, перехід 1 – точіння пов. 1 однократне.

Вихідні дані:

- верстат: 16К20Ф3; $N_B = 11$ кВт;

- інструмент: прохідний підрізний різець з тригранною пластиною Т5К10, $\varphi = 95^\circ$, ТУ2-0,35-892-82;

- матеріал: сталь 40Х ГОСТ 4543-71, НВ 217, $\delta_b = 100 / \text{мм}^2$;

- глибина різання: $t = 56 - 50/2 = 3$ (мм);

- довжина обробки: $\ell = 66$ (мм).

Подача: $S = 0,5/0,9$ мм/об, приймаємо $S_{\text{пр}} = 0,7$ (мм/об).

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v \left[\frac{\text{м}}{\text{хв}} \right] \quad (2.21)$$

де $C_v = 350$; $T = 60$ хв.; $m = 0,2$; $x = 0,15$; $y = 0,35$;

$$K_v = K_{m_v} \cdot K_{n_v} \cdot K_{u_v} = K_r \left(\frac{750}{\delta_b} \right)^{n_r} \cdot K_{n_v} \cdot K_{u_v} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{1000} \right)^{1,0} \cdot 1,0 \cdot 0,65 = 0,49 .$$

Тоді:

$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,7^{0,35}} \cdot 0,49 = \frac{350 \cdot 0,49}{2,27 \cdot 1,18 \cdot 0,88} = 72,76 \left(\frac{\text{м}}{\text{хв}} \right) .$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 72,76}{3,14 \cdot 50} \cong 463 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}} \right) ,$$

за паспортом верстата приймаємо: $n_{\text{пр}} = 500$ об/хв.

Корегуємо швидкість різання:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{пр}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 500}{100} = 78,5 \left(\frac{\text{м}}{\text{хв}} \right) .$$

Сила різання:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \text{ [H]}, \quad (2.22)$$

де $C_p = 300$,

$$K_p = K_{M_p} \cdot K_{\varphi_p} \cdot K_{\lambda_r} \cdot K_{\eta_p} = \left(\frac{\delta_p}{750} \right)^n \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,87 =$$

$$= \left(\frac{1000}{750} \right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 1,24 \cdot 0,89 \cdot 0,87 = 0,96 ; x = 0,9; y = 0,9; n = - 0,15$$

Тоді:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3^{0,9} \cdot 0,7^{0,9} \cdot 78,5^{-0,15} \cdot 0,95 = 3000 \cdot 2,69 \cdot 0,725 \cdot 0,52 \cong 3042(\text{H}) .$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60} = \frac{3024 \cdot 78,5}{1020 \cdot 60} = 3,88 \text{ (кВт)}.$$

$N_b > N$ (11 кВт > 3,88 кВт) – обробка заданої поверхні можлива.

Нормативне призначення режимів різання [1, 12]

Операція 015 – Фрезерна з ЧПК

Установ А

Перехід 5 – свердління отв. 3 напрохід:

Інструмент: свердло спіральне з конічним хвостовиком 035-2301-1002

(Ø6.2) ГОСТ 2420-2-80

Верстат: 6Р13РФ3, $N = 7,5 \text{ кВт}$

Глибина різання:

$$t = 6,2 / 2 = 3,1(\text{мм});$$

Подача таблична:

$$S_{o_r} = 0,07 \text{ мм / зуб (при } l / D = 3,38 \text{)}$$

Скорегована подача:

$$S_{z_k} = S_{o_T} \cdot K_{s_M} = 0,07 \cdot 0,85 = 0,06 \text{ (мм / зуб)}$$

Швидкість різання таблична:

$$V_T = 29 \text{ (м / хв)}, N_T = 0,13 \text{ (кВт)}$$

Скорегована швидкість різання:

$$V = V_T \cdot K_{v_M} \cdot K_{v_1} \cdot K_{v_x} \cdot K_{v_T} \cdot K_{v_n} \cdot K_{v_n} \cdot K_{v_1} \cdot K_{v_n} = 29 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85 = 16,76 \text{ (м / хв)}$$

$$N = N_T / K_{N_M} = 0,13 / 0,85 \cong 0,15 \text{ (кВт)}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 16,76}{3,14 \cdot 6,2} \cong 861 \text{ (об / хв)}$$

$$n_{пр.} = 800 \text{ (об / хв)}$$

Уточнюємо швидкість різання: $t_{пер.26} = 0,07 \text{ (хв)}$.

Потужність різання достатня для обробки на даному верстаті:

$$N_T < N_B (0,15 \text{ кВт} < 7,5 \text{ кВт}) .$$

На інші операції обробки режими різання визначається за аналогічною методикою. Призначені режими різання по всім операціям обробки зводимо до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Режими різання

Номер, назва операції, зміст переходів	<i>t</i> , мм	<i>S</i> , мм/об	<i>V</i> , м/хв	<i>n</i> , об/хв
1	2	3	4	5
005 Токарно-револьверна з ЧПК Установ А				
2. Точіння торця 1 однократне	3,2	0,2	79,66	1180
3. Центрування отв. 2	2,5	0,06	12,56	800
4. Точіння пов. 3 попереднє	2,5	0,2	92,94	800
5. Точіння торця 4 однократне	2,8	0,2	83,52	475
6. Точіння пов. 5 попереднє	1,55	0,22	68,17	1180
7. Точіння торця 6 однократне	3,7	0,17	80,38	800
Установ Б				
8. Точіння торця 7 однократне	3,9	0,2	79,66	1180
9. Центрування отв. 8	2,5	0,06	12,56	800
10. Точіння пов. 9. попереднє	2,25	0,2	91,69	800
11. Точіння торця 10 однократне	2,8	0,2	83,52	475
12. Точіння пов. 11 попереднє	3,8	0,17	82,99	1180
13. Точіння торця 12 однократне	4,1	0,17	56,26	800
010 Токарна з ЧПК Установ А				
2. Точіння пов. 1 однократне, точіння пов. 2 попереднє, точіння пов. 3 однократне	3,0 2,0 2,0	0,2 0,2 0,05	157 141,3 184,6	1000 1000 1400
3. Точіння пов. 2 остаточне, точіння пов. 4 остаточне, точіння пов. 5 остаточне, точіння фаски 6 однократне, точіння фаски 7 однократне, точіння фаски 9 однократне	0,35 0,925 0,125 2,0 1,6 1,0	0,07 0,07 0,1 0,1 0,1 0,1	197,8 131,9 79,1 197,8 184,6 79,1	1400 1400 1400 1400 1400 1400
4. Точіння канавки 8 однократне	0,25	0,1	113	800
5. Точіння канавки 10 однократне	3,25	0,1	113	800
6. Точіння канавки 11 однократне	1,1	0,1	105,5	800
7. Нарізання різі 12	1,5	1,5	36,9	280
Установ Б				
8. Точіння пов. 13 остаточне, точіння пов. 14 остаточне, точіння фаски 15 однократне	0,975 0,125 2,0	0,1 0,1 0,1	131,9 96,7 96,7	1400 1400 1400
015 Фрезерна з ЧПК Установ А				
2. Фрезерування пов. 1 однократне	4,5	0,038мм/зуб	12,56	200
3. Центрування отв. 2,3	1,5	0,06	15,57	800

Продовження таблиці 2.15

1	2	3	4	5
4. Свердління отв. 2 напрохід	4,25	0,21	13,35	500
5. Свердління отв. 4 напрохід	3,1	0,06	15,57	800
6. Цекування отв. 3	2,15	0,21	5,28	160
7. Фрезерування пов. 5 Установ Б	2,5	0,038мм/зуб	15,07	400
8. Цекування отв. 6	2,0	0,23	6,28	160
025 Токарна з ЧПК				
2. Точіння пов. 1 попереднє,	0,05	0,1	22,5	190
Точіння пов. 2 попереднє,	0,05	0,1	32,4	260
Точіння пов. 3 попереднє	0,05	0,1	15,57	350
3. Точіння пов. 1 остаточне,	0,025	0,05	14,8	190
Точіння пов. 2 остаточне,	0,025	0,05	25,4	260
Точіння пов. 3 остаточне	0,025	0,05	34,5	350
4. Точіння пов. 4 однократне,	0,025	0,1	30,5	260
Точіння пов. 5 попереднє,	0,05	0,1	25,1	260
5. Точіння пов. 5 остаточне	0,025	0,05	18,5	260

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання на ЕОМ

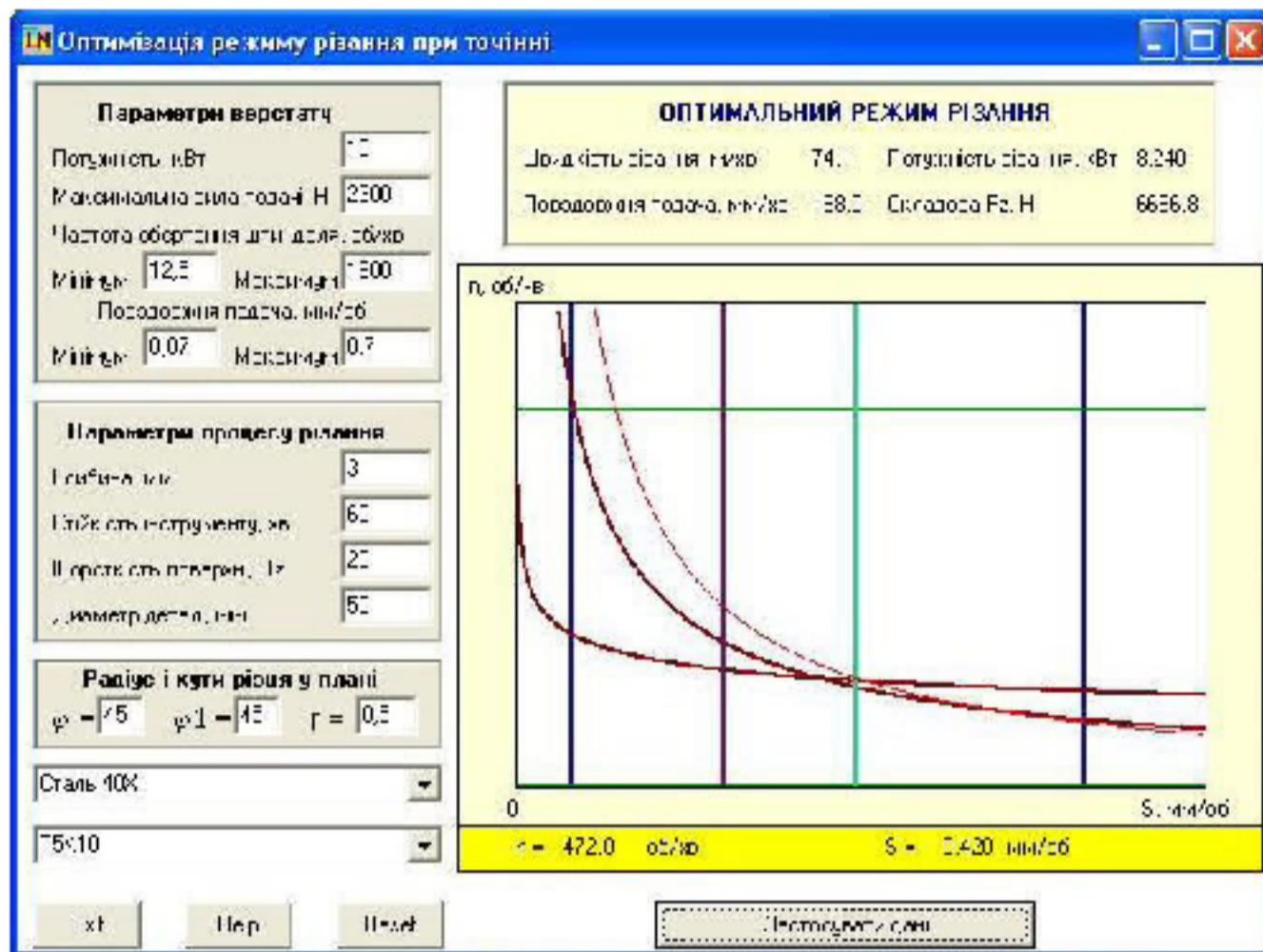
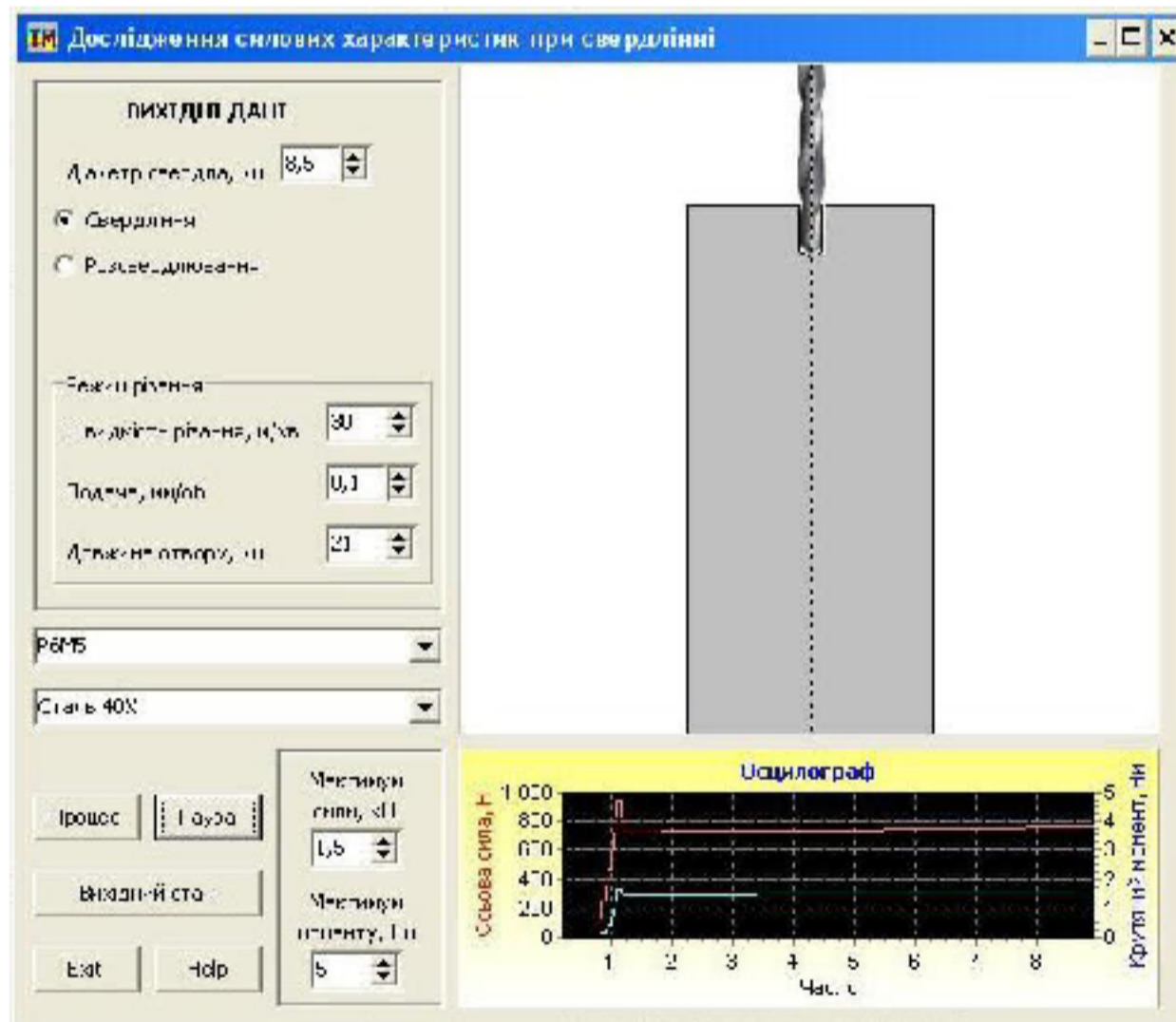
Всі способи оптимізації базуються на побудові математичної моделі процесу різання та його оптимізації.

Оптимізацію режимів різання проводимо за допомогою комп'ютерної програми для таких видів механічної обробки:

- свердління отвору $\varnothing 8,5$;
- однократне точіння поверхні $\varnothing 50$.

Виконавши оптимізацію для свердління та точіння, виявили оптимальні області режимів різання, які обмежені по стійкості різального інструмента, по найменшій та найбільшій частоті обертання шпинделя, по найменшій та найбільшій припустимій подачі, міцності інструмента, по потужності приводу верстата.

Така оптимізація дає можливість збільшити діапазон вибору режимів різання, при якому процес обробки буде найбільш доцільним.

Рисунок 2.13 – Оптимізація режимів різання при точінні $\varnothing 50$ Рисунок 2.14 – Дослідження силових характеристик при свердлінні $\varnothing 8,5$

2.12 Визначення технічних норм часу

Визначення витрат основного часу [1, 12]

Токарні роботи:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S_0} \cdot i, \quad L = l + l_1 + l_2, \quad (2.23)$$

Свердлильні роботи:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S_0} \cdot i, \quad L = l + l_1 + l_2, \quad (2.24)$$

Різенарізні роботи:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot p} \cdot (i + 0,5), \quad L = l + l_1 + l_2, \quad (2.25)$$

Фрезерування шпонкових пазів (при глибинному способі; фрезерування дисковими фрезами):

$$T_0 = \frac{L}{S_{xв}}, \quad (2.26)$$

Зовнішнє врізне шліфування:

$$T_0 = \left(\frac{L}{n_d} \cdot S_{рад} \right) K; \quad L = a = (D - d) / 2. \quad (2.27)$$

Вихідні дані для розрахунку та їх результати зводимо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Вихідні дані для розрахунку основного часу

Номер, назва операції, зміст переходів	S_0 , мм/об	$S_{xв}$, мм/об	n , об/хв	l , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	L , мм	T_0 , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005 Токарно-револьверна Установ А 2. Точіння торця 1 однократне	0,2	236	1180	10,75	5	2	17,75	0,075

Продовження таблиці 2.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Центрування отв. 2	0,06	48	800	2,5	$l_1 + l_2 = 2$		4,5	0,093
4. Точіння пов. 3 попереднє	0,2	160	800	117	4	0	121	0,756
5. Точіння торця 4 однократне	0,2	95	475	12	4	3	19	0,2
6. Точіння пов. 5 попереднє	0,22	259,6	1180	26,8	2	0	28,8	0,11
7. Точіння торця 6 однократне	0,17	136	800	6,8	4	3	13,8	0,1
Установ Б								
8. Точіння торця 7 однократне	0,2	236	1180	15	5	2	22	0,075
9. Центрування отв. 8	0,06	48	800	2,5	$l_1 + l_2 = 2$		4,5	0,093
10. Точіння пов. 9 попереднє	0,2	160	800	266	4	0	270	1,687
11. Точіння торця 10 однократне	0,2	95	475	12	4	3	19	0,2
12. Точіння пов. 11 попереднє	0,17	200,6	1180	26,8	2	0	28,8	0,143
13. Точіння торця 12 однократне	0,17	136	800	3,8	4	3	10,8	0,079
010 Токарна з ЧПК Установ А							$\Sigma = 3.611$	
2. Точіння пов. 1 однократне	0,2	200	1000	59	4	2	65	0,325
Точіння пов. 2 попереднє,	0,2	200	1000	53	3	0	56	0,28
Точіння пов. 3 однократне	0,05	70	1400	23	3	0	26	0,371
3. Точіння пов. 2 остаточне,	0,07	98	1400	30	2	0	32	0,326
Точіння пов. 4 остаточне,	0,07	98	1400	116	2	0	118	1,2
Точіння пов. 5 остаточне,	0,1	140	1400	30	2	0	32	0,228
Точіння фаски 6 однократне,	0,1	140	1400	2	3	1	6	0,043
Точіння фаски 7 однократне,	0,1	140	140	1,6	3	1	5,6	0,04
Точіння фаски 9 однократне	0,1	140	1400	1,0	3	1	5	0,036
4. Точіння канавки 8 однократне	0,1	80	800	0,32	3	0	3,32	0,042
5. Точіння канавки 10однократне	0,1	80	800	3,32	3	0	6,62	0,083
6. Точіння канавки 11 однократне	0,1	80	800	1,57	3	0	4,57	0,057
7. Нарізання різи 12	1,5	420	280	19	$l_1 + l_2 = 6$		25	0,06

Продовження таблиці 2.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Установ Б						0		
8. Точіння пов. 13 остаточне,	0,1	140	1400	265	2		267	1,907
Точіння пов. 14 остаточне,	0,1	140	1400	124	2	0	126	0,9
Точіння фаски 15 однократне	0,1	140	1400	2	3	0	5	0,036
015 Фрезерна з ЧПК Установ А							$\Sigma = 5.934$	
2. Фрезерування пов. 1 однократне	0,038	30,4	200	135 (2 проход)	l_1+ $l_2=11$		146	9,6
3. Центрування отв. 2,3	0,06	48	800	1,5	$l_1+ l_2=2$		3,5	0,146
4. Свердління отв. 2 напрохід	0,21	105	500	21	$l_1+ l_2=5$		26	0,248
5. Свердління отв. 4 напрохід	0,06	48	800	21	l_1+ $l_2=2,5$		23,5	0,498
6. Цекування отв. 3	0,021	33,6	160	6,2	$l_1+ l_2=2$		8,2	0,244
7. Фрезерування пов. 5	0,038	60,8	400	19	$l_1+ l_2=7$		26	0,427
Установ Б								
8. Цекування отв. 6	0,23	36,8	160	10	$l_1+ l_2=2$		12	0,326
025 Токарна з ЧПК							$\Sigma = 11.48$	
2. Точіння пов. 1 попереднє	0,03		190	27				0,012
Точіння пов. 2 попереднє,	0,03		260	116				0,08
Точіння пов. 3 попереднє	0,03		350	30				1,0
3. Точіння пов. 1 остаточне,	0,01		190	27				0,01
Точіння пов. 2 остаточне,	0,01		260	116				0,06
Точіння пов. 3 остаточне	0,01		350	30				0,085
4. Точіння пов. 4 однократне	0,01		260	265				0,008
Точіння пов. 5 остаточне,	0,03		260	130				0,01
5. Точіння пов. 5 остаточне	0,01		260	130				0,06
							$\Sigma = 1.325$	

Визначення норми штучно-калькуляційного часу на операцію 005.

- Допоміжний час на встановлення та зняття деталі: $t_{\text{вст.}} = 0,21(\text{хв})$.

- Допоміжний час, який пов'язаний з переходом:

- перехід 2: попереднє точіння із встановленням різця по лімбу:
 $t_{пер.1} = 0,23$ (хв).
- перехід 3: центрування отвору: зміна режимів обробки, поворот револьверної головки:
 - встановлення свердла по лімбу: $t_{пер.2} = 0,23$ (хв).
 - зміна частоти обертання: $t_{пер.3} = 0,08$ (хв).
 - зміна подачі: $t_{пер.4} = 0,07$ (хв).
 - поворот револьверної головки: $t_{пер.5} = 0,07$ (хв).
- перехід 4: точіння поверхні 3: зміна режимів обробки, поворот револьверної головки
 - зміна подачі: $t_{пер.6} = 0,07$ (хв).
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.7} = 0,23$ (хв).
 - поворот револьверної головки: $t_{пер.8} = 0,07$ (хв).
- перехід 5: попереднє точіння із встановленням різця по лімбу, поворот револьверної головки, зміна режимів обробки:
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.9} = 0,23$ (хв).
 - зміна частоти обертання: $t_{пер.10} = 0,08$ (хв).
 - поворот револьверної головки: $t_{пер.11} = 0,07$ (хв).
- перехід 6: точіння поверхні 5 із встановленням різця по лімбу, поворот револьверної головки, зміна режимів обробки:
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.12} = 0,23$ (хв).
 - зміна подачі: $t_{пер.13} = 0,07$ (хв).
 - зміна частоти обертання: $t_{пер.14} = 0,08$ (хв).
 - поворот револьверної головки: $t_{пер.15} = 0,07$ (хв).
- перехід 7: точіння торця 6: поворот револьверної головки, встановлення різця по лімбу, зміна режимів обробки:
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.16} = 0,23$ (хв).

- поворот револьверної головки: $t_{пер.17} = 0,07$ (хв).
- зміна подачі: $t_{пер.18} = 0,07$ (хв).
- зміна частоти обертання: $t_{пер.19} = 0,08$ (хв).
- встановлення та зняття деталі (2-й установ) $t_{пер.20} = 0,21$ (хв).
- перехід 8: точіння торця 7: встановлення різця по лімбу, поворот револьверної головки, зміна режимів обробки:
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.21} = 0,23$ (хв).
 - зміна подачі: $t_{пер.22} = 0,07$ (хв).
 - зміна частоти обертання: $t_{пер.23} = 0,08$ (хв).
 - перехід 9: центрування отвору
Аналогічно переходу 3.
 - перехід 10: точіння поверхні 9: встановлення різця по лімбу, поворот револьверної головки, зміна режимів обробки:
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.24} = 0,23$ (хв).
 - поворот револьверної головки: $t_{пер.25} = 0,07$ (хв).
 - зміна подачі: $t_{пер.26} = 0,07$ (хв).
 - перехід 11: точіння поверхні 10: встановлення різця по лімбу, поворот револьверної головки, зміна режимів обробки:
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.27} = 0,23$ (хв).
 - поворот револьверної головки: $t_{пер.28} = 0,07$ (хв).
 - зміна частоти обертання: $t_{пер.29} = 0,08$ (хв).
 - перехід 12: точіння поверхні 11: встановлення різця по лімбу, поворот револьверної головки, зміна режимів обробки:
 - встановлення різця по лімбу: $t_{пер.30} = 0,23$ (хв).
 - поворот револьверної головки: $t_{пер.31} = 0,07$ (хв).
 - зміна подачі: $t_{пер.32} = 0,07$ (хв).
 - зміна частоти обертання: $t_{пер.33} = 0,08$ (хв).

- перехід 13: точіння торця 12: поворот револьверної головки, встановлення різця по лімбу, зміна режимів обробки:

- встановлення різця по лімбу: $t_{пер.34} = 0,23$ (хв).

- поворот револьверної головки: $t_{пер.35} = 0,07$ (хв).

- зміна подачі: $t_{пер.36} = 0,07$ (хв).

- зміна частоти обертання: $t_{пер.37} = 0,08$ (хв).

Сумарний допоміжний час на встановлення зняття заготовки, зміна режимів обробки, поворот револьверної головки:

$$\begin{aligned} \Sigma T_{пер.} &= 0,21 + 0,23 + 0,23 + 0,08 + 0,07 + 0,07 + 0,23 + 0,07 + 0,23 + 0,08 + 0,07 + 0,23 + 0,07 + 0,08 + \\ &+ 0,07 + 0,23 + 0,07 + 0,07 + 0,08 + 0,21 + 0,23 + 0,07 + 0,08 + 0,23 + 0,08 + 0,07 + 0,07 + 0,23 + 0,07 + \\ &+ 0,07 + 0,23 + 0,07 + 0,08 + 0,23 + 0,07 + 0,07 + 0,08 + 0,23 + 0,07 + 0,07 + 0,08 = 2 \cdot 0,21 + 11 \cdot 0,23 + \\ &+ 9 \cdot 0,08 + 18 \cdot 0,07 = 0,42 + 2,53 + 0,72 + 1,26 = 4,93 \text{ (хв)}. \end{aligned}$$

- Допоміжний час на контрольні вимірювання:

$$\begin{aligned} T_{вим.} &= (0,21 + 0,1 + 0,1 + 0,19 + 0,1 + 0,1) \cdot 0,9 + \\ &+ (0,25 + 0,1 + 0,1 + 0,16 + 0,1 + 0,25) \cdot 0,9 = \\ &= 0,8 \cdot 0,9 + 0,96 \cdot 0,9 = 0,72 \cdot 0,864 = 1,584 \text{ (хв)}. \end{aligned}$$

(0,9 – коефіцієнт періодичності контролю)

- Допоміжний час на операцію:

$$T_{доп.} = (T_{пер.} + T_{вим.}) \cdot K_{T_0} = (4,93 + 1,584) \cdot 0,81 \cong 5,28 \text{ (хв)}.$$

- Час на обслуговування робочого місця:

$$T_{обсл.} = (T_0 + T_{доп.}) \cdot \frac{\alpha_{обсл.}}{100} = (3,611 + 5,28) \cdot \frac{4}{100} = 0,35 \text{ (хв)}.$$

- Час перерви на відпочинок та особисті потреби:

$$T_{\text{обсл. 2}} = (T_0 + T_{\text{доп.}}) \cdot \frac{\alpha_{\text{обсл.}}}{100} = (3,611 + 5,28) \cdot \frac{4}{100} = 0,35 \text{ (хв.)}.$$

- Штучний час розраховується наступним чином:

$$T_{\text{шт}} = T_0 + T_{\text{доп.}} + T_{\text{обсл. 1}} + T_{\text{обсл. 2}} = 3,611 + 5,28 + 0,35 + 0,35 = 9,591 \text{ (хв.)}.$$

- Підготовчо-заключний час: $T_{\text{п-з}} = 27 \text{ (хв.)}$.

- Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{n-3}{n} = 9,591 + \frac{27}{142} = 9,781 \text{ (хв.)}.$$

На інших операціях норми штучно-калькуляційного часу визначаємо аналогічним способом і всі розрахунки зводимо до таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Норми штучно-калькуляційного часу

Номер та назва операції	T_0	$T_{\text{доп.}}$	$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{обсл. 1}}$	$T_{\text{обсл. 2}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{шт-к}}$	n
	хв.							Шт.
005 Токарно-револьверна	3,611	5,28	8,891	0,35	0,35	9,591	9,781	157
010 Токарна з ЧПК	5,934	6,15	12,08	0,48	0,48	13,04	13,23	157
015 Фрезерна з ЧПК	11,48	4,85	16,33	0,65	0,65	17,63	17,82	157
025 Токарна з ЧПК	1,325	1,25	2,575	0,103	0,103	4,031	4,22	157

3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ЗОВНІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТУПІНЧАСТИЙ ВАЛ»

3.1 Постановка задачі дослідження

Останніми роками на заводах машинобудівного серійного виробництва спостерігається стійка зацікавленість у застосуванні чистової і фінішної лезової обробки зовнішніх циліндричних поверхонь і площин (точінням, розточуванням, торцевим фрезеруванням) замість абразивної обробки (круглим і плоским шліфуванням). Це пояснюється суттєвим збільшенням виробництва високоточних багатоінструментальних і багатоцільових верстатів з ЧПК як токарної, так і свердлильно-фрезерно-розточувальної груп, а також різальних інструментів, оснащених пластинами чи різцевими вставками з надтвердих матеріалів.

Важливою перевагою лезової обробки на верстатах з ЧПК є можливість здійснювати як чистову, так і фінішну обробку багатьох як циліндричних, так і плоских поверхонь на одній операції з одного установа. Це дозволяє суттєво підвищити точність відносного розташування цих поверхонь завдяки усуненню впливу похибки установа. Тому певний практичний інтерес складає встановлення показників точності, що забезпечуються фінішною лезовою обробкою на сучасних верстатах з ЧПК високої точності. Дослідження виконувались на прикладі виготовлення деталі «Шток ГЦ 05.017.002». Слід зазначити, деталь має достатньо велику довжину і відносно невеликий діаметр стрижня (Ø30 мм).

Сумарну похибку обробки (поле розсіювання розмірів) у т. ч. діаметральних розмірів зовнішніх циліндричних поверхонь, що отримуються в результаті обробки на токарних верстатах з ЧПК згідно з [5] можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{\text{шл}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{шл}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{шл}})^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{шл}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\tau})^2} \quad [\text{мкм}], \quad (3.1)$$

де $\varepsilon_{\text{ц}}$ — похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи;

$\varepsilon_{\text{мз}}$ — похибка позиціювання поперечного супорта (по осі X);

$\varepsilon_{\text{н}}$ — похибка настроювання інструмента (різця) на розмір обробки;

ε_1 — похибка, зумовлена розмірним зносом різця;

$\varepsilon_{\text{в}}$ — похибка, зумовлена геометричною неточністю верстата;

$\varepsilon_{\text{т}}$ — похибка, зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи.

$\frac{1}{K}$ — коефіцієнт, що залежить від бажаної гарантованої імовірності роботи

без браку;

$K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$ — коефіцієнти, значення яких визначаються характером законів розподілу відповідних елементарних похибок.

Прийнято, що $\frac{1}{K} = 1$. Це відповідає гарантованій імовірності 0,9973 роботи без браку. Прийнято також, що похибки $\varepsilon_{\text{ц}}, \varepsilon_{\text{н}}, \varepsilon_{\text{мз}}$ є випадковими похибками, і тому $K_2 = K_3 = K_4 = 1$, а похибки $\varepsilon_1, \varepsilon_{\text{в}}, \varepsilon_{\text{т}}$ — систематичними і тому $K_5 = K_6 = K_7 = 1,73$.

Якщо визначити похибку обробки для певного переходу (наприклад, під час тонкого точіння) і знайти похибку обробки, що виникає на чистовому точінні, то можна для заданих технологічних умов визначити коефіцієнт уточнення за формулою [6]

$$K_{y_i} = \frac{\varepsilon_{\Sigma_{i-1}}}{\varepsilon_{\Sigma_i}}, \quad (3.2)$$

де ε_{Σ_i} — сумарна похибка, яка виникає під час обробки на i -у переході;

$\varepsilon_{\Sigma_{i-1}}$ — сумарна похибка, яка виникає під час обробки на попередньому переході.

Отже, метою дослідження є виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки довгих заготовок деталей типу «Ступінчастий вал»

чистовим і тонким точінням на токарних верстатах з ЧПК високої точності, а також визначення коефіцієнта уточнення, що забезпечуються у процесі такої обробки.

3.2 Результати дослідження

Дослідження виконувались на прикладі операції 030 (див. розділ 2). На цій операції виконується попередня і остаточна обробка точінням точних зовнішніх циліндричних поверхонь, у т. ч. циліндричної поверхні штока діаметром $\varnothing 45h7_{(-0,025)}$ мм.

Для визначення коефіцієнтів уточнення, які забезпечуються чистовим і тонким точінням, спочатку визначимо елементарні похибки, а потім і сумарну похибку обробки поверхні $\varnothing 45h7$ мм (рис. 3.1), що виникають в результаті чистового і тонкого точіння.

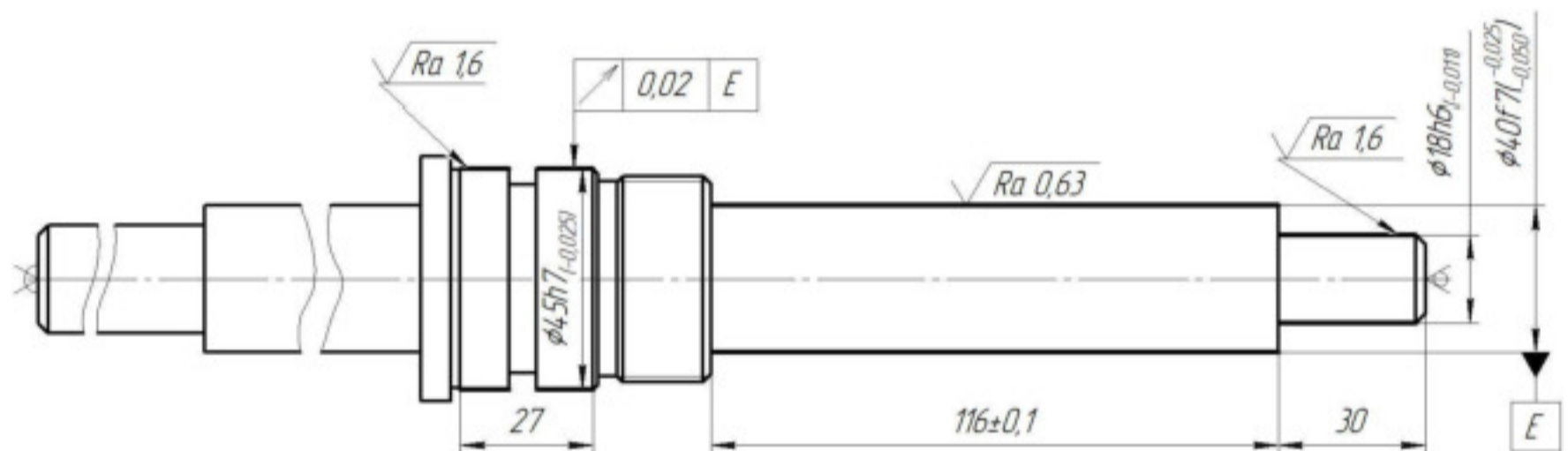


Рисунок 3.1 — Ескіз обробки

Вважалось, що технологічні умови такі:

1) матеріал деталі Сталь 40Х з твердістю 260...280 НВ після термічної обробки (поліпшення).

2) лезова обробка на операції 030 виконується після термічної обробки (гартування з охолодженням в мінеральному маслі і високий відпуск за температури 500°C);

3) обробка виконується на токарному верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3. Клас точності – В. Величина дискрети складає 0,001 мм.

2) на операції 030 виконується чистове і тонке точіння; чистове точіння забезпечує діаметральний розмір поверхні за $IT9$ (для прийнятого номінального розміру величина допуску складає 62 мкм.

3) тонке точіння виконується на операції 030 після чистового точіння з одного установа; згідно з кресленням деталі тонке точіння має забезпечити розмір поверхні $\varnothing 40h7_{(-0.025)}$ мм.

4) заготовки партії (160 шт.) обробляються з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті;

5) настроювання інструмента (прохідного різця з головним кутом в плані 97°) на розмір обробки на переході тонкого точіння відбувається за використання способу пробних заготовок;

б) матеріали різальної частини різців:

- чистове точіння – твердий сплав Т60К6;

- тонке точіння – оксидно-карбідна мінералокераміка ВОК-60;

Визначимо величини елементарних похибок, що впливатимуть на точність обробки в процесі завершального переходу — тонкого точіння.

Похибку обробки від пружних деформаціями елементів технологічної системи визначалась за формулою [4]

$$\varepsilon_{\text{пл}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [мкм]}, \quad (3.3)$$

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

$P_{y_{\text{max}}}$ і $P_{y_{\text{min}}}$ — максимальна і мінімальна величини складової сили різання.

Заготовка на операції 030 встановлюється в на центрах передньої і задньої бабок (рис. 3.2). За такої схеми установа на величину ω_{Σ} впливають усі елементи технологічної системи (заготовки, передньої бабки, задньої бабки,

супорта). Для такого випадку згідно з [13] величина ω_{Σ} визначається за формулою

$$\omega_{\Sigma} = \frac{x^2 (l_d - x)^2}{3EI l_d} + \left(1 - \frac{x}{l_d}\right)^2 \omega_{п.б} + \left(\frac{x}{l_d}\right)^2 \omega_{з.б} + \omega_{суп} \text{ [мм/Н]}, \quad (3.4)$$

де $\omega_{п.б}$, $\omega_{з.б}$, $\omega_{суп}$ – відповідно, податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта, мм/Н;

l_d – довжина заготовки, мм;

x – відстань від лівого торця заготовки до границі зони обробки, мм;

E – модуль пружності матеріалу заготовки (для сталі $E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм²);

I – момент інерції перерізу заготовки, мм⁴ (для круглого перерізу

$$I = \frac{\pi}{64} d^4 \approx 0,05 d^4).$$

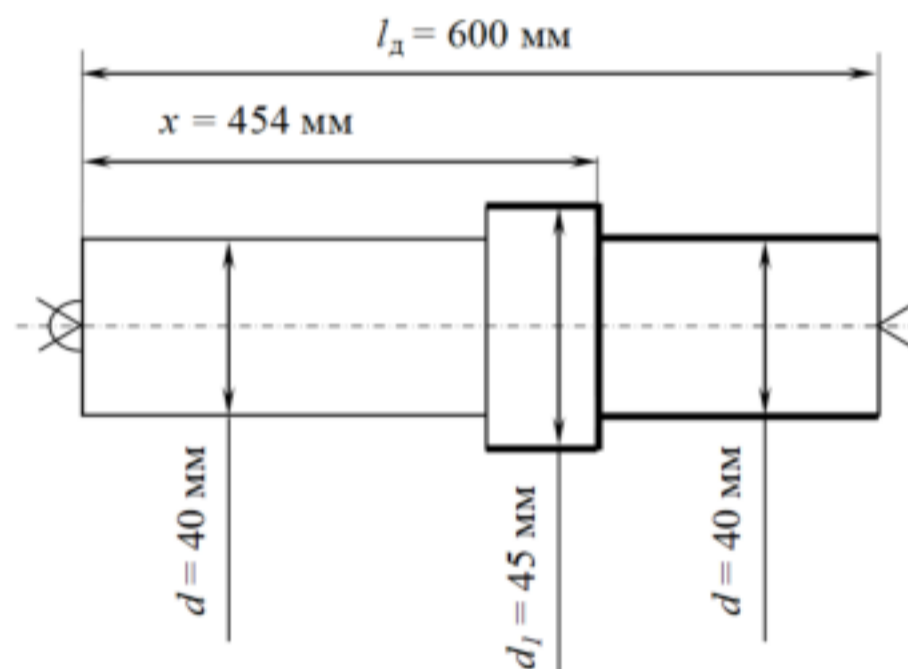


Рисунок 3.2 — Розрахункова схема для визначення ω_{Σ}

Для токарного верстата МК6801Ф3 згідно з [4] прийнято:
 $\omega_{п.б} = \omega_{з.б} = 0,024 \cdot \text{мкм/Н}$, $\omega_{суп} = 0,018 \cdot \text{мкм/Н}$.

Підставивши кількісні значення відповідних параметрів у формулу (3.4), визначимо величину ω_{Σ}

$$\omega_{\Sigma} = \frac{454^2 (600 - 454)^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 40^4 \cdot 320} + 10^{-3} \left[\left(1 - \frac{454}{600} \right)^2 0,024 + \left(\frac{454}{600} \right)^2 0,024 + 0,018 \right] =$$

$$= 0,9 \cdot 10^3 \text{ (мм/Н)}.$$

На зміну величини P_y впливатиме коливання припуску на чистове точіння. Вважалось, що на цьому переході $t_{\min} = 0,15$ мм, $t_{\max} = 0,20$ мм.

Силу P_y визначено за формулою

$$P_y = 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y} \cdot [\text{Н}] \quad (3.5)$$

де $C_{P_y}, k_{P_y}, x, y, n$ – коефіцієнти і показники степеня (знаходяться за таблицями);

v – швидкість різання, м/хв; s – подача, мм/об;

t – глибина різання, мм.

Для прийнятих технологічних умов з використанням формули (3.6) отримано: $P_{y \max} = 58$ Н; $P_{y \min} = 70$ Н.

Визначена за формулою (3.2) величина $\varepsilon_{\text{пл}}$ склала 11 мкм.

Згідно з [5] вважалось, що для виконання попереднього (чистового) точіння різець на виконуваний розмір не настроюється, а переміщується у початкову точку відповідно до команди від керувальної програми. Тому прийнято, що для переходу чистового точіння можна визначити певну комплексну похибку, яка враховує як похибку позиціонування $\varepsilon_{\text{поз}}$, так і похибку вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}}$ за формулою

$$\varepsilon_{\text{к}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{поз}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2} \right)^2}, [\text{мкм}] \quad (3.6)$$

Похибка позиціонування $\varepsilon_{\text{поз}}$ поперечного супорта по осі X згідно з паспортними даними верстата МК6801Ф3 становить 0,003 мм.

$K= 1,2$ — коефіцієнт, який враховує відхилення законів розподілу похибок, які входять до формули (3.6) від нормального закону.

Вважалось, що похибка вимірювання складає 10 мкм (вимірювання обробленої поверхні здійснюється за допомогою мікрометра з ціною поділки 0,01 мм).

Тоді похибка ε_x складе

$$\varepsilon_x = 1,2 \sqrt{3^2 + \left(\frac{10}{2}\right)^2} = 8 \text{ (мкм)}.$$

Розрахуємо похибку ε_{z_1} , що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки однієї заготовки.

Згідно з [2]

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{L u_o}{1000}, \quad (3.7)$$

де L — довжина шляху, який проходить вершина різця під час обробки однієї заготовки;

$u_o = 2$ мкм/км — відносний знос різця, оснащеного пластиною з твердого сплаву Т60К6 [4].

Визначимо величину L . З урахуванням того, що з подачею $s = 0,15$ мм/об різець обточує дві поверхні, які мають довжини відповідно $l_1 = 116$ мм і $l_2 = 27$ мм, то для переходу, що досліджується, величина L складе

$$L = \frac{\pi D_1 l_1}{1000 s} + \frac{\pi D_2 l_2}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 116}{1000 \cdot 0,15} + \frac{3,14 \cdot 45 \cdot 27}{1000 \cdot 0,15} = 123 \text{ (м)}.$$

Отже,

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{123}{1000} \cdot 2 = 0,25 \text{ (мкм)}.$$

Припустимо, що система ЧПК верстата виконуватиме автоматичну корекцію вершини різця після обробки $N = 50$ заготовок, тобто після обробки третини заготовок партії. За такої умови похибка, що виникає через розмірний знос складе

$$\varepsilon_{i_N} = \varepsilon_{i_1} N = 0,25 \times 50 = 12 \quad (\text{мкм}).$$

Визначимо похибку, що зумовлена геометричною неточністю верстата (ε_n). На переході, що розглядається, ця похибка виникатиме через відхилення від паралельності осі обертання заготовки відносно напрямку руху поздовжнього супорта.

Відповідно до [2],

$$\varepsilon_n = \frac{CL}{L_\phi}, \quad [\text{мкм}] \quad (3.8)$$

де C — допустиме відхилення від паралельності між напрямком руху поздовжнього супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині L_ϕ ;

L — довжина оброблюваної поверхні.

Відповідно до ГОСТ 18097—93 для токарних верстатів класу точності В на базовій довжині 250 мм величина C складає 3 мкм.

Отже,

$$\varepsilon_n = \frac{3 \cdot 116}{250} = 2 \quad (\text{мкм}).$$

Згідно з [2], похибка, що зумовлена температурними деформаціями технологічної системи ε_T , складає близько 10 — 15% від суми інших похибок. З урахуванням того, що обробка на сучасних верстатах з ЧПК супроводжується інтенсивним використанням ЗОР, прийmemo, що

$$\varepsilon_T = 0,1(\varepsilon_{\text{шт}} + \varepsilon_k + \varepsilon_i + \varepsilon_n) \quad [\text{мкм}], \quad (3.9)$$

Підставивши знайдені раніше величини елементарних похибок у формулу (3.9), отримаємо

$$\varepsilon_{\tau} = 0,1(11 + 8 + 12 + 2) = 3 \text{ (мкм)}.$$

Прийнявши: $\frac{1}{K} = 1$ за формулою (3.1) визначимо сумарну похибку обробки, яка впливатиме на сумарну похибку діаметрального розміру в результаті чистового точіння

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{(1 \cdot 11)^2 + (1 \cdot 8)^2 + (1,73 \cdot 12)^2 + (1,73 \cdot 2)^2 + (1,73 \cdot 3)^2} = 59 \text{ (мкм)}.$$

За результатами розрахунків побудована діаграма величин елементарних і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння на верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3 (рис. 3.3). На цій діаграмі показано вплив елементарних похибок у радіальному вимірі, а сумарної похибки — в діаметральному.

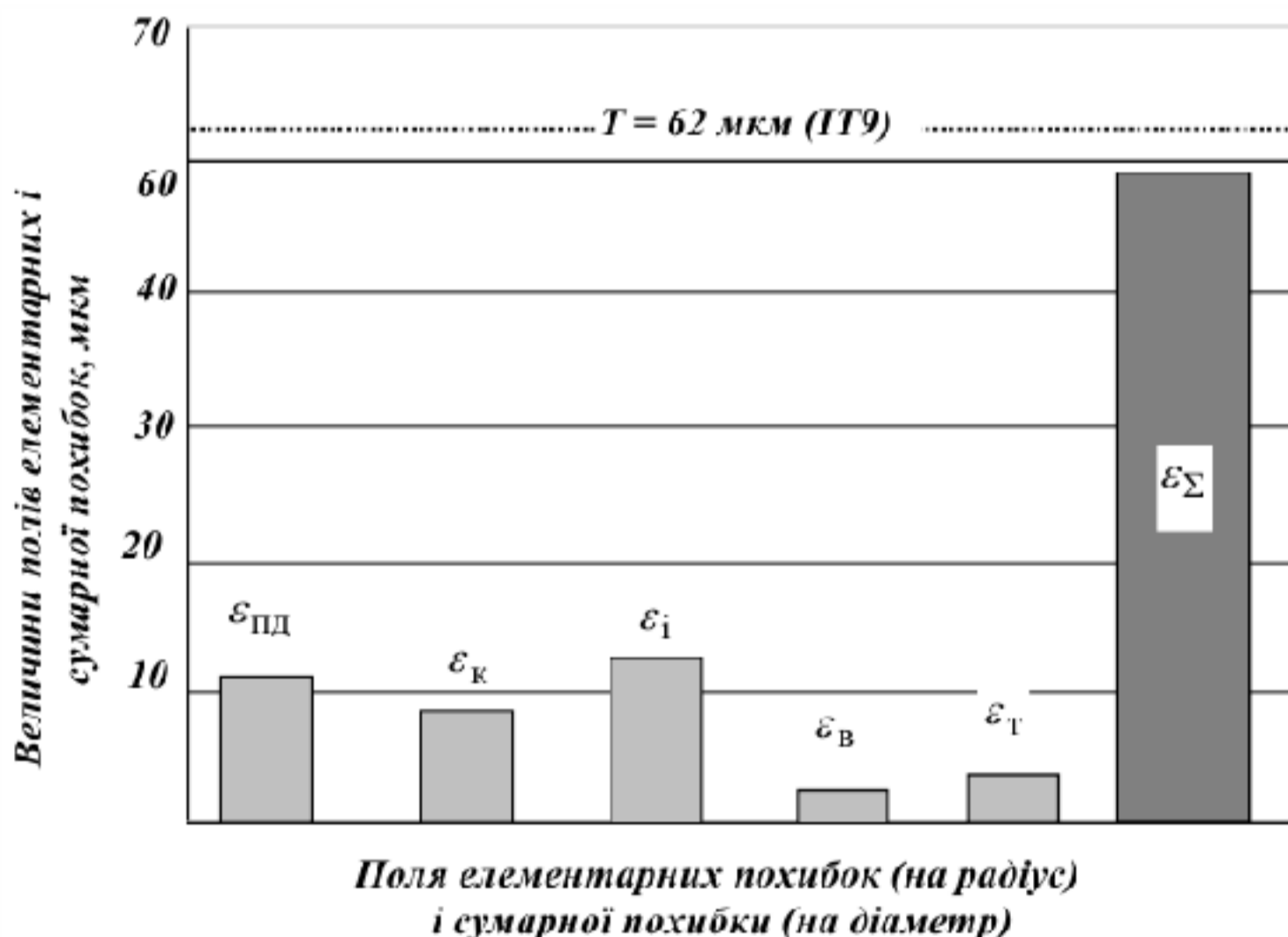


Рисунок 3.3 — Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння поверхні $\varnothing 40$ мм

З порівняльного аналізу елементарних похибок випливає, що найсуттєвіший вплив на точність обробки чистовим точінням чинить похибка, що спричиняється розмірним зносом різця ε_{i_1} . За необхідності вплив цієї похибки суттєво зменшити завдяки виконанню корекції вершини інструмента (різця) через меншу кількість оброблених заготовок, наприклад, через 25 шт. У цьому випадку величина цієї похибки складатиме 6 мкм.

Через відносно невелику жорсткість оброблюваної заготовки значної довжини помітний вплив на точність обробки має і похибка $\varepsilon_{пд}$.

Разом з тим, навіть за прийнятих технологічних умов, сумарна похибка (59 мкм) не перевищує допуск на розмір поверхні після чистового точіння (62 мкм).

Визначимо величини елементарних похибок, що впливатимуть на точність обробки в процесі тонкого точіння поверхні $\varnothing 40$ мм. В результаті виготовлення партії деталей має забезпечуватись розмір $\varnothing 40h7(-0.025)$ мм.

Похибка обробки, спричинена пружними деформаціями елементів технологічної системи визначалась за формулою (3.3). Сумарна податливість технологічної системи складає $0,9 \cdot 10^3$ мм/Н.

На зміну величини P_y впливатиме коливання припуску для тонкого точіння. Вважалось, що $t_{\min} = 0,08$ мм, $t_{\max} = 0,11$ мм.

Для прийнятих технологічних умов з використанням формули (3.6) отримано: $P_{y \min} = 35$ Н; $P_{y \max} = 42$ Н.

Визначена за формулою (3.2) величина $\varepsilon_{\text{вн}}$ склала 6 мкм.

Прийнято, що настроювання різця на розмір обробки (тонкого точіння) виконується з використанням способу пробних заготовок, тому похибка настроєння $\varepsilon_{\text{н}}$ визначалась за формулою [5]

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2} \right)^2} + \varepsilon_{\text{зм}}^2, \text{ [мкм]} \quad (3.9)$$

де ε_p — похибка регулювання положення різця, мкм;

$\varepsilon_{зм}$ — похибка, яка враховує зміщення центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання;

$K = 1,2$ — коефіцієнт, що враховує відхилення законів розподілу похибок ε_p , $\varepsilon_{зм}$ і $\varepsilon_{зм}$ від нормального закону (закону Гаусса).

Прийнято, що ε_p дорівнює похибці позиціонування, тобто $\varepsilon_p = \varepsilon_{поз} = 3$ мкм .

$$\text{Похибка } \varepsilon_{зм} = \frac{\varepsilon_{пл}}{\sqrt{m}} = \frac{6}{\sqrt{5}} = 3 \text{ мкм.}$$

Прийнято, що вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою пасаметра (важільної скоби) з ціною поділки 0,001 мм, і тому похибка вимірювання $\varepsilon_{вм} = 1$ мкм.

Тоді похибка настроєння складе

$$\varepsilon_n = 1,2 \sqrt{3^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + 3^2} = 5 \text{ (мкм).}$$

Розрахуємо похибку ε_{i_1} , що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки (тонкого точіння) однієї заготовки за формулою (3.7).

З урахуванням того, що подача під час тонкого точіння складає 0,07 мм/об, величина L складе

$$L = \frac{\pi D_1 l_1}{1000 s} + \frac{\pi D_2 l_2}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 116}{1000 \cdot 0,07} + \frac{3,14 \cdot 45 \cdot 27}{1000 \cdot 0,07} = 264 \text{ (м).}$$

Згідно з [4] прийнято, що відносний знос різця, оснащеного змінною пластиною з мінералокераміки ВОК-60, складе з $u_o = 0,8$ мкм/км.

Отже,

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{264}{1000} \cdot 0,8 = 0,2 \text{ (мкм).}$$

Вважатимемо, що система ЧПК верстата повинна виконуватиме автоматичну корекцію вершини різця після обробки $N = 10$ заготовок. За такої умови похибка, що виникає через розмірний знос складе

$$\varepsilon_{i_N} = \varepsilon_{i_1} N = 0,2 \times 15 = 3 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата буде такою ж, як і для чистового точіння, тобто $\varepsilon_{\text{в}} = 2$ мкм.

Вважалось, що під час тонкого точіння похибка, що зумовлена температурними деформаціями технологічної системи $\varepsilon_{\text{т}}$ складає близько 10 % від суми інших похибок, тобто прийнято, що

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,10 (\varepsilon_{\text{пл}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_{\text{і}} + \varepsilon_{\text{в}}) \text{ [мкм]}. \quad (3.10)$$

Підставивши знайдені раніше величини елементарних похибок у формулу (3.10), отримаємо

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

Сумарна похибка обробки, що вливатиме на точність обробки в процесі тонкого точіння, визначена за формулою (3.1), становитиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{(1 \cdot 6)^2 + (1 \cdot 5)^2 + (1 \cdot 3)^2 + (1,73 \cdot 3)^2 + (1,73 \cdot 3)^2 + (1,73 \cdot 2)^2} = 21 \text{ (мкм)}.$$

Коефіцієнт уточнення, що забезпечується тонким точінням складе

$$K_{\text{у.т.}} = \frac{59}{21} = 2,8$$

Діаграма величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого точіння, показана на рис. 3.4.

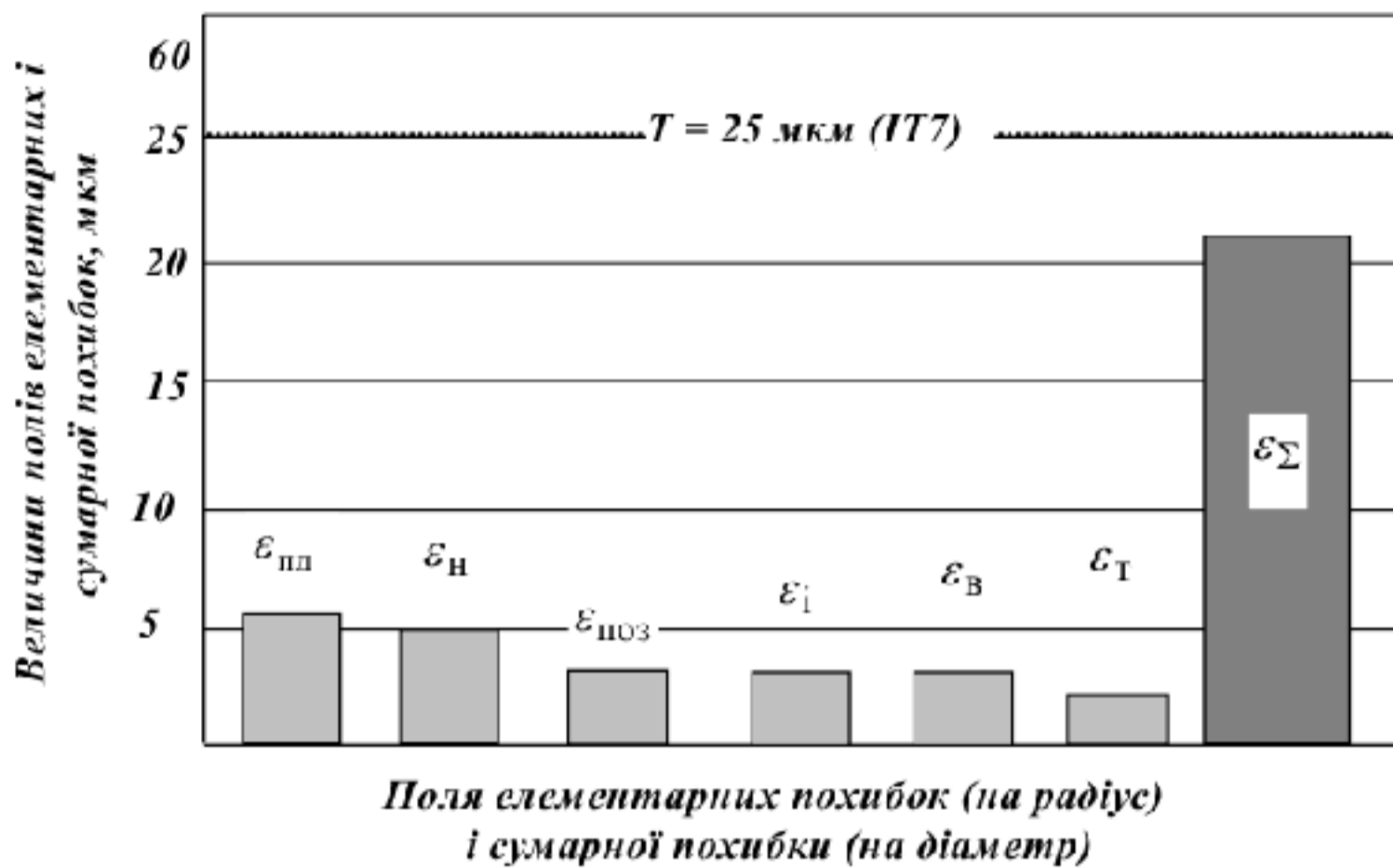


Рисунок 3.4 — Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі тонкого точіння поверхні до розміру $\varnothing 40h7_{(-0.025)}$ мм

Аналіз величин елементарних похибок показує, що найсуттєвіший вплив на точність обробки тонким точінням у випадку, що розглядається, має похибка, що спричиняється податливістю заготовки через її значну довжину. Зі збільшенням довжини заготовки ця похибка може спричинити неможливість забезпечення точності її діаметральних розмірів і точності форми циліндричних поверхонь. Для зменшення впливу цієї похибки як під час чистового, так і під час тонкого точіння можна порекомендувати використання лонету, розташуванням якого у напрямі осі Z керує система ЧПК верстата, наприклад верстат моделі В1200У, що виготовляється фірмою «Biglia» (Італія).

3.3 Висновок

1. На прикладі чистового і тонкого точіння точної зовнішньої циліндричної поверхні довгої заготовки деталі типу «Ступінчастий вал», виконано порівняльний аналіз з кількісним визначенням елементарних похибок, сумарних похибок і коефіцієнта уточнення.

2. Аналіз величин елементарних похибок показав, що найсуттєвіший вплив на точність обробки як чистовим, так і тонким точінням за прийнятих технологічних умов має похибка, що спричиняється податливістю заготовки через її значну довжину. Зі збільшенням довжини заготовки ця похибка може спричинити неможливість забезпечення точності її діаметральних розмірів і точності форми циліндричних поверхонь. Для зменшення впливу цієї похибки як під час фінішної обробки можна порекомендувати використання люнету, розташуванням якого у напрямі осі Z керує система ЧПК верстата. Такі можливості має, наприклад, верстат моделі B1200Y, що виготовляється фірмою «Biglia» (Італія).

3. Встановлено, що під час точіння зовнішніх циліндричних поверхонь значної довжини, похибка, що зумовлена розмірним зносом різця, в процесі обробки партії заготовок з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті може помітно впливати на точність діаметральних розмірів, але, за необхідністю, ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця.

4. Отримані величини коефіцієнта уточнення для тонкого точіння ($K_{y_{т.т.}} = 2,8$) узгоджуються із загальноприйнятим [6].

4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ШТОК ГЦ 05.017.002»

4.1 Уточнення виробничої програми

Приведена програма може бути розрахована за залежністю [8]:

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

Всі деталі в групі приводяться до представника за допомогою загального коефіцієнта приведення:

$$K_{пр} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3. \quad (4.2)$$

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

Для визначення коефіцієнтів K_1 , K_2 , K_3 скористаємося даними таблиці.

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Програма	Параметри деталі									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Шток ГЦ 05.017.002 (розрахунковий представник)	3,117	3000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			3	2	-	5	1	1	3	-	33	
			12,5	6,3	3,2	2,5	1,6	0,63	0,32	-	-	
			-	38	3	-	4	2	-	-	-	
Вал 2	2,0	30000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	-	1	1	2	-	18	-	10	
			12,5	6,3	3,2	1,6	1,25	0,63	0,32	-	-	
			-	15	12	-	3	2	5	-	-	
Вал 3	1,6	18000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			3	5	-	6	7	-	10	-	8	
			12,5	6,3	3,2	1,6	1,25	0,63	0,32	-	-	
			-	10	20	6	-	3	-	-	-	
Вал 4	6,0	400	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			2	6	-	10	-	9	-	-	18	
			12,5	6,3	3,2	1,6	1,25	0,63	0,32	-	-	
			-	30	1	-	10	4	-	-	-	

Визначення складових коефіцієнта приведення.

Розрахунок коефіцієнта K_1 для кожного з найменувань виробів.

Оскільки в групу об'єднані подібні деталі, то K_1 може бути розрахований за формулою:

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

де m – маса деталі розглядуваного виробу; $m_{p.пр.}$ – маса розрахункового представника.

Таким чином коефіцієнт K_1 складатиме (для деталей, що приводяться до розрахункового представника):

- для валу 2:

$$K_{1B2} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{B2}}{m_{p.пр.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,0}{3,117}\right)^2} = 0,74;$$

- для валу 3:

$$K_{1B3} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{B3}}{m_{p.пр.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,6}{3,117}\right)^2} = 0,64;$$

- для валу 4:

$$K_{1B4} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{B4}}{m_{p.пр.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{6,0}{3,117}\right)^2} = 1,548 .$$

Для визначення коефіцієнта K_2 скористаємося залежністю:

$$K_2 = \left(\frac{N_{pu}}{N_i}\right)^a, \quad (4.4)$$

Таким чином коефіцієнт K_2 складатиме (для деталей, що приводяться до розрахункового представника):

- для вала 2:

$$K_{2B2} = \left(\frac{N_{p.шп}}{N_i} \right)^{\alpha} = \left(\frac{3000}{30000} \right)^{0,15} = 0,708 ;$$

- для вала 3:

$$K_{2B3} = \left(\frac{N_{p.шп}}{N_i} \right)^{\alpha} = \left(\frac{3000}{18000} \right)^{0,15} = 0,75 ;$$

- для вала 4:

$$K_{2B4} = \left(\frac{N_{p.шп}}{N_i} \right)^{\alpha} = \left(\frac{3000}{400} \right)^{0,15} = 1,355 .$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі. K_3 – коефіцієнт, що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники, який знаходиться за формулами:

для розрахункового представника:

- для деталі «Шток ГЦ 05.017.002»:

$$\overline{K_{тр.шп}} = \frac{\sum K_{в} \cdot n_{кс}}{\sum n_{кс}} = \frac{6 \cdot 5 + 9 \cdot 5 + 10 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 3 + 14 \cdot 33}{5 + 5 + 1 + 1 + 3 + 33} = 12,38 ;$$

- для вала 2:

$$\overline{K_{тр.шп}^{B2}} = \frac{\sum K_{в} \cdot n_{кс}}{\sum n_{кс}} = \frac{8 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 18 + 14 \cdot 10}{1 + 1 + 2 + 18 + 10} = 12,3 ;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{тр.шп}^{B2}}}{\overline{K_{тр.шп}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(12,3)^{\alpha_1}}{(12,38)^{\alpha_1}} = \frac{0,87}{0,86} = 1,012 ;$$

- для вала 3:

$$\overline{K_{\text{тр.пр}}^{\beta 3}} = \frac{\sum K_{\beta} \cdot n_{\text{кв}}}{\sum n_{\text{кв}}} = \frac{6 \cdot 3 + 7 \cdot 5 + 9 \cdot 6 + 10 \cdot 7 + 12 \cdot 10 + 14 \cdot 8}{3 + 5 + 6 + 7 + 10 + 8} = 11,1;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{\text{тр.пр}}^{\beta 3}}}{K_{\text{тр.пр}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(11,1)^{\alpha_1}}{(12,38)^{\alpha_1}} = \frac{0,94}{0,86} = 1,093 ;$$

- для вала 4:

$$\overline{K_{\text{тр.пр}}^{\beta 4}} = \frac{\sum K_{\beta} \cdot n_{\text{кв}}}{\sum n_{\text{кв}}} = \frac{6 \cdot 2 + 7 \cdot 6 + 9 \cdot 10 + 11 \cdot 9 + 14 \cdot 18}{2 + 6 + 10 + 9 + 18} = 11 ;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{\text{тр.пр}}^{\beta 2}}}{K_{\text{тр.пр}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(11)^{\alpha_1}}{(12,38)^{\alpha_1}} = \frac{0,94}{0,86} = 1,093 .$$

Знайдемо значення коефіцієнта $K_{3,2}$ для кожної деталі.

Для розрахункового представника:

- для деталі «Шток ГЦ 05.017.002»:

$$\overline{R_a} = \frac{\sum R_a \cdot n_{\text{нов}}}{\sum n_{\text{нов}}} = \frac{6,3 \cdot 1 + 3,2 \cdot 38 + 2,5 \cdot 3 + 12,5 \cdot 4 + 0,63 \cdot 2}{1 + 38 + 3 + 4 + 2} = 2,95 ;$$

- для валу 2:

$$\overline{R_a^{\beta 2}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{\text{нов}}}{\sum n_{\text{нов}}} = \frac{6,3 \cdot 15 + 3,2 \cdot 12 + 1,25 \cdot 3 + 0,63 \cdot 2 + 0,32 \cdot 5}{37} = 3,77 ;$$

$$K_{3,2} = \frac{(3,77)^{\alpha_2}}{(2,95)^{\alpha_2}} = \frac{1,05}{1,08} = 0,97 ;$$

- для валу 3:

$$\overline{R_a^{B3}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{6,3 \cdot 10 + 3,2 \cdot 20 + 1,6 \cdot 6 + 0,63 \cdot 3}{39} = 3,55 ;$$

$$K_{3.2}^{B3} = \frac{(3,55)^{\alpha_2}}{(2,95)^{\alpha_2}} = \frac{1,1}{1,08} = 1,02 ;$$

- для валу 4:

$$\overline{R_a^{B4}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{6,3 \cdot 30 + 3,2 \cdot 1 + 1,25 \cdot 10 + 0,63 \cdot 4}{45} = 4,6 ;$$

$$K_{3.2}^{B4} = \frac{(4,6)^{\alpha_2}}{(2,95)^{\alpha_2}} = \frac{1,02}{1,08} = 0,94 .$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:

- для валу 2: $K_{3B2} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,012 \cdot 0,97 = 0,98 ;$

- для валу 3: $K_{3B3} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,093 \cdot 1,02 = 1,12 ;$

- для валу 4: $K_{3B4} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,093 \cdot 0,94 = 1,03 .$

Знайдемо значення коефіцієнта K_{np} для кожного виробу:

- для валу 2: $K_{np B2} = 0,74 \cdot 0,708 \cdot 0,98 = 0,513 ;$

- для валу 3: $K_{np B3} = 0,64 \cdot 0,75 \cdot 1,12 = 0,54 ;$

- для валу 4: $K_{np B4} = 1,548 \cdot 1,355 \cdot 1,03 = 2,16 .$

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме:

$$N_{\text{пр}} = 3000 \cdot 1,0 + 30000 \cdot 0,513 + 18000 \cdot 0,54 + 400 \cdot 2,16 = 15123 \quad (\text{шт.})$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма на річний випуск
			по масі	по серійності	по складності	загальний	
Шток ГЦ 05.017.002	3000	3,117	1,0	1,0	1,0	1,0	3000
Вал 2	30000	2,0	0,74	0,708	0,98	0,513	1539
Вал 3	30000	1,6	0,64	0,75	1,12	0,54	9720
Вал 4	400	6,0	1,548	1,355	1,03	2,16	864
Всього	-	-	-	-	-	-	15123

Прийнято 40400 шт.

4.2 Визначення кількості обладнання

Операція 005:

$$C_{P_{005}} = \frac{T_{\text{шт}} - K_{005} \cdot N_{\text{пр005}}}{60 \cdot F_g} = \frac{9,781 \cdot 15123}{60 \cdot 4060} = 0,61 ;$$

$$C_{\text{пр005}} = 1 \text{ верстат.}$$

Операція 010:

$$C_{P_{010}} = \frac{T_{\text{шт}} - K_{010} \cdot N_{\text{пр010}}}{60 \cdot F_g} = \frac{13,23 \cdot 15123}{60 \cdot 3890} \cong 0,86 ;$$

$$C_{\text{пр010}} = 1 \text{ верстат.}$$

Операція 015:

$$C_{P_{015}} = \frac{T_{\text{шт}} - K_{015} \cdot N_{\text{пр015}}}{60 \cdot F_g} = \frac{17,82 \cdot 15123}{60 \cdot 3890} = 1,155 ;$$

$$C_{\text{пр015}} = 2 \text{ верстат.}$$

Операція 020:

$$C_{p_{020}} = \frac{T_{\text{мв}} - K_{020} \cdot N_{\text{прив}}}{60 \cdot F_g} = \frac{4,22 \cdot 15123}{60 \cdot 3890} = 0,27 ;$$

$$C_{\text{пр}_{020}} = 1 \text{ верстат.}$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{\text{г.ср}} = \frac{0,61 + 0,86 + 0,58 + 0,24}{4} = 0,58 .$$

Визначимо коефіцієнти використання обладнання за основним часом:

$$\eta_{005}^o = \frac{T_{O_{005}}}{T_{\text{мв}} - K_{005}} = \frac{3,611}{9,781} = 0,37 ;$$

$$\eta_{010}^o = \frac{T_{O_{010}}}{T_{\text{мв}} - K_{010}} = \frac{5,934}{13,23} = 0,45 ;$$

$$\eta_{015}^o = \frac{T_{O_{015}}}{T_{\text{мв}} - K_{015}} = \frac{11,48}{17,82} = 0,64 ;$$

$$\eta_{020}^o = \frac{T_{O_{020}}}{T_{\text{мв}} - K_{020}} = \frac{1,325}{4,22} = 0,31 .$$

Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом:

$$\eta_{\text{ср}}^o = \frac{0,37 + 0,45 + 0,64 + 0,31}{4} = 0,44 .$$

Будуємо графіки завантаження обладнання та його використання за основним часом.

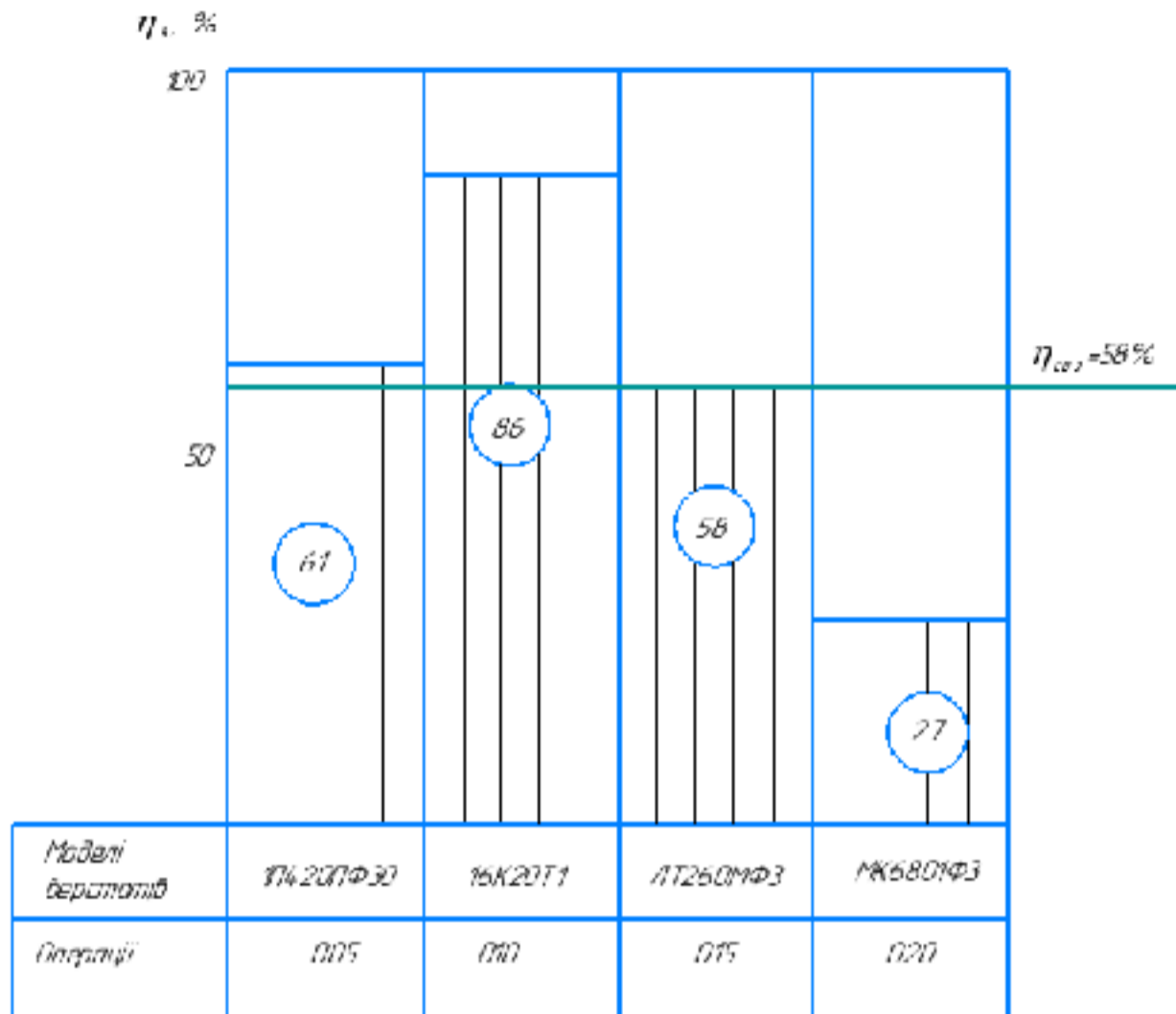


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

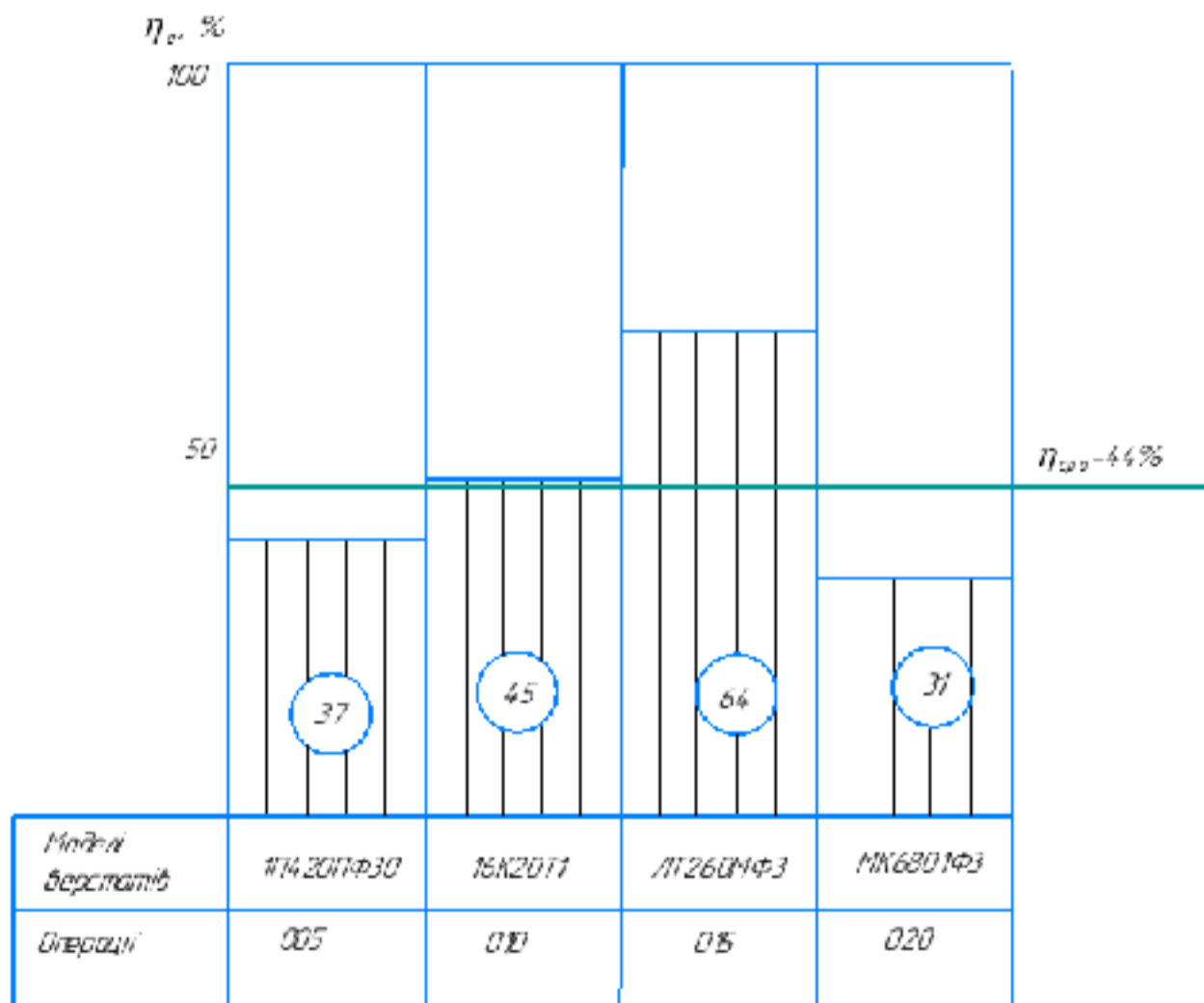


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

4.2.1 Визначення складу робітників на дільниці та його кількості

До складу працюючих на дільниці входять такі категорії [8]:

- основні та допоміжні робітники,
- інженерно-технічні робітники (ІТР),
- службовці,
- молодший обслуговуючий персонал (МОП).

Визначаємо кількість робітників по кожній категорії:

- основні робітники (верстатники):

$$P_{\text{верст.}} = \frac{T_{\text{мтв-к}}}{F_p \cdot K_m} = \frac{\sum T_{\text{мтв-к}} \cdot N_{\text{прое.}}}{F_p \cdot K_m}, \quad (4.5)$$

де F_p – ефективний річний фонд часу робітника, год.; K_m – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування.

- токарі-револьверщики:

$$P_{\text{т-р}} = \frac{9,781 \cdot 15123}{60 \cdot 1860 \cdot 1,0} = 1,33 .$$

Приймаємо двох робітників.

- оператори токарних верстатів з ЧПК:

$$P_{\text{тчпк}} = \frac{13,23 \cdot 15123}{60 \cdot 1860 \cdot 1,0} = 1,8 .$$

Приймаємо два оператора токарного верстата з ЧПК.

- оператори фрезерних верстатів з ЧПК:

$$P_{\text{фчпк}} = \frac{17,82 \cdot 15123}{60 \cdot 1860 \cdot 1,2} = 1,21 .$$

Приймаємо два оператора фрезерного верстата з ЧПК.

- оператори токарних верстатів з ЧПК:

$$P_{\text{оператори ЧПК}} = \frac{4,22 \cdot 15123}{60 \cdot 1860 \cdot 1,0} = 0,57 .$$

Приймаємо одного оператора токарного верстата з ЧПК для однієї робочої зміни.

- Допоміжні робітники визначаються як 20-25% від кількості основних робітників, тобто:

$$P_{\text{допоміжні}} = 0,2 \cdot P_{\text{основні}} = 0,2 \cdot (2 + 2 + 2 + 1) = 1,4 .$$

Приймаємо 2 робітники – по одному для кожної робочої зміни.

- ІТР визначається як 16-22% від кількості основних робітників:

$$P_{\text{ІТР}} = 0,2 \cdot P_{\text{основні}} = 0,2 \cdot 7 = 1,4 .$$

Приймаємо 2 робітники – по одному для кожної робочої зміни.

- Службовці визначаються як 0,9-1,9% від кількості основних робітників:

$$P_{\text{сл}} = 0,01 \cdot P_{\text{основні}} = 0,01 \cdot 7 = 0,7 .$$

Приймаємо одного робітника.

- МОП визначається як 1-2% від загальної кількості робітників:

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (7 + 2 + 2 + 1) = 0,26 .$$

Приймаємо одного робітника.

Службовець та МОП на дільниці завантажені в незначній мірі, тому обслуговують інші дільниці.

Отримані данні по розрахунку кількості працюючих на дільниці зводимо до таблиці.

Таблиця 4.3 – Кількість працюючих на дільниці

Працюючі (категорія)	Загальна кількість	Розподіл по професіях	Розподіл по змінам
Основні робітники	7	2 – токарі-револьверники; 2 – оператори токарного верстату з ЧПК; 2 – оператори фрезерного верстату з ЧПК 1 – оператор токарного верстату з ЧПК	1 – 1-а зміна 1 – 2-а зміна 1 – 1-а зміна 1 – 2-а зміна 1 – 1-а зміна 1 – 2-а зміна 1 – 1-а зміна
Допоміжні робітники	2	-	1 – 1-а зміна 1 – 2-а зміна
ІТР	2	-	1 – 1-а зміна 1 – 2-а зміна
Службовці	1	-	1 – 1-а зміна
МОП	1	-	1 – 1-а зміна

**5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ
«ШТОК ГЦ 05.017.002»**

5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки

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 [15].

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	10			40%
Кількість основних робітників	10			20%
Середній розряд робітників	8			10%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{\text{а.р.}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{нi}} \cdot \alpha_i, \quad (5.1)$$

де P_{in} – числове значення i -го параметра інноваційного рішення; n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання; α_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

$$K_{s.a.} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 8,9.$$

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.	6	5	1,2	0,4
Кількість основних робітників, чол.	10	7	1,43	0,2
Середній розряд робітників	4	3	1,33	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,46	0,58	1,26	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,38	0,44	1,16	0,15
Собівартість заготовки, грн.	171,92	142,46	-	-

Відносні (одичні) показники якості з будь-якого параметра q_i , що занесено у відповідні колонки таблиці 5.3, визначаються за формулами:

$$q_i = \frac{P_{in}}{P_{в}}, \quad (5.2)$$

або

$$q_i = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{б}}}, \quad (5.3)$$

де $P_{\text{н}}$, $P_{\text{б}}$ – числові значення i -го параметра відповідно нового і базового виробів.

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{\text{к.к.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.4)$$

$$K_{\text{к.к.}} = 1,2 \cdot 0,4 + 1,43 \cdot 0,2 + 1,33 \cdot 0,1 + 1,26 \cdot 0,15 + 1,16 \cdot 0,15 = 1,26.$$

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:

$$K = \frac{I_{\text{т.п.}}}{I_{\text{е.п.}}}, \quad (5.5)$$

де $I_{\text{т.п.}}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{\text{е.п.}}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Het}}{\sum_{i=1}^n P_{Bet}}, \quad (5.6)$$

де P_{Het} , P_{Bet} – 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 1,26. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{171,92}{142,46} = 1,21.$$

Тоді, користуючись формулою (5.5), розрахуємо загальний показник конкурентоспроможності:

$$K = \frac{1,26}{1,21} = 1,04.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Шток ГЦ 05.017.002» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»

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 [15]:

$$K = Z_o + Z_{дод} + Z_n + B_{буд} + B_{обз} + B_{пр} + B_{осн} + B_{ме} + B_{пу} + B_{не} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

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 дільниця, грн.;

$B_{обз}$ – початкова вартість технологічного обладнання, грн.;

$B_{пр}$ – початкова вартість транспортних засобів, грн.;

$B_{осн}$ – початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів, грн.;

$B_{ме}$ – 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_m – 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	16000	727,27	10	7272,73	
Інженер-технолог	14000	636,36	8	5090,91	
Інженер-конструктор	14000	636,36	8	5090,91	
Економіст	14000	636,36	8	5090,91	
Всього				z_o	22545,46

5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

Додаткова заробітна плата розраховується як 10...12% від основної заробітної плати розробників за формулою:

$$z_{\text{доб}} = H_{\text{доб}} \cdot z_o \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

де $H_{\text{доб}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$z_{\text{доб}} = 0,1 \cdot 22545,46 = 2254,55 \text{ (грн.)}$$

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:

$$z_n = (z_o + z_{\text{доб}}) \cdot H_m \text{ [грн.]}, \quad (5.10)$$

де H_m – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$z_n = (22545,46 + 2254,55) \cdot 0,22 = 5456,0 \text{ (грн.)}$$

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:

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{м.}} \cdot S_{\text{м.}} \text{ [грн.],} \quad (5.11)$$

де $C_{\text{м.}}$ – приблизна вартість переобладнання 1 м² власних приміщень ($C_{\text{м.}} \approx 200 \dots 1000$ грн./м²);

$S_{\text{м.}}$ – загальна площа виробничої ділянки, м².

$$B_{\text{буд.}} = 700 \cdot 125 = 87500 \text{ (грн.)}$$

5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{обз.}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр. } i} \cdot K_i \text{ [грн.],} \quad (5.12)$$

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 роботів $K_i = 1,3 \dots 1,5$);

k – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Токарний верстат з ЧПК моделі МК6801Ф3	460000	1	1,1	506000
Всього					506000

Придбаний верстат був у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 2 верстати 3М151Ф2 – $2 \cdot 125000 = 250000$ (грн.)

Всього реалізовано верстатів на 250000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{обл} = 506000 - 250000 = 256000 \text{ (грн.)}$$

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 ($B_{мо}$) розраховують за формулою:

$$B_{мо} = B_{обл} \cdot \frac{K_n}{100 \%} \text{ [грн.]}, \quad (5.13)$$

де $B_{об}$ – балансова вартість обладнання, грн.;

$K_{н}$ – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{во} = 256000 \cdot 0,10 = 25600 \text{ (грн.)}$$

Вартість оснастки великої вартості ($B_{осв}$) становить 20...30% вартості інструменту і технологічного оснащення, і розраховується за формулою:

$$B_{осв} = (0,2 \dots 0,3) \cdot B_{во} \text{ [грн.]}; \quad (5.14)$$

$$B_{осв} = 25600 \cdot 0,25 = 6400 \text{ (грн.)}$$

Вартість контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів ($B_{квр}$), 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:

$$B_{квр} = (0,06 \dots 0,12) \cdot B_{во} \text{ [грн.]}; \quad (5.15)$$

$$B_{квр} = 0,1 \cdot 25600 = 2560 \text{ (грн.)}$$

Загальна вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів ($B_{осн}$) визначається за формулою:

$$B_{осн} = B_{во} + B_{осв} + B_{квр} \text{ [грн.]}; \quad (5.16)$$

$$B_{осн} = 25600 + 6400 + 2560 = 34560 \text{ (грн.)}$$

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 ($B_{\text{пр}}$) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

$$B_{\text{пр}} = (0,05 \dots 0,1) \cdot B_{\text{обл}} \text{ [грн.];} \quad (5.17)$$

$$B_{\text{пр}} = 0,1 \cdot 256000 = 25600 \text{ (грн.)}$$

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:

$$\begin{aligned} K &= 22545,46 + 2254,55 + 5456 + 87500 + 256000 + 34560 + 25600 = \\ &= 433916,01 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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 «Шток ГЦ 05.017.002» складає 142,46 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{ji} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{аві}}}{\eta_i} \text{ [грн.],} \quad (5.18)$$

де W_{ji} – 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, $C_e = 5,3$ грн.;

$K_{\text{аві}}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності на визначеній i -й технологічній операції, $K_{\text{аві}} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i = 0,96$.

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Операція, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Токарно-револьверний верстат з ЧПК моделі 1П420ПФ30	30	0,06	8,94
010 Токарний верстат з ЧПК моделі 16К20Т1	11	0,099	5,41
015 Фрезерний верстат з ЧПК моделі ЛТ260МФ3	5,5	0,191	5,22
020 Токарний верстат з ЧПК моделі МК6801Ф3	11	0,022	1,2
Всього			Σ 20,77

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:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_m} \text{ [грн.],} \quad (5.20)$$

де M_m – розмір мінімальної місячної заробітної плати, $M_m = 6700$ грн. (з 01.01.2023 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.

$$C = (6700 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 77,09 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Операція, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	0,06	3	1,35	77,09	4,63
010 Токарний верстат з ЧПК 16К20Т1	0,099	3	1,35	77,09	7,63
015 Фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	0,191	3	1,35	77,09	14,72
020 Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3	0,022	3	1,35	77,09	1,7
Всього					Σ 28,68

5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

Розраховується як 10...12% від основної заробітної плати робітників:

$$Z_{\text{доп}} = N_{\text{доп}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (5.21)$$

де $N_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$Z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 28,68 = 2,87 \text{ (грн.)}$$

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:

$$z_n = (z_o + z_{\text{дод}}) \cdot H_m \text{ [грн.]}, \quad (5.22)$$

де H_m – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$z_n = (28,68 + 2,87) \cdot 0,22 = 6,94 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{\text{зв}} = H_m \cdot z_p \text{ [грн.]}; \quad (5.23)$$

$$B_{\text{зв}} = 2,5 \cdot 28,68 = 71,7 \text{ (грн.)}$$

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	142,46	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	20,77	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	z_p	28,68	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$z_{\text{дод}}$	2,87	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	z_n	6,94	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{зв}}$	71,7	
Всього	S_e	273,42	

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 $P = 5 \dots 20\%$;

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 10.11.2023 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.

$$C_{\text{нп}} = 273,42 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 393,73 \text{ (грн.)}$$

5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ($C_{\text{вп}}$) 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 $C_{\text{вп}} = 393,73$ грн.

5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

При удосконаленні технологічного процесу розрахунок величини чистого прибутку, який отримає виробник протягом одного року, розраховується за формулою:

$$\Pi = \left\{ \left[\left[C_{\text{дог}} - \frac{(C_{\text{дог}} - M) \cdot f}{100} - S_v - \frac{q \cdot S_v}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (5.25)$$

де $C_{\text{дог}}$ – договірна ціна реалізації виробу, грн.;

M – вартість матеріальних ресурсів, які були придбані виробником для виготовлення одиниці виробу, грн.;

S_v – 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, $q = 5 \dots 10\%$;

N – число виробів, які планується реалізувати за рік, шт.

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[\left[393,73 - \frac{(393,73 - 142,46) \cdot 16,67}{100} - 273,42 - \frac{10 \cdot 273,42}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 3000 = \\ &= 125659,98 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

При оцінці ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників, як: чистий дисконтний дохід (інтегральний ефект); внутрішня норма дохідності (прибутковості); індекс прибутковості; термін окупності.

5.6.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

Дане удосконалення 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.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{125659,98}{(1+0,2)^1} + \frac{125659,98}{(1+0,2)^2} + \frac{125659,98}{(1+0,2)^3} + \frac{125659,98}{(1+0,2)^4} - 433916,01 = \\ &= 108615,68 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{125659,98 + 125659,98 + 125659,98 + 125659,98}{433916,01}} - 1 = 0,04 .$$

5.6.3 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності капітальних вкладень (або додаткових капітальних вкладень) розраховується за формулою:

$$T_o = \frac{\Delta K (K)}{\Pi} \text{ [років]}, \quad (5.28)$$

де K – величина капітальних вкладень для розробки нової технології грн.,

ΔK – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

Π – прибуток, отриманий виробником за 1 рік продажу продукції, виробленої з застосуванням нового технологічного процесу, грн.

$$T_o = \frac{433916,01}{125659,98} = 3,45 \text{ (року)}.$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002», 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 433916,01 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 125659,98 грн., термін окупності 3,45 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002» доцільне для впровадження.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Відповідно до Закону України “Про охорону праці” управління охороною праці на державному рівні здійснює створена при Кабінеті Міністрів Національна Рада з питань безпеки життєдіяльності, що розробляє і проводить заходи зі створення цілісної системи державного управління охороною життя людей на виробництві і профілактики побутового травматизму, організовує й забезпечує контроль за виконанням законодавчих актів, координує діяльність центральних і місцевих органів виконавчої влади у сфері охорони життя людей. Очолює Національну Раду з питань безпеки життєдіяльності перший віце-прем'єр-міністр України. Рішення Національної Ради та її бюро, прийняті в межах їхньої компетенції, обов'язкові для центральних і місцевих органів державної виконавчої влади, підприємств, організацій та громадян. На працівника під час удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002». могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищена чи понижена іонізація повітря;
- пряма і відбита блискість;
- підвищення яскравість;
- недостатня освітленість робочої зони;

2. Психофізіологічні:

- статичне перевантаження;
- розумове перевантаження;
- емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Велике значення має характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця проектувальника за ПК були дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення обладнання, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;
- необхідно природне і штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення.

Площа приміщення на одне робоче місце користувача повинна становити 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 .

Головними елементами робочого місця проектувальника за ПК є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташовано в зоні легкої досяжності робочого простору.

Максимальна зона досяжності рук – це частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, що описуються максимально витягнутими руками при русі їх у плечовому суглобі.

Оптимальна зона – частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними передпліччя при русі в ліктьових суглобах з опорою в точці ліктя і з відносно нерухомим плечем.

При роботі в положенні сидячи рекомендуються такі параметри робочого простору:

- ширина не менше 700 мм;
- глибина не менше 400 мм;
- висота робочої поверхні столу над статтю 700-750 мм.

Оптимальними розмірами столу є:

- висота 710 мм;
- довжина столу 1300 мм;
- ширина столу 650 мм.

Під робочою поверхнею повинно бути передбачено простір для ніг:

- висота не менше 600 мм;
- ширина не менше 500 мм;
- глибина не менше 400 мм.

Робочі місця з ПК повинні бути розташовані від стіни з вікнами на відстані не менш ніж 1,5 м, від інших стін - на відстані не менше ніж 1 м. При розміщенні робочого місця поряд з вікном кут між екраном монітора і площиною вікна повинен складати не менше 90° (для виключення відблисків), частину вікна, що прилягає, бажано зашторити. Недопустиме розташування ПК, при якому працюючий повернений обличчям або спиною до вікон кімнати або до задньої частини ПК, в яку монтуються вентилятори. При розміщенні робочих столів з ПК слід дотримуватись таких відстаней: між бічними поверхнями ПК – 1,2 м, від тильної поверхні одного ПК до екрана іншого ПК – 2,5 м.

Приміщення, де здійснювалося удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002». за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки [18].

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі й керівництва, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Для забезпечення безпеки встановлюються наступні технічні рішення:

- Забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).
- Забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.
- Розподільні шафи, пускові пристрої й клемні коробки закритого типу (розміщаються в спеціальних кожухах) - для забезпечення недоступності неізольованих струмопровідних частин.
- Напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Основним нормативним документом, що регламентує параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [19]. Цей документ встановлює оптимальні і допустимі значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, допустиму температуру внутрішніх поверхонь приміщення (стіни, стеля, підлога) і зовнішніх поверхонь технологічного обладнання, а також допустиму інтенсивність теплового випромінювання нагрітих поверхонь у приміщенні та відкритих джерел тепла (нагрітий метал, скло, відкритий вогонь тощо) для робочої зони — визначеного простору, в якому знаходяться робочі місця постійного або непостійного (тимчасового) перебування працівників

Робота дослідника з удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002». за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [20]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено:

1. У холодний період року для обігріву будівлі використовується централізована парова система опалення.

2. Забезпечення допустимих метеорологічних умов праці в приміщенні здійснюється за допомогою системи кондиціонування.

3. Систематичне (раз за зміну) вологе прибирання.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

У сучасній техніці застосовується безліч речовин, які можуть потрапляти в повітря і становити небезпеку здоров'ю людей. Залежно від ступеня токсичності, фізико-хімічних властивостей, шляхів проникнення в організм, санітарні норми встановлюють гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони виробничих приміщень, перевищення яких неприпустиме.

В приміщенні, де здійснюється удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002», можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

6.2.3 Виробниче освітлення

Стан освітлення виробничих приміщень відіграє важливу роль і для попередження виробничого травматизму. Багато негасних випадків на виробництві стається через погане освітлення. Втрати від цього становлять досить значні суми, а, головне, людина може загинути або стати інвалідом. Раціональне освітлення повинно відповідати таким умовам: бути достатнім (відповідним нормі); рівномірним; не утворювати тіней на робочій поверхні; не засліплювати працюючого; напрямок світлового потоку повинен відповідати зручному виконанню роботи. Це сприяє підтримці високого рівня працездатності, зберігає здоров'я людини та зменшує травматизм.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [21]) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освіт-леність, Лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природ-не освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	B0,15 - до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимальне використання бічного природного освітлення.
- 2) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 3) Система природного освітлення доповнюється загальним штучним освітленням, що створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

6.2.4 Виробничий шум

Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину. Фізична сутність звуку – це механічні коливання пружного середовища (повітря, рідини). Під час звукових коливань утворюються області зниженого і підвищеного тиску, що діють на слуховий аналізатор (мембрану вуха).

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має акумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [22]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

6.2.5 Виробничі випромінювання

Працюючи за комп'ютером, користувач підпадає під вплив високочастотного електромагнітного поля (ЕМП). Як показують результати вимірювання електромагнітного випромінювання, інтенсивність опромінення ЕМП від комп'ютера підсилюється, коли одночасно оператор ще й розмовляє по мобільному телефону.

Люди, які працюють в ЕМП, що перевищує допустимі норми, швидко втомлюються, скаржаться на головні болі, загальну слабкість, болі в ділянці серця. Вони стають дратівливими, у них збільшується пітливість та порушується нічний сон. Відтак, захист від ЕМВ не лише покращить самопочуття працівників, але і допоможе створити більш сприятливі умови для праці.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20кВ / м 15кВ / м

Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку.

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих чинників НС

6.3.1 Дія вогню на будівлі виробничих приміщень під час пожежі

Аналіз пожеж показує, що рівень гранично допустимих чинників пожежі виникає через 5-10 хв з початку пожежі, несучу здатність будівельні металеві конструкції втрачають через 10-15 хв, а середній час початку ефективних дій пожежних підрозділів становить 20-25 хв.

Пожежну небезпеку посилює зростання концентрації горючих речовин і матеріальних цінностей, що припадає на одиницю площі будівель (пожежне навантаження), що призводить до дуже високого рівня їх пожежної небезпеки.

Тяжкість наслідків від пожеж значною мірою зумовлена недостатньою захищеністю будівель та споруд системами автоматичного протипожежного захисту та їх некваліфікованим обслуговуванням.

Причиною зростання кількості жертв та матеріальних збитків на пожежах стає те, що технічна оснащеність пожежної охорони значно відстає від сучасних вимог і недостатньо укомплектована засобами рятування людей та засобами пожежогасіння.

Втрати від пожеж визначаються сукупністю видів збитків від них. Втрати на пожежах пов'язані з прямими, побічними, соціальними та екологічними збитками.

Вибухи, витікання небезпечних речовин можуть бути спричинені їх нагріванням під час пожежі, розгерметизацією посудин та трубопроводів з небезпечними рідинами та газами тощо. Вибухи збільшують площу горіння і можуть призводити до утворення нових осередків пожеж. Люди, що перебувають

поблизу, можуть попасти під дію вибухової хвилі, діставати ураження уламками тощо.

Руйнування будівельних конструкцій відбувається внаслідок втрати ними несучої здатності під впливом високих температур та вибухів. При цьому люди можуть одержати значні механічні травми, опинитися під уламками завалених конструкцій. До того ж, евакуація може бути просто неможливою, внаслідок завалів евакуаційних виходів та руйнування шляхів евакуації [23].

6.3.2 Визначення нижньої та верхньої концентраційної межі спалахування пожежо-вибухо-небезпечної суміші

Вихідні дані: до складу пожежовибухонебезпечної суміші входять: метан – 80 %, етан – 10 %, пропан – 5 %, бутан – 5 %.

Нижню та верхню концентраційну межу поширення полум'я (спалахування) C суміші декількох горючих речовин при початковій температурі суміші 25 °С можна орієнтовно визначити за формулою Ле-Шателе

$$C = \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{\sum_{k=1}^n C_k / C_{mk}} \quad [\% \text{ об.}], \quad (6.1)$$

де n – кількість горючих елементів суміші;

C_k – концентрація k -го компонента в суміші, % об.;

C_{mk} – нижня або верхня концентраційна межа (НКМ або ВКМ) поширення полум'я k -го компонента суміші, % об.

Вибираємо НКМ та ВКМ усіх складових пожежовибухонебезпечної суміші: метан – 5/15 %, етан – 2,9/15 %, пропан – 2,1/9,5 %, бутан – 1,8/9,1 %.

Використовуючи формулу (6.1) визначимо нижню та верхню концентраційну межу поширення полум'я (спалахування) суміші

$$C_{ПКМ} = \frac{80 + 10 + 5 + 5}{80/5 + 10/2,9 + 5/2,1 + 5/1,8} = 4,06 (\% \text{ об.});$$

$$C_{ВЕМ} = \frac{80 - 10 + 5 + 5}{80/15 + 10/15 + 5/9,5 + 5/9,1} = 14,13 (\% \text{ об.}).$$

6.3.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи в умовах дії НС

З метою попередження пожежі проводяться організаційні, технічні, експлуатаційні і режимні заходи.

До організаційних заходів відносяться: навчання працюючих правилам пожежної безпеки, проведення інструктажів, бесід, лекцій тощо.

До технічних – дотримування протипожежних правил та норм при встановленні опалення, вентиляційного обладнання.

До експлуатаційних – заходи, що передбачають правильну експлуатацію машин, обладнання, транспорту, правильне утримання території і будинків.

Висновок. Визначено нижню та верхню концентраційну межу спалахування пожежовибухо-небезпечної суміші. Розроблено превентивні заходи по підвищенню безпеки роботи в умовах дії НС.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002». В результаті виконання роботи можна зробити такі висновки.

1. В розділі огляду технології виготовлення деталі типу «Вал» проведено аналіз типових технологічних процесів, базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002», оцінені їх позитивні сторони, внесені пропозиції щодо удосконалення технологічного процесу механічної обробки розглядуваної заготовки деталі.

2. Для виготовлення заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002» запропоновано два способи – штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) та прокат. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку штампуванням на ГКМ, оскільки собівартість виготовлення заготовки при цьому складає 142,46 грн., що менше у порівнянні з вартістю заготовки виготовленої з прокату – 171,92 грн.

3. Розроблено два варіанта удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК. Проведено їх техніко-економічне порівняння, вибрано за мінімумом приведених витрат кращий варіант. Виконане розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу. Проведені розрахунки припусків, режимів різання, норм часу на операції.

4. В науковій частині роботи на прикладі чистового і тонкого точіння точної зовнішньої циліндричної поверхні довгої заготовки деталі типу «Ступінчастий вал», виконано порівняльний аналіз з кількісним визначенням елементарних похибок, сумарних похибок і коефіцієнта уточнення. Аналіз величин елементарних похибок показав, що найсуттєвіший вплив на точність обробки як чистовим, так і тонким точінням за прийнятих технологічних умов має похибка, що спричиняється податливістю заготовки через її значну довжину. Зі збільшенням довжини заготовки ця похибка може спричинити неможливість забезпечення

точності її діаметральних розмірів і точності форми циліндричних поверхонь. Для зменшення впливу цієї похибки як під час фінішної обробки можна порекомендувати використання лонету, розташуванням якого у напрямі осі Z керує система ЧПК верстата. Такі можливості має, наприклад, верстат моделі В1200У, що виготовляється фірмою «Biglia» (Італія). Встановлено також, що під час точіння зовнішніх циліндричних поверхонь значної довжини, похибка, що зумовлена розмірним зносом різця, в процесі обробки партії заготовок з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті може помітно впливати на точність діаметральних розмірів, але, за необхідністю, ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця. Отримані величини коефіцієнта уточнення для тонкого точіння ($K_{y_{т.т.}} = 2,8$) узгоджуються із загальноприйнятим.

5. Для удосконаленого маршруту механічної обробки спроектовано дільницю механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи дільниці в середньосерійному виробництві, яка складає 15123 шт.; дільниця механічної обробки повинна містити 5 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 7 чол., всього працівників на дільниці – 13 чол.

6. Проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження удосконаленої технології та дільниці механічної обробки заготовки деталі «Шток ГЦ 05.017.002», визначені капітальні вкладення – 433916,01 грн., одержаний прибуток – 125659,98 грн., термін окупності вкладень – 3,45 року.

7. В МКР розроблені заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
2. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.
3. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 112 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський — Вінниця: ВНТУ, 2017. — 106 с.
5. Дерібо О.В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Дерібо О.В., Лозінський Д.О., Сердюк О.В. — Вінниця : ВНТУ, 2023. — 116 с. Електронний ресурс: https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927
6. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні / П. О. Руденко. — К. : Вища школа, 1993. — 414 с.
7. Рудь В. О. Курсове проектування з технології машинобудування : навчальний посібник / В. О. Рудь. – К. : ІСДО, 1996 – 300 с.
8. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 148 с.
9. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування / Ж. П. Дусанюк, І. О. Сивак, С. В. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 105 с.
10. Приходько В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані

(1 файл: pdf - 15.2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.
[Електронний ресурс] : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>.

11. Рудь В. Д. Розмірно-точнісний аналіз конструкцій та технологій / Рудь В. Д., Герасимчук О. О., Маркова Т. П. — Луцьк: ЛДТУ, 2008. — 344 с.

12. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ / Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А.; під заг. ред. В. А. Кириловича. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 600 с.

13. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / [О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 119 с.

14. Шамрай В. С., Таранік А. В., Дерібо О. В. Аналіз точності обробки чистовим і тонким точінням на верстатах з ЧПК зовнішніх циліндричних поверхонь довгих заготовок деталей типу «Ступінчастий вал / Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», (15 жовтня 2023 р. – 20 травня 2024 р.). – Електронний ресурс : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19757>.

15. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

16. ДСТУ ОHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с

17. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_15-18_01_ua.php.

18. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

19. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

20. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

21. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

22. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

23. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах / В. Ф. Сакевич. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 109 с.

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Шток ГЦ 05.017.002»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше
(вказати))

Підрозділ Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник Дерібо О. В., к.т.н., проф. каф. ТАМ

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	92,5%
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	7,5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____

(підпис)

Шамрай В. С.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Особа, відповідальна за перевірку Сердюк О. В.

(прізвище, ініціали)

Експерт _____

(підпис)

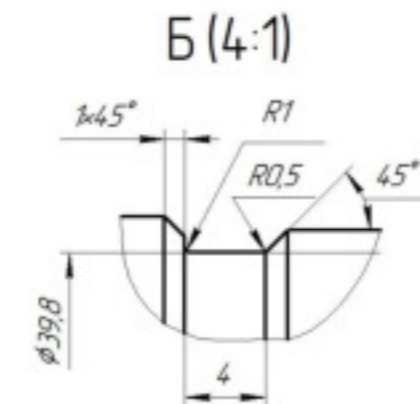
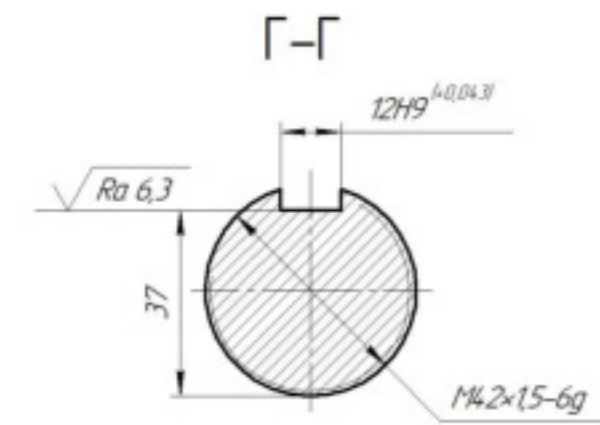
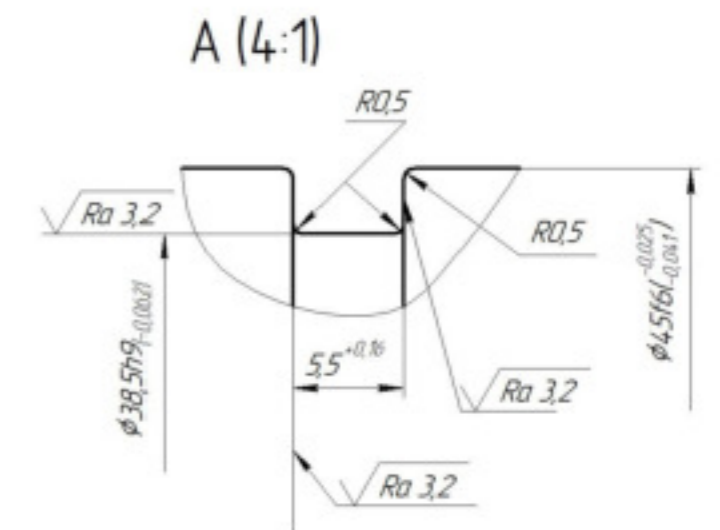
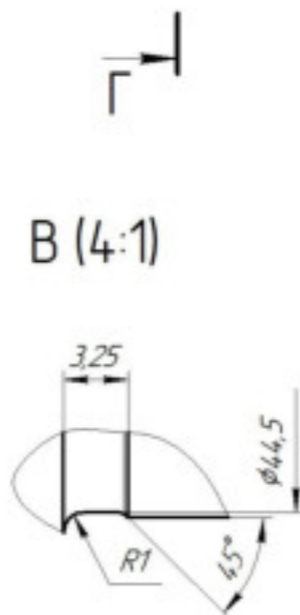
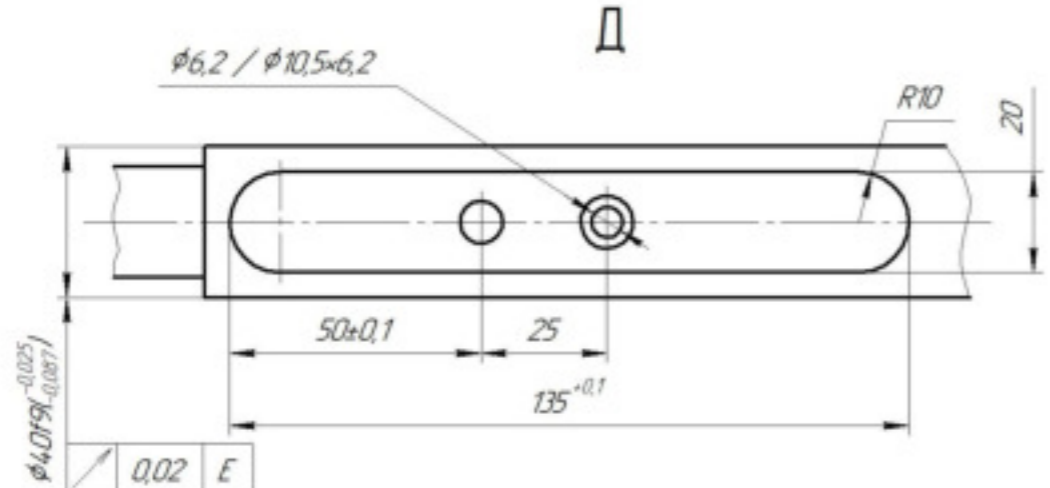
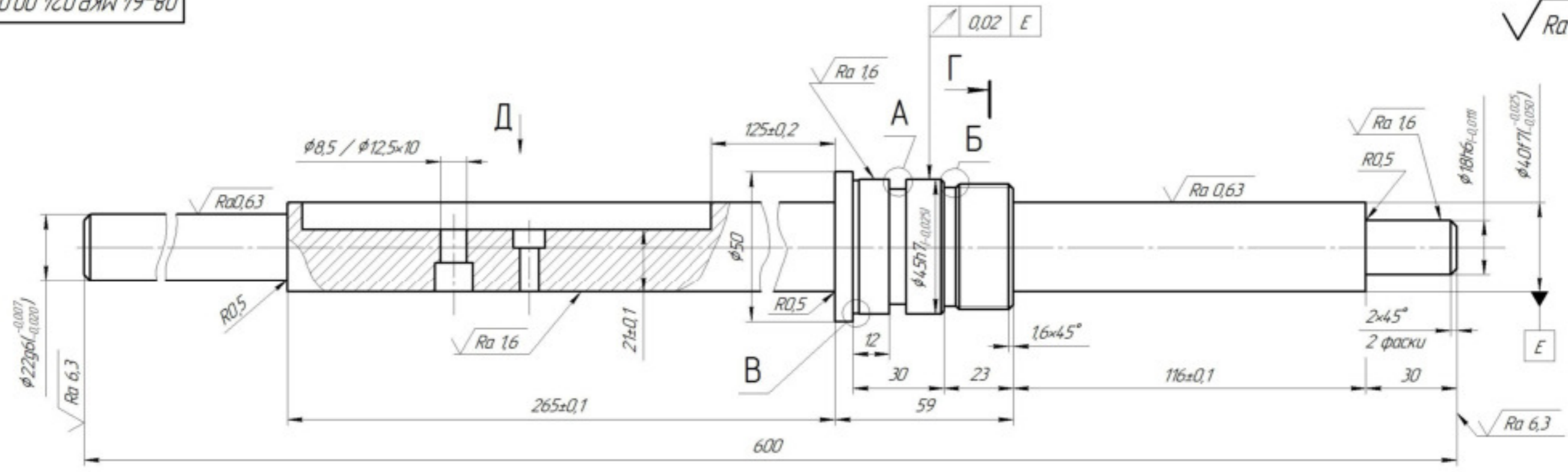
Козлов Л. Г., д.т.н., зав. каф. ТАМ

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

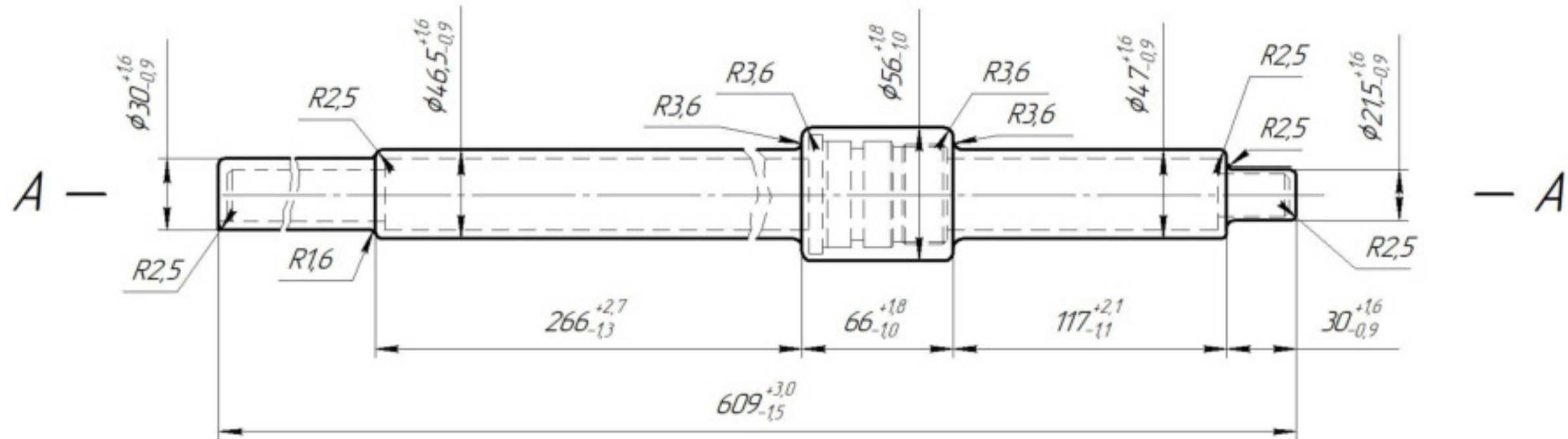
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ШТОК ГЦ 05.017.002»



1. НВ 260-280
2. H14; h14; ± 11%
3. Покрытие Хім. Окс. грм.

				08-64.MKP.024.00.001			
Изм./Лист	№ докум.	Лист	Всего	Шток ГЦ 05.017.002	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Шторой ВС				3,117	1:1	
Проект	Дерда ОВ			Сталь 40Х ГОСТ 4543-71			
Исполн	Сердюк ОВ			ВНТУ			
Этап	Контроль ИГ			ст. гр. ПМ-22М			
				Контроль			
				Формат А2			



1. Допустиме зміщення по площині роз'єму штампу – не більше 0,3 мм.
2. Невказані нахили зовнішніх поверхонь 5°.
3. Клас точності виготовлення – Т5, ступінь складності – С2, група сталі – М2.
4. Допустимий заусенець до 1,6 мм.
5. А-А – площина роз'єму штамп.

					08-64.МКР.024.00.001		
					Шток (поковка)		
					Лист	Маса	Масштаб
						4,95	1:1
					Лист 1 Листов 1		
					Сталь 40Х ГОСТ4543-71		
					ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-22М		
					Формат А3		

Перо: ручка

Справа №

Підп. і дата

Вказ. шк. №

Вказ. шк. №

Підп. і дата

Шк. №

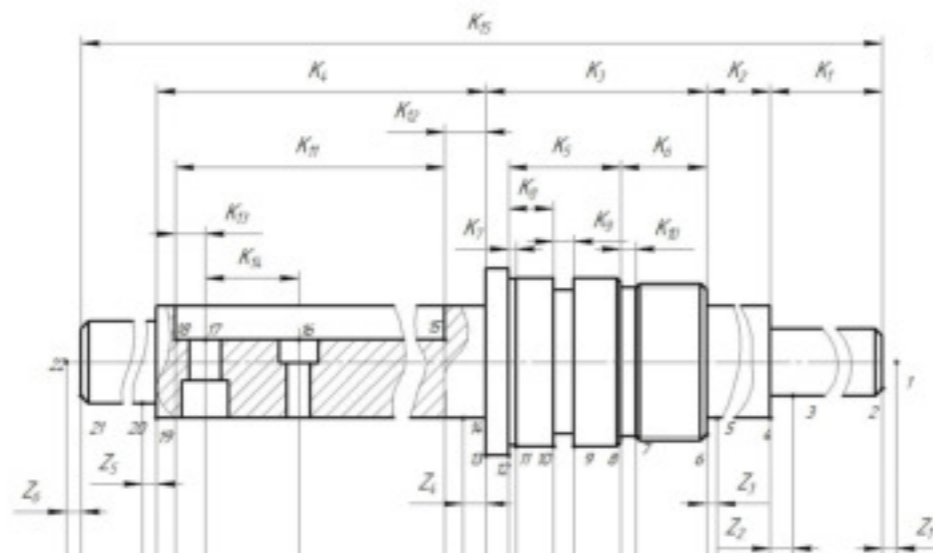
Маршрут механічної обробки

№ опер.	Назва операції, зміст переходів	Схема установки заготовки та ескіз обробки	Обладнання
005	<p>Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p><u>Установка А</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити заготовку 2 Точити торець 1 однократно 3 Центрувати отв.2 за ГОСТ 14.034-74 4 Точити пов.3 попередньо 5 Точити торець 4 остаточно 6 Точити пов.5 попередньо 7 Точити торець 6 остаточно <p><u>Установка Б</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 8 Точити торець 7 однократно 9 Центрувати отв.8 за ГОСТ 14.034-74 10 Точити пов.9 попередньо 11 Точити торець 10 остаточно 12 Точити пов.11 попередньо 13 Точити торець 12 остаточно 14 Зняти заготовку 		Токарно-револьверний з ЧПК моделі ПТ4.20ПФ30
010	<p>Токарна з ЧПК</p> <p><u>Установка А</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити заготовку 2 Точити пов.1 остаточно, пов.2 попередньо, пов.3 остаточно 3 Точити пов.2,4,5 остаточно, точити фаски 6,7,9 остаточно 4 Точити канавку 8 однократно 5 Точити канавку 10 однократно 6 Точити канавку 11 однократно 7 Нарізати різь 12 <p><u>Установка Б</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 8 Точити пов.13,14 фаску 15 остаточно 9 Зняти заготовку 		Токарний верстат з ЧПК моделі 16К20Т1
015	<p>Фрезерна з ЧПК</p> <p><u>Установка А</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Встановити заготовку 2 Фрезерувати пов.1 однократно 3 Центрувати отв. 2, 3 4 Свердлити отв. 2 напраді 5 Свердлити отв. 4 напраді 6 Целювати отв. 3 7 Фрезерувати паз 5 <p><u>Установка Б</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 8 Фрезерувати заглиблення 6 9 Зняти заготовку 		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ПТ260МФ3 з ділянкою голубков, що керується від системи ЧПК

Маршрут механічної обробки (продовження)

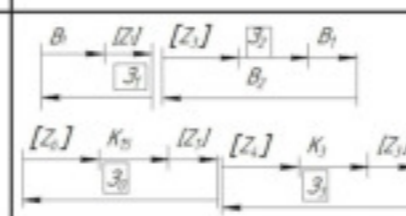
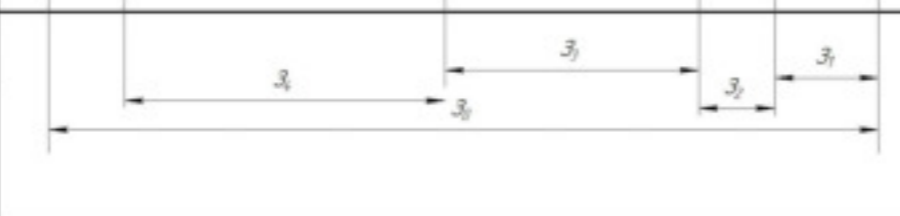
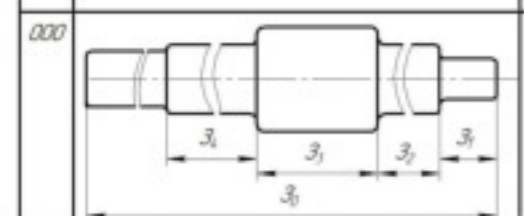
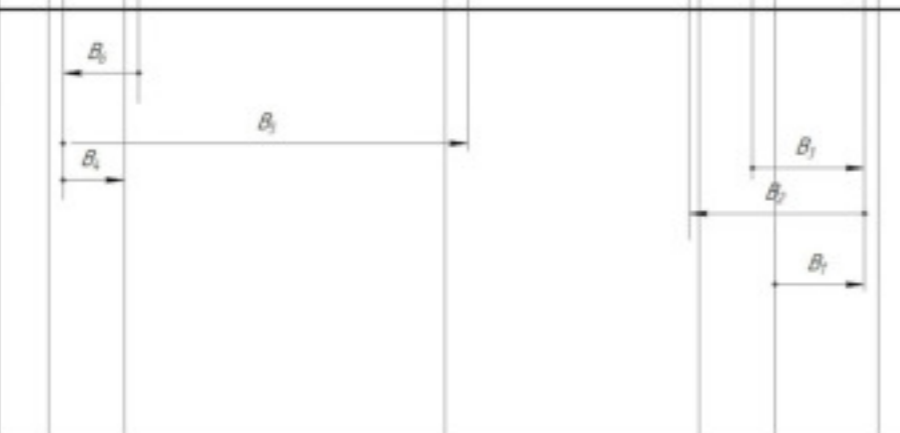
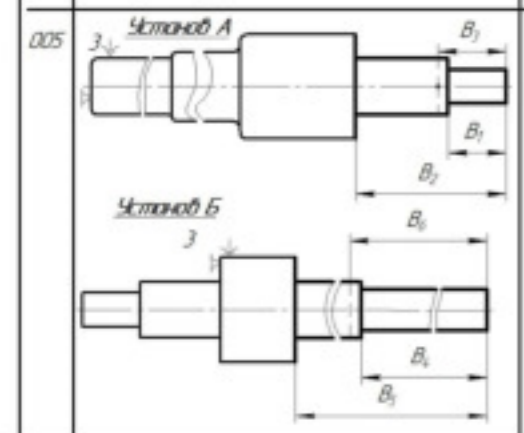
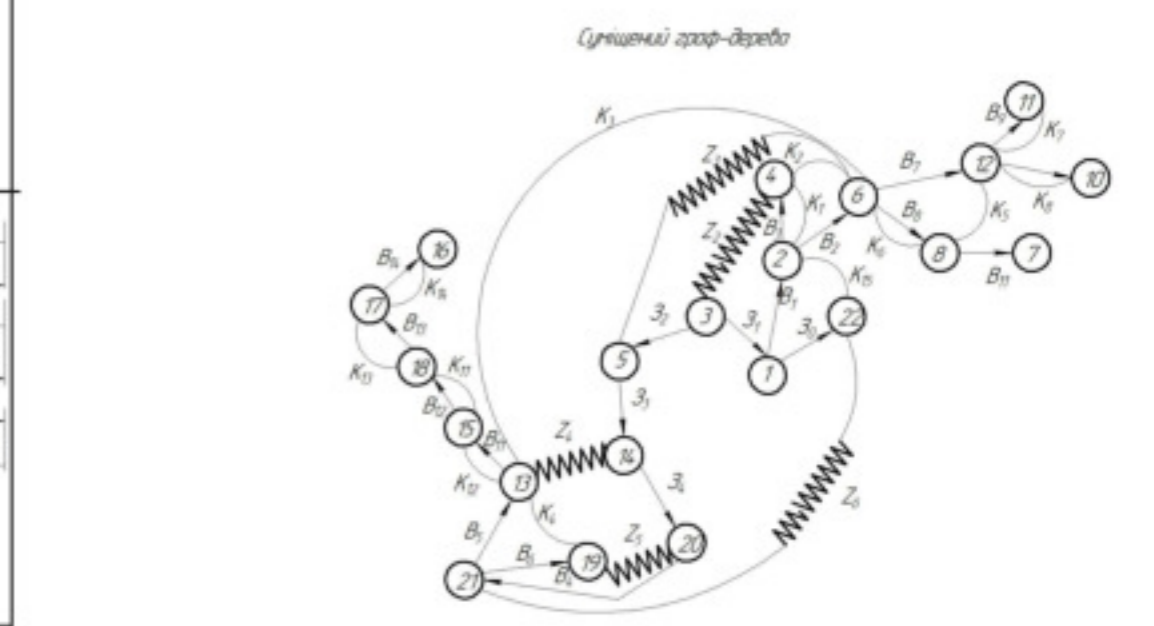
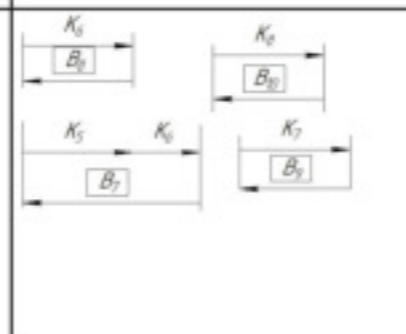
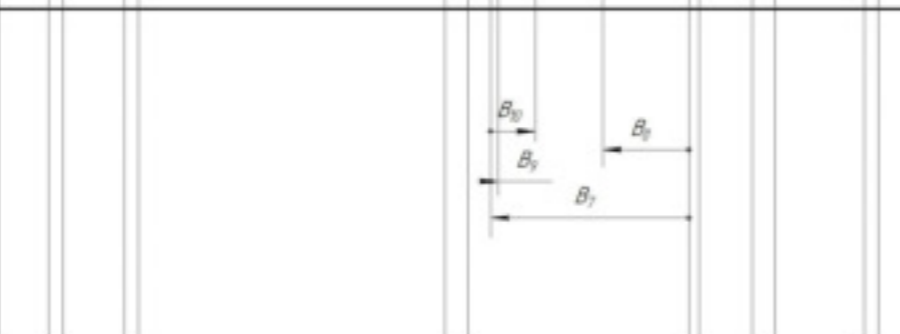
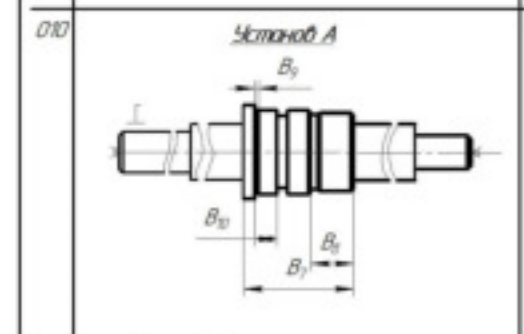
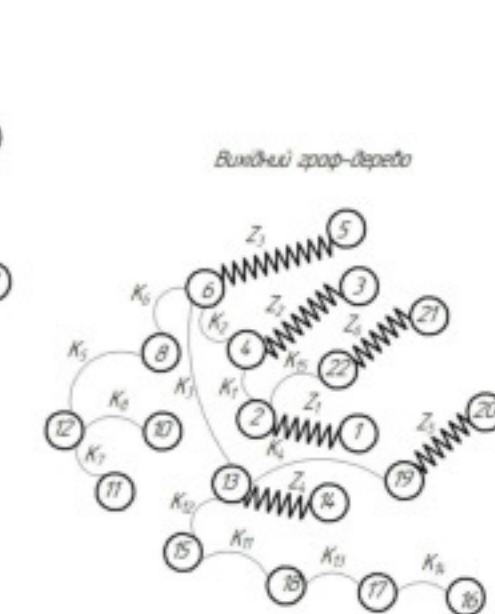
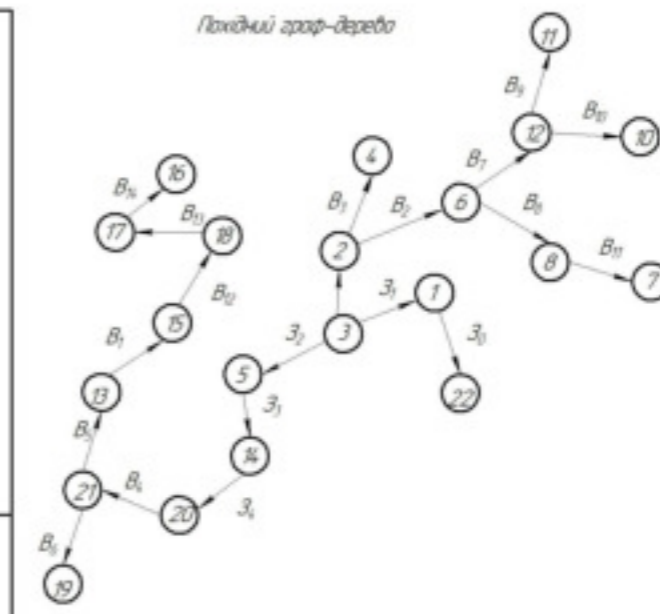
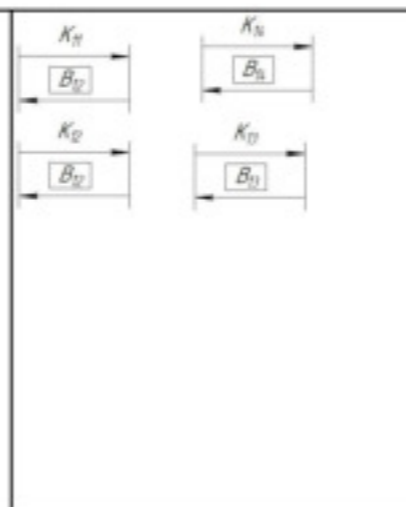
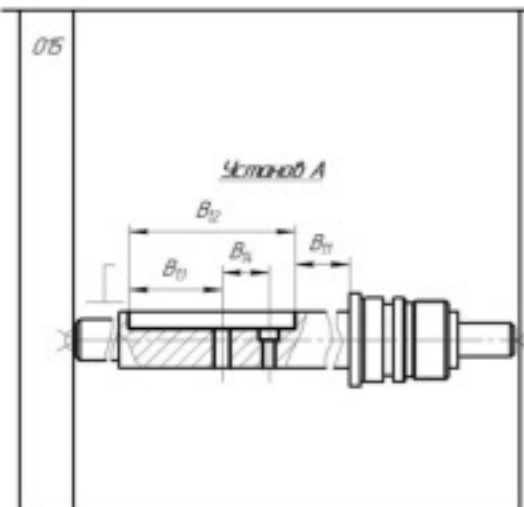
№ опер.	Назва операції, зміст переходів	Схема установки заготовки та ескіз обробки	Обладнання
020	<u>Термічна</u>		HB 260...280
025	<p style="text-align: center;"><u>Токарна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку. 2. Точити пов. 1, 2, 3 попередньо. 3. Точити пов. 1, 2, 3 остаточно. 4. Точити пов. 4 остаточно, пов. 5 попередньо. 5. Точити пов. 5 остаточно. 6. Зняти деталь. 		<p>Токарний верстат з ЧПК моделі МК6801ФЗ</p>

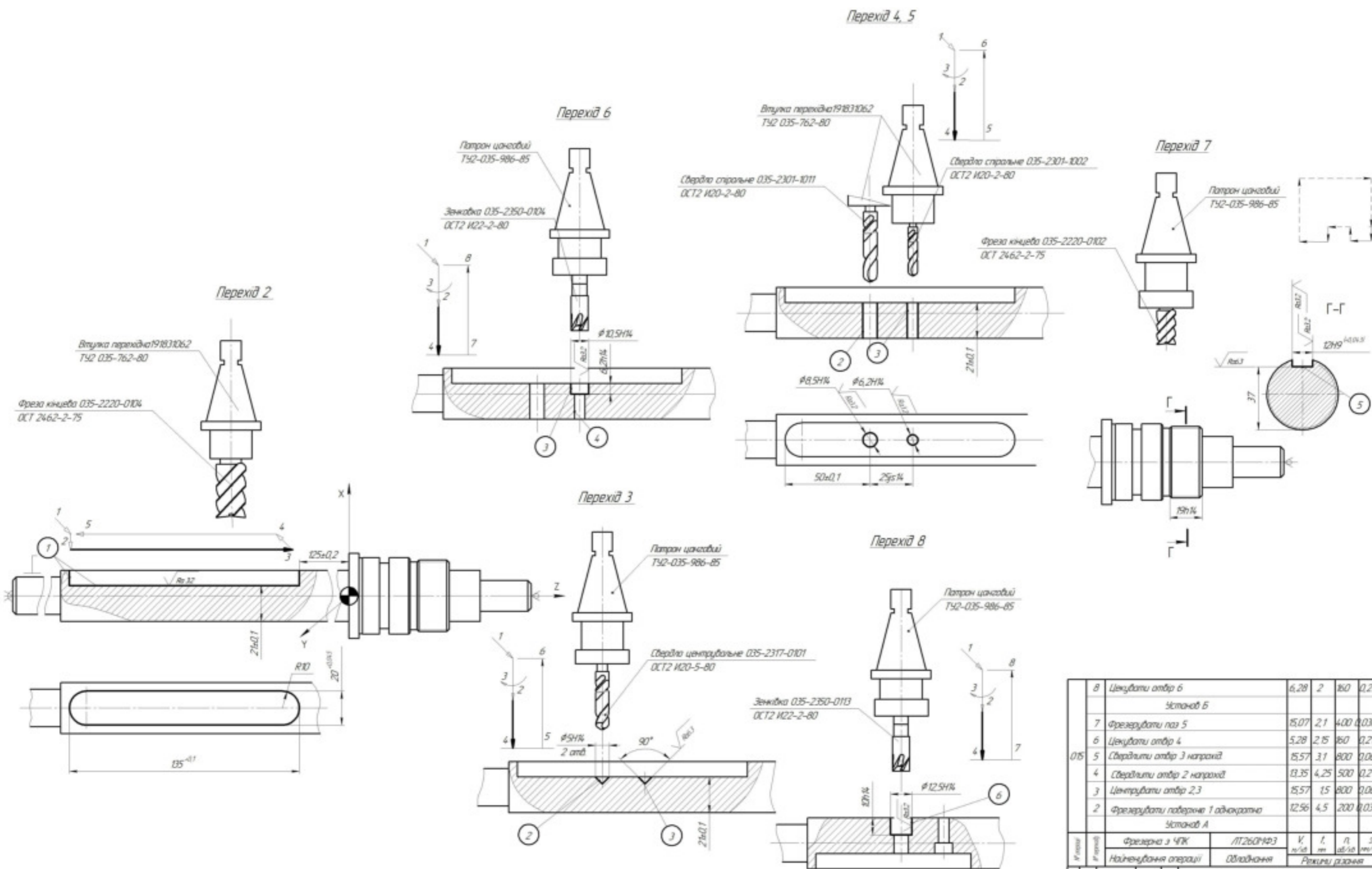
Розмірний аналіз технологічного процесу



Розміри заготовки та технологічні розміри	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}
Попередні значення допусків, мм	16	0,4	0,6	0,6	10	0,4	0,22	0,4	10	16	10	0,4	0,8	0,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,4
Квалітет точності	H14	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	± 7	H9	J512	± 7
Остаточні значення допусків, мм	16	0,4	0,6	0,6	10	0,4	0,22	0,4	10	16	10	0,4	0,8	0,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,4
Номинальні розміри, мм	603,2	30	15,19	616,2	264,6	29,2	14,58	30	128,4	395,2	129,8	53,2	23	4	12	125	135	50	25

Поліуски, мм	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	
Граничні розміри, мм	z_{max}	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	z_{min}	12	12	16,2	4	24	4,55





015	8	Центрувати отвір 6	6,28	2	160	0,23
		Установ Б				
	7	Фрезерувати поз 5	15,07	2,1	400	0,038
	6	Центрувати отвір 4	5,28	2,15	160	0,21
	5	Свердлити отвір 3 напрям	15,57	3,1	800	0,06
	4	Свердлити отвір 2 напрям	13,35	4,25	500	0,21
	3	Центрувати отвір 2,3	15,57	1,5	800	0,06
	2	Фрезерувати поверхню 1 однократно	12,96	4,5	200	0,038
Установ А						
Метод	Фрезерно з ЧПК	ЛТ26014Ф3	V	f	n	s
Називання операції	Обладнання		Режими різання			

08-64 МКР.024.00.300						
Карта налагоджень			Лист	№	кількість	11
ВНТУ			ст. др. 171-22н			

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ЗОВНІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТУПІНЧАСТИЙ ВАЛ»

Мета роботи – встановлення показників точності, що забезпечуються фінішною лезовою обробкою на сучасних верстатах з ЧПК високої точності. Дослідження виконувались на прикладі виготовлення деталі «Шток ГЦ 05.017.002».

Дослідження виконувались на прикладі операції 030. На цій операції виконується попередня і остаточна обробка точінням точних зовнішніх циліндричних поверхонь, у т. ч. циліндричної поверхні штока діаметром $\varnothing 45h7(-0.025)$ мм.

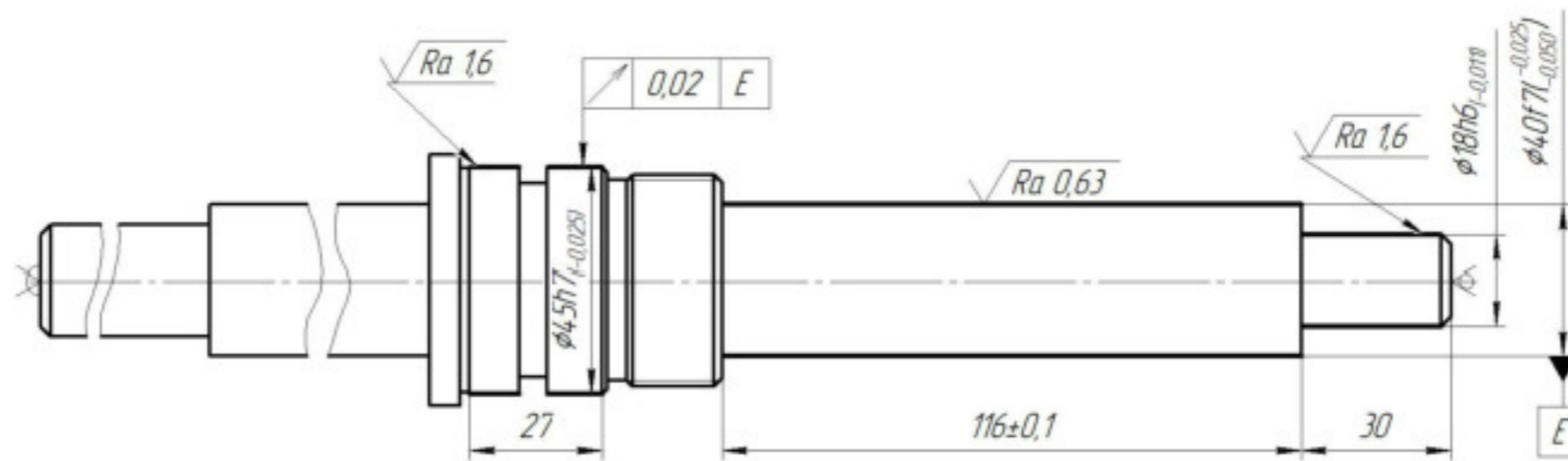


Рисунок 1 – Ескіз обробки

Сумарну похибку обробки (поле розсіювання розмірів) у т. ч. діаметральних розмірів зовнішніх циліндричних поверхонь, що отримуються в результаті обробки на токарних верстатах з ЧПК можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{поз}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{п}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{і}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \quad [\text{мкм}]. \quad (1)$$

Похибка обробки від пружних деформаціями елементів технологічної системи:

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \quad [\text{мкм}]. \quad (2)$$

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ЗОВНІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТУПІНЧАСТИЙ ВАЛ»

(продовження)

Вважаємо, що для виконання попереднього (чистового) точіння різець на виконуваний розмір не настроюється, а переміщується у початкову точку відповідно до команди від керувальної програми. Тому прийнято, що для переходу чистового точіння можна визначити певну комплексну похибку, яка враховує як похибку позиціонування $\varepsilon_{\text{поз}}$, так і похибку вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}}$ за формулою:

$$\varepsilon_{\text{к}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{поз}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2} \quad [\text{МКМ}]. \quad (3)$$

Похибка, що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки однієї заготовки:

$$\varepsilon_{\text{i}} = \frac{L_1 u_0}{1000} \quad [\text{МКМ}]. \quad (4)$$

Похибка, що зумовлена геометричною неточністю верстата:

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{CL}{L_6} \quad [\text{МКМ}]. \quad (5)$$

Похибка, що зумовлена температурними деформаціями технологічної системи:

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,1(\varepsilon_{\text{пд}} + \varepsilon_{\text{к}} + \varepsilon_{\text{i}} + \varepsilon_{\text{в}}) \quad [\text{МКМ}]. \quad (6)$$

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ЗОВНІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТУПІНЧАСТИЙ ВАЛ»

(продовження)

За результатами розрахунків побудована діаграма величин елементарних і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння на верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3 (рис. 2). На цій діаграмі показано вплив елементарних похибок у радіальному вимірі, а сумарної похибки — в діаметральному. Діаграма величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого точіння, показана на рис. 3.

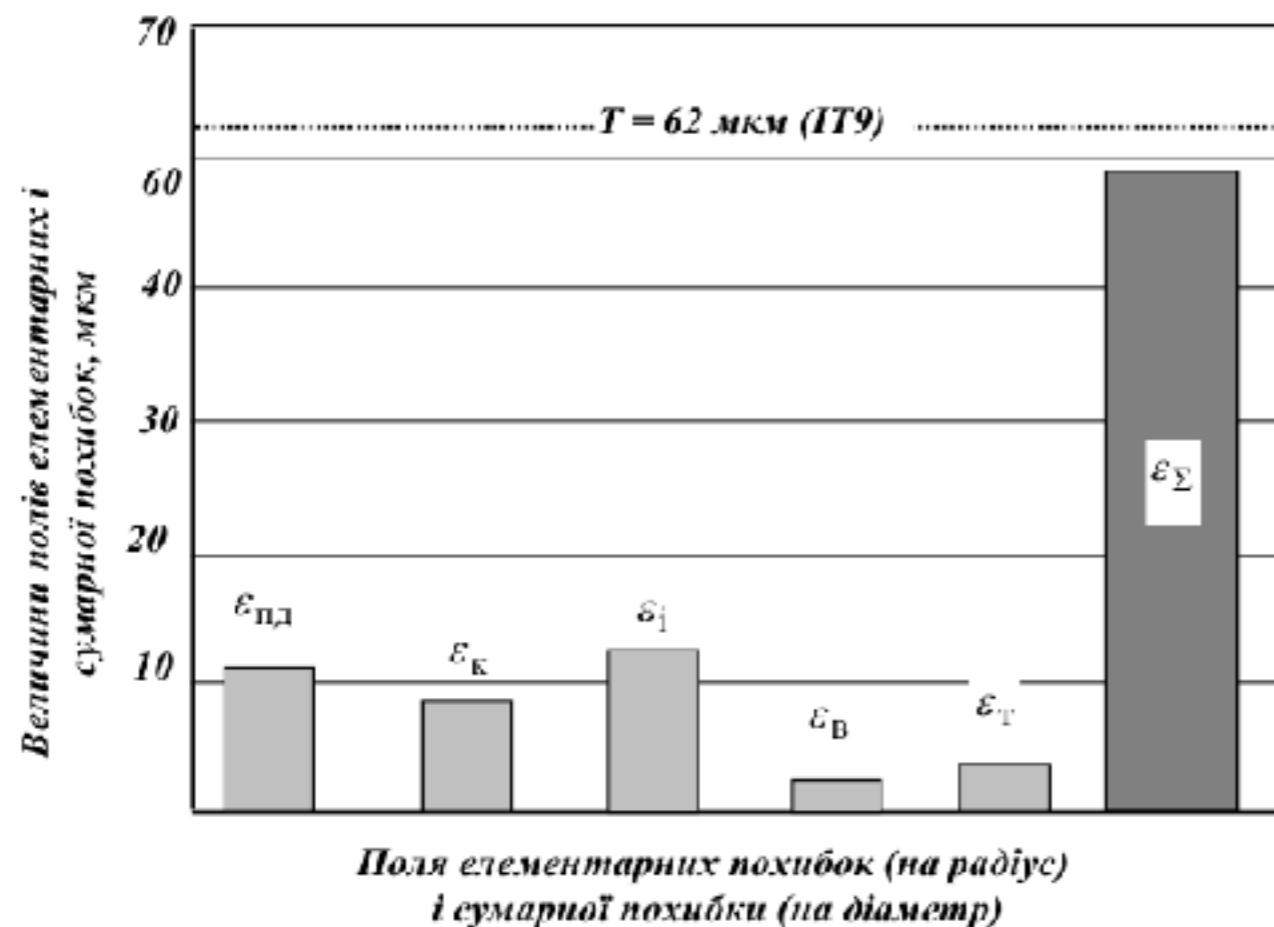


Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння поверхні $\varnothing 40$ мм

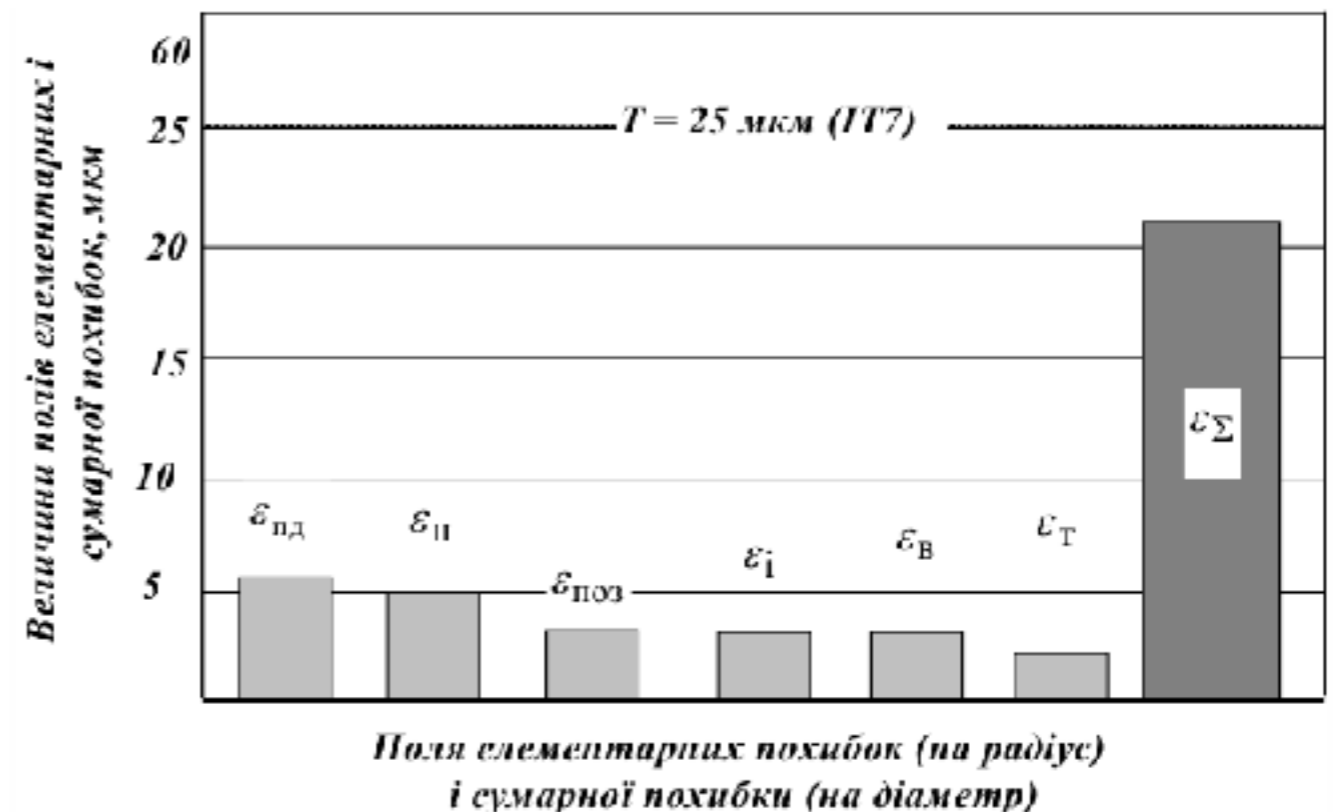


Рисунок 3 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі тонкого точіння поверхні до розміру $\varnothing 40h7_{(-0.025)}$ мм

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ЗОВНІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТУПІНЧАСТИЙ ВАЛ»

(продовження)

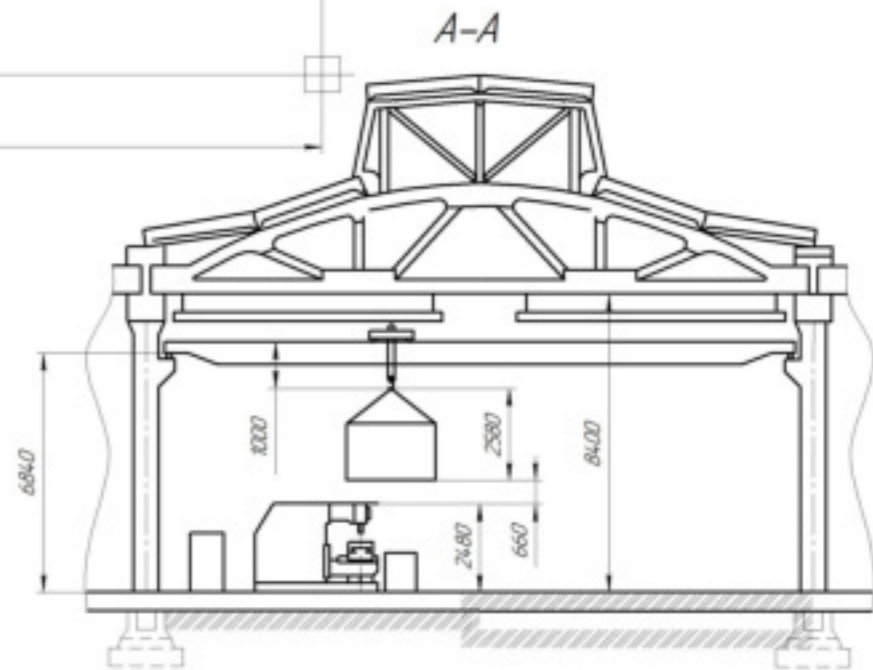
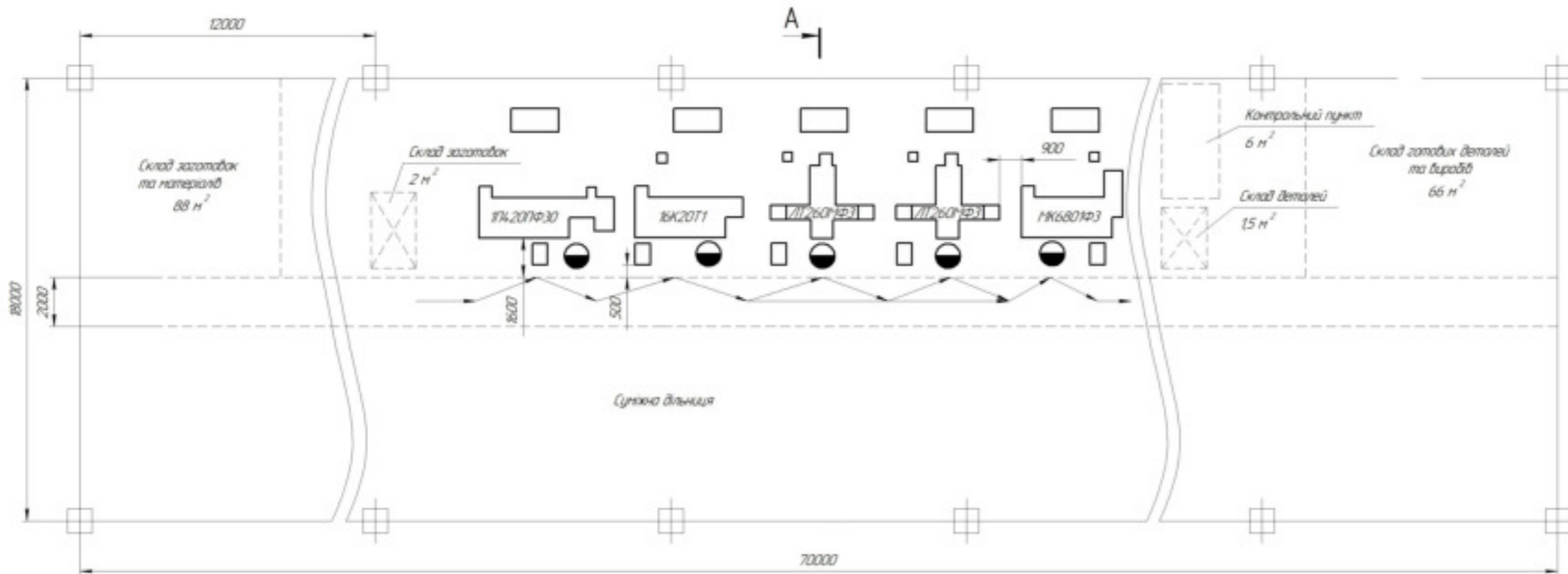
Висновок

1. На прикладі чистового і тонкого точіння точної зовнішньої циліндричної поверхні довгої заготовки деталі типу «Ступінчастий вал», виконано порівняльний аналіз з кількісним визначенням елементарних похибок, сумарних похибок і коефіцієнта уточнення.

2. Аналіз величин елементарних похибок показав, що найсуттєвіший вплив на точність обробки як чистовим, так і тонким точінням за прийнятих технологічних умов має похибка, що спричиняється податливістю заготовки через її значну довжину. Зі збільшенням довжини заготовки ця похибка може спричинити неможливість забезпечення точності її діаметральних розмірів і точності форми циліндричних поверхонь. Для зменшення впливу цієї похибки як під час фінішної обробки можна порекомендувати використання люнету, розташуванням якого у напрямі осі Z керує система ЧПК верстата. Такі можливості має, наприклад, верстат моделі B1200Y, що виготовляється фірмою «Biglia» (Італія).

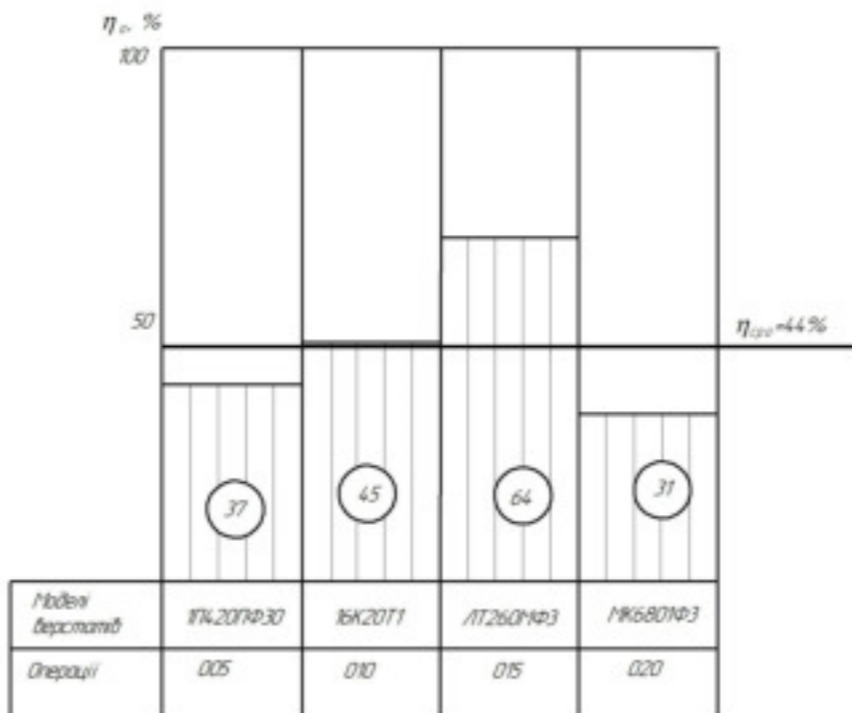
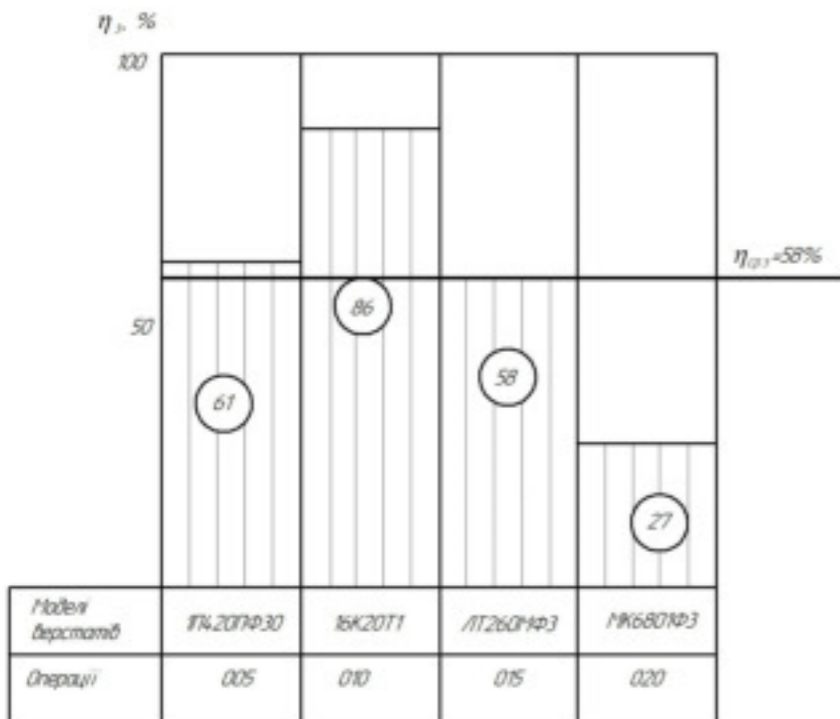
3. Встановлено, що під час точіння зовнішніх циліндричних поверхонь значної довжини, похибка, що зумовлена розмірним зносом різця, в процесі обробки партії заготовок з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті може помітно впливати на точність діаметральних розмірів, але, за необхідністю, ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця.

4. Отримані величини коефіцієнта уточнення для тонкого точіння ($K_{y_{т.т.}} = 2,8$) узгоджуються із загальноприйнятим [6].



Графік завантаження обладнання

Графік використання обладнання за основним часом



- 1 Площа вільниці, м²
загально
виробнича
 - 2 Кількість працюючих чел
основних робітників
допоміжних
ІТР
слухавців
МОП
 - 3 Кількість обладнання шт
 - 4 Транспортні засоби шт
кран настільний Q=10 т
електробалок
- | | |
|--|-----|
| | 135 |
| | 125 |
| | 7 |
| | 2 |
| | 2 |
| | 1 |
| | 1 |
| | 5 |
| | 1 |
| | 1 |

08-64.МКР.024.00.500 В3		
План вільниці механічної обробки		
Лист	№	Кількість
1	-	11
ВНТУ		
ст. др. 1771-22н		

Техніко-економічні показники спроектованого технологічного процесу та ділянки механічної обробки

Показники	По базовому варіанту	По удосконаленому технологічному процесу
Маса деталі, кг	3,117	3,117
Маса заготовки, кг	11,3	4,95
Коефіцієнт використання матеріалу заготовки	0,28	0,63
Вартість заготовки, грн.	171,92	142,46
Середній розряд робітників	4	3
Кількість верстатів, шт.	6	5
Площа, зайнята верстатами, м ²	150	125
Кількість основних робітників, чол.	10	7
Кількість працюючих на ділянці, чол.	18	13
Капітальні вкладення, грн.	–	433916,01
Собівартість деталі, грн.	393,73	273,42
Прибуток за рік, грн./рік	–	125659,98
Термін окупності капітальних вкладень, років	–	3,45