

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 “Корпус НШ10.001”»**

08-26.МКР.010.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ІПМ-20м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Ткачук О. Ю.

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

\_\_\_\_\_ Буренніков Ю. А.

« 13 » \_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. АТМ

\_\_\_\_\_ Кужель В. П.

« 21 » \_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ТАМ

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Козлов Л. Г.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінниця ВНТУ – 2021 рік

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.

« 18 » жовтня 2021 р.

### **ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ткачуку Олександрю Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»

керівник роботи Буренніков Юрій Анатолійович, к.т.н., професор,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 24 » вересня 2021 року № 277.

2. Строк подання студентом роботи: 20 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Корпус НШ10.001»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 24000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»; автоматизація гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі; розрахунок дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»; економічна доцільність удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Корпус НШ10.001»; корпус (випуск); маршрут механічної обробки; розмірний аналіз технологічного процесу; карта налагодження (операція 005); автоматизація гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі; план дільниці механічного цеху; техніко-економічні показники

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Буренніков Ю. А., професор кафедри ТАМ		
Економічна частина	Лесько О. Й., завідувач кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С. В., професор кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 19 » жовтня 2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	02.11.21 р.	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	12.11.21 р.	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	15.11.21 р.	
4	Розв'язання поставлених задач	26.11.21 р.	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	29.11.21 р.	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	05.12.21 р.	
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	10.12.21 р.	
8	Попередній захист МКР	13.12.21 р.	
9	Перевірка роботи на плагіат	10.12.21 р.	
10	Нормоконтроль МКР	20.12.21 р.	
11	Опонування МКР	21.12.21 р.	
12	Захист МКР	22.12.21 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ткачук О. Ю.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Буренніков Ю. А.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.9+621.22

Ткачук О. Ю. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2021. 137 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 32 назв; рис.: 25; табл. 49.

В магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Корпус», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус НШ10.001» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу; розроблено алгоритм та комп'ютерну програму для автоматизації гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі, що придатні для використання з урахуванням параметрів різних типорозмірів шестеренних насосів; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників; удосконалено дільницю механічної обробки.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект, одержаний в результаті удосконалення технологічного процесу та дільниці механічної обробки. В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

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

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, деталь, дільниця механічної обробки, гідропривод, комп'ютерна програма.

## ABSTRACT

Tkachuk O. Yu. Improvement of the technological process of machining the workpiece of the «Case NSh10.001» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2021. 137 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 32 titles; fig.: 25; tabl. 49.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of a part of the «Case NSh10.001» type has been improved. In the general part of the work, a review of the technologies for manufacturing a part of the «Case» type was carried out, the expediency of improving the existing technological process of machining a workpiece of a part of the «Case NSh10.001» type was substantiated.

In the technological part, a variant selection and a feasibility study of a method for manufacturing a blank are made; options for the route of machining a part of the «Case NSh10.001» type with the use of CNC machines were developed and the best of them was chosen at a minimum of the reduced costs; dimensional-accurate modeling of the improved technological process of machining was carried out; the cutting modes and time norms are determined; an algorithm and a computer program have been developed to automate the hydraulic calculation of the total pressure losses in the pipeline, suitable for use, taking into account the parameters of various standard sizes of gear pumps; the reduced program, the number of equipment and workers are calculated; the area of mechanical processing has been improved.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece of the part, the payback period and the economic effect obtained as a result of improving the technological process and the machining site are calculated. The work also developed measures for labor protection and safety in emergency situations.

The graphic part illustratively complements the materials presented in the explanatory note.

Key words: technological process, machining, workpiece, part, machining area, hydraulic drive, computer program.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	7
<b>1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»</b>	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 «Корпус»	12
1.3 Критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус НШ10.001»	13
1.4 Характеристика удосконалених технологічних процесів	15
<b>2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС НШ10.001»</b>	19
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	19
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	23
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	31
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	37
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	39
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	42
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	46
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	47
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	53
2.10 Призначення режимів різання	58
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	65
2.12 Визначення технічних норм часу	66
<b>3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ</b>	69
3.1 Вступ та постановка мети роботи	69
3.2 Алгоритм гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі	70

3.3 Комп'ютерна програма для гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі	75
3.4 Розрахунок втрат тиску в трубопроводі	78
<b>4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС НШ10.001»</b>	82
4.1 Розрахунок приведеної програми	82
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	87
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	89
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	90
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС НШ10.001»</b>	93
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	93
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»	100
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	106
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	109
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	110
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	111
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	114
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання дослідження	114
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	117
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	125
<b>ВИСНОВКИ</b>	132
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	134
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи	138
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	139

## ВСТУП

**Актуальність.** У розвитку технології обробки металів різанням за останні роки відбуваються принципові зміни. Інтенсифікація технологічних процесів (ТП) на основі застосування ріжучих інструментів з нових інструментальних матеріалів, розширення сфери застосування обладнання з ЧПК, створення роботизованих верстатних комплексів і гнучких виробничих систем з управлінням від ПК, підвищення розмірної і геометричної точності, що досягається при обробці – такий неповний перелік найважливіших напрямків розвитку технології механічної обробки в машинобудуванні.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001».

**Завдання, що вирішуються в роботі:**

- проведення огляду технології виготовлення деталі типу «Корпус»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001» на основі варіантного підходу;
- розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу удосконаленого технологічного процесу механічної обробки;
- розробка алгоритму та комп'ютерної програми для автоматизації гідравлічного розрахунку трубопроводів і додатних для використання з урахуванням параметрів різних типорозмірів шестеренних насосів;
- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на проектуємій ділянці;
- проведення економічних розрахунків по впровадженню запропонованих у роботі рішень;
- виконання розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.



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

**Предмет дослідження** – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001».

**Методи дослідження.** Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Дістали подальший розвиток алгоритм та блок-схема гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі по довжині та в місцевих гідравлічних опорах за заданими початковими даними витрати, густини та кінематичної в'язкості рідини, діаметра та довжини трубопроводу, типу трубопроводу та сумарного коефіцієнта місцевого гідравлічного опору з врахуванням залежності коефіцієнта гідравлічного тертя від режиму руху рідини та рекомендаційних норм.

**Практичне значення одержаних результатів.** Удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001». Запропоновані рішення:

- для виготовлення заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001» запропоновано два способи лиття – в кокіль та піщано-глинисті форми. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку литтям в кокіль, оскільки вартість заготовки складає 98,74 грн., що менше у порівнянні з литтям в піщано-глинисті форми – 147,83 грн.;

- удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001» з використанням верстатів з ЧПК;

- розроблено комп'ютерну програму «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі», яка призначена для автоматизованого розрахунку втрат тиску в трубопроводі по довжині та в місцевих гідравлічних опорах за заданими початковими даними витрати, густини та кінематичної в'язкості рідини, діаметра та довжини трубопроводу, типу трубопроводу та сумарного коефіцієнта місцевого

гідравлічного опору з врахуванням залежності коефіцієнта гідравлічного тертя від режиму руху рідини та рекомендаційних норм. Програма має зручний інтерфейс, містить набір довідникових даних і може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків у сфері «Гідравліки, гідродинаміки та гідроприводу»;

- спроектовано дільницю механічної обробки деталі типу «Корпус НШ10.001».

**Апробація результатів роботи.** Прийнято участь у І науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2021), Вінниця, 10-12 березня 2021 р. У співавторстві опубліковано тезу доповіді.

## 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»

1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення

Деталь «Корпус НШ10.01» є складовою деталлю шестеренного насосу НШ10. Шестеренний насос високого тиску (рис. 1.1) складається із корпусу 2, в розточках якого розташовані ведуча 5 і ведена 4 шестерні, які спираються на бронзові втулки 1. Втулки служать підшипниками для шестерень і ущільнюють їх торцеві поверхні. Кришка 3 кріпиться до корпусу 2 за допомогою 8 болтів.

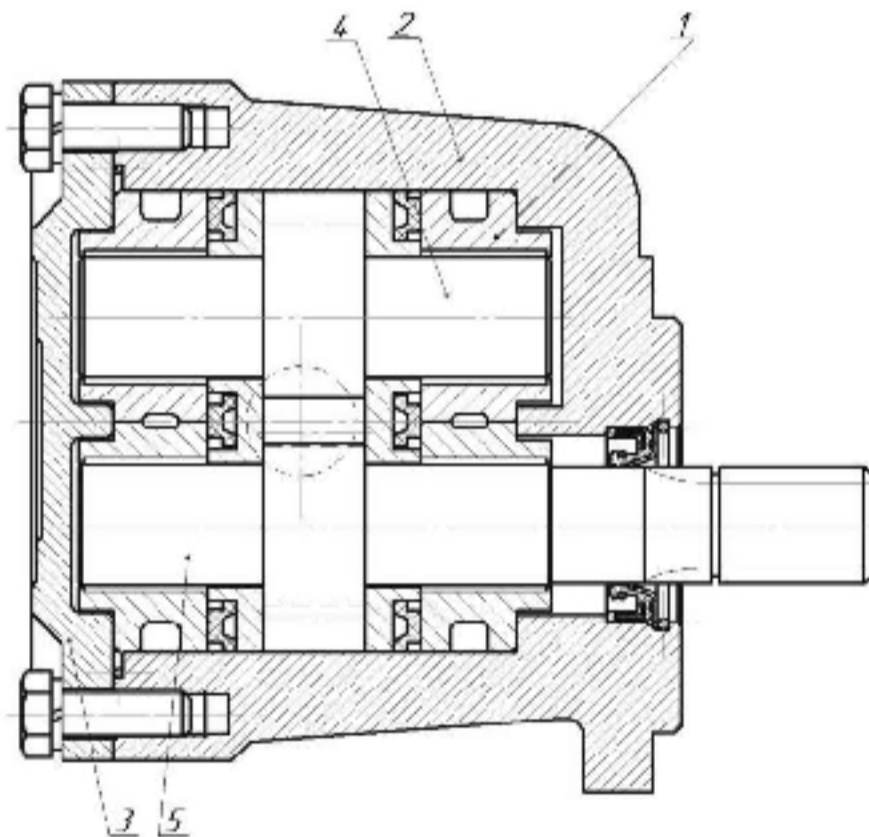


Рисунок 1.1 – Шестеренний насос

Деталь «Корпус НШ10.001» є однією з основних деталей шестеренного насоса, що застосовується в сільськогосподарських машинах, тракторах, верстатах і т.д.

Основне службове призначення полягає в тому, що деталь «Корпус НШ10.001» (рис. 1.2) представляє собою базову деталь, на якій встановлюються різні деталі і складальні одиниці, точність відносного положення яких повинна забезпечуватись як в статиці, так і в процесі роботи машини під навантаженням. У відповідності з цим деталь має потрібну точність, має необхідну жорсткість і

вібростійкість, що забезпечує вимагає відносно розташування з'єднуємих деталей і вузлів, правильність роботи механізмів і відсутність вібрації.

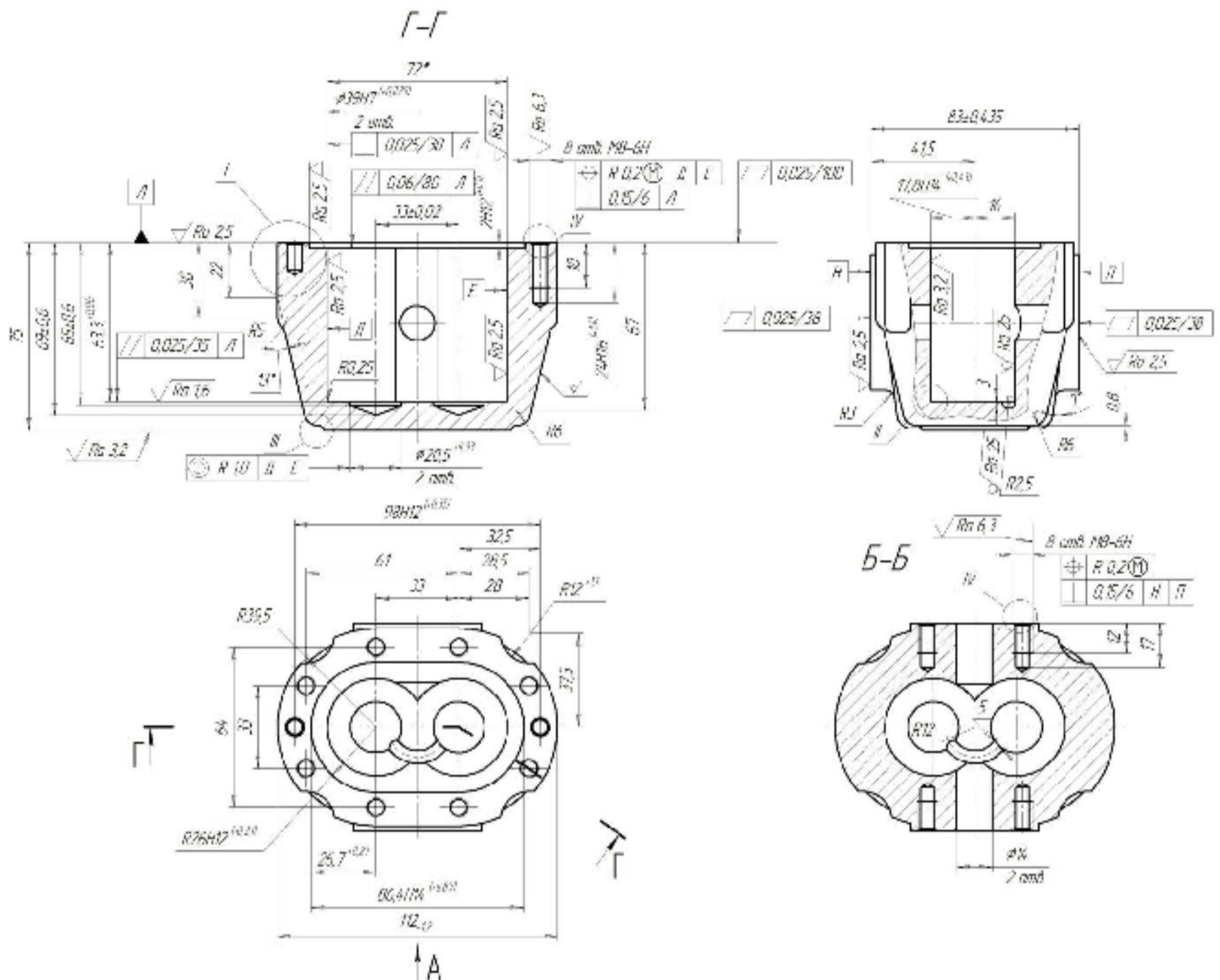


Рисунок 1.2 – Деталь «Корпус НШ10.001»

Виходячи з конструкції даної деталі основними базами деталі є плоскі поверхні платиків, а допоміжними – головні отвори  $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$  і  $\varnothing 20,5^{+0,33}$ , які призначені для базування валів-шестерень.

Основними поверхнями деталі, що визначають її положення у вузлі є торцева площина та виточка  $R26H12^{(+0,21)}$ . Кріпильними є 16 отворів М8-7Н. Інші поверхні є вільними.

Групу конструкторських баз складають основні та допоміжні поверхні – плоскі поверхні платиків, головні отвори  $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$  і  $\varnothing 20,5^{+0,33}$ , торцева площина

та виточка R26H12<sup>(+0,21)</sup>. Бажано, щоб при базуванні конструкторські та технологічні бази співпадали, тоді  $\varepsilon_6 = 0$ .

## 1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів (ТП) обробки деталі типу «Корпус»

Згідно з прийнятою в технології машинобудування класифікації деталей «Корпус НШ10.001» відноситься до класу корпусних. Наведений типовий технологічний маршрут механічної обробки деталі типу «Корпус» (рис. 1.2) в умовах середньосерійного і великосерійного виробництва [1].

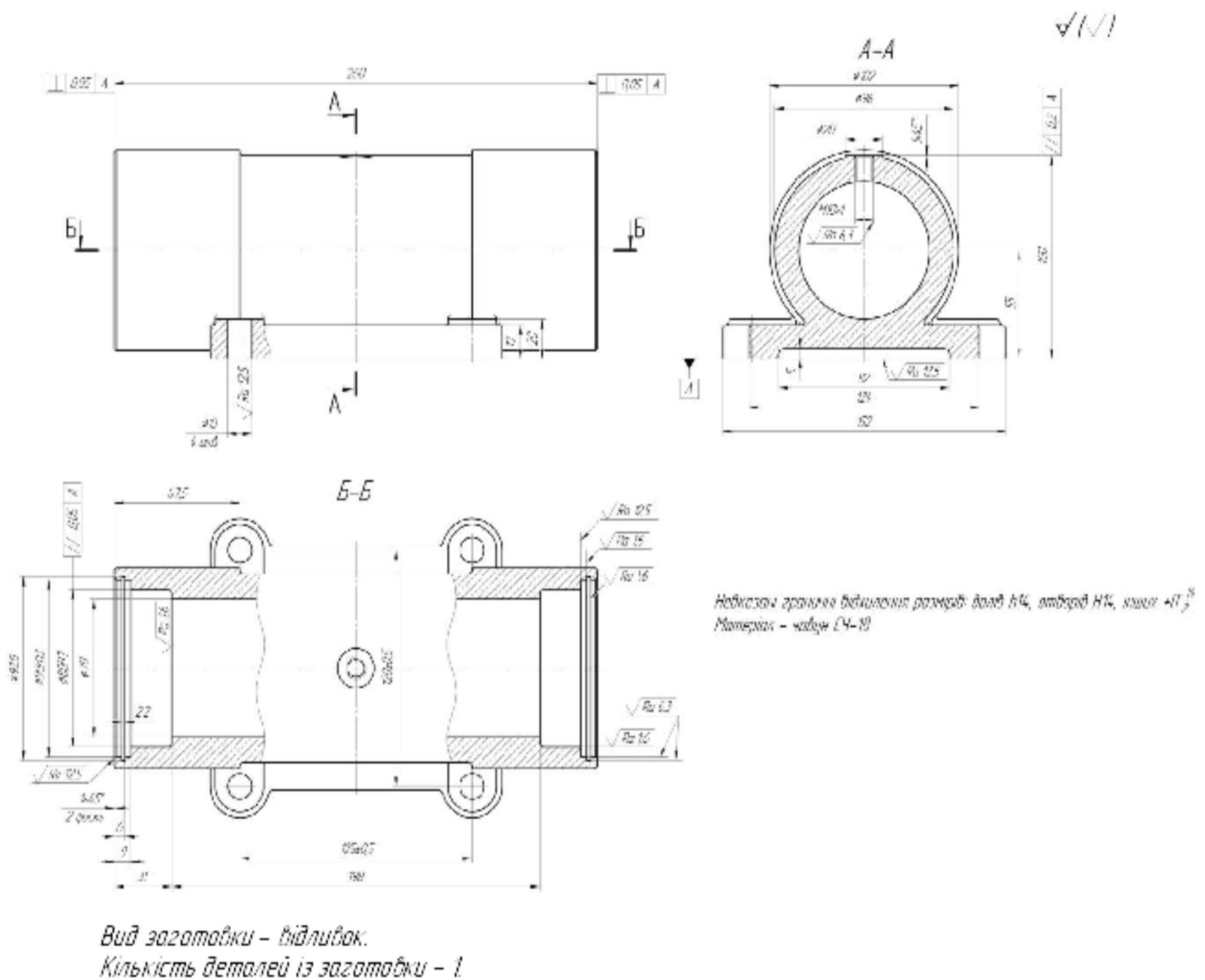


Рисунок 1.3 – Ескіз деталі «Корпус»

Таблиця 1.1 – Типовий маршрут механічної обробки [1]

№ операції	Назва та короткий зміст операції	Верстат
005	Ливарна	
010	Фрезерувати площину основи 152×176 мм попередньо. Фрезерувати площину основи 152×176 мм остаточно. Центрувати 4 отв. Ø13. Свердлити 4 отв. Ø13.	Багатоцільовий з ЧПК ИР500МФ4
015	Фрезерувати площину Ø20 одноразово; Центрувати, свердлити, нарізати різь М10×1-7Н. Фрезерувати послідовно торці Ø102, витримуючи розмір 230. Розточити поверхні Ø80Н7; Ø90Н13; фаску 1×45° попередньо. Фрезерувати канавку 2,2±0,5 попередньо. Розточити поверхні Ø80Н7; Ø90Н13; фаску 1×45° остаточно. Фрезерувати канавку 2,2±0,5 остаточно.	Багатоцільовий з ЧПК ИР500МФ4

### 1.3 Критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус НШ10.001»

Для деталі типу «Корпус НШ10.001» в якості базового технологічного процесу, що використовується на базовому підприємстві, приймаємо показаний в таблиці 1.2 технологічний процес.

Таблиця 1.2 – Базовий ТП

№	Зміст операції	Обладнання
1	2	3
005	Токарна Підрізати торець, витримуючи розмір 127+0,5; свердлити отвір Ø36 попередньо.	16К20
010	Токарна Підрізати торець Л витримуючи розмір 126+0,3.	16К20
015	Фрезерна Фрезерувати поверхню С витримуючи розмір 73+0,4.	6Р13
020	Фрезерна Фрезерувати поверхню Т витримуючи розмір 146+0,4.	6Р13
025	Фрезерна Фрезерувати R62.	6Р13

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
030	Слюсарна Свердли́ти отвір Ø23,5 на поверхні Т.	2Н135
035	Слюсарна Свердли́ти отвір Ø23,5 на поверхні С.	2Н135
050	Слюсарна Розвернути 2 отвори з Ø7,8+0,1 до 8+0,015 на h=20 мм.	На подкладку
055	Токарна Розточити 2 отвори Ø45,5 <sup>+0,1</sup> на h=91,5мм і Ø39 на 102.	16К20
060	Токарна 1. Встановити і закріпити заготовку 2. Фрезерувати R33+0,39, витримуючи розмір 2+0,07 3. Зняти заготовку	1К62
065	Токарна 1. Встановити і закріпити заготовку 2. Розточити 2 отвори Ø55 <sup>+0,03</sup> на h=87 остаточно 3. Зняти заготовку	БТ-01
070	Токарна Підрізати торець, витримуючи розмір 125; точити Ø90, витримуючи розмір 6; розточити отвір Ø36+0,5 до 42+0,06; точити канавку Ø45,3; розточити отвір Ø42+0,06 до 42,5+0,1; точити фаску на отвір 42+0,06 під 30°; точити фаску 0,6x45 ° в отворі Ø42,5.	16Е16КП
075	Слюсарна Свердли́ти 4 отворів Ø6,7 на поверхні Т на h=22 мм.	В кондуктор
080	Слюсарна Зенкувати в 4 отворах Ø6,7 фаски 1,6x45°.	На стіл верстата
085	Слюсарна Свердли́ти 4 отворів Ø6,7 на поверхні Т на h=22 мм.	В кондуктор
090	Слюсарна Зенкувати в 4 отворах Ø6,7 фаски 1,6x45°.	На стіл верстата
095	Слюсарна Нарізати різьбу М8-6Н в 4 отворах Ø6,7 на поверхні Т; переустановити деталь; нарізати різьбу М8-6Н в 4 отворах Ø6,7 на поверхні С.	На подкладку
100	Слюсарна Свердли́ти 8 отворів Ø8,5 по засвердловці поверхні Л.	На подкладку
105	Слюсарна Зенкувати в 8 отворах Ø8,5 фаски 1,6x45°.	На стіл верстата
110	Слюсарна Нарізати різьбу М10-6Н в 8 отворах Ø8,5.	На подкладку

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
115	Слюсарна Свердлити 4 отвори Ø11 зі сторони Ø90.	В кондуктор
120	Слюсарна Зенкувати в 4 отворах Ø11 фаски 0,8x45°.	На стіл верстата
125	Фрезерна Фрезерувати поверхню 6 витримуючи розмір 48.	6P13, пристосування

Даний технологічний процес максимально наближений за змістом до маршруту механічної обробки який необхідно спроектувати. Основним недоліком використання універсального обладнання є мала кількість операцій та переходів, що виконуються із одного установа. Цей недолік тягне за собою витрати часу на зайві переустанови та транспортування деталей між обладнання, що збільшує час на виготовлення деталі та збільшення собівартості одиниці продукції. З технологічної точки зору значна кількість переустановів вносить похибки в процес обробки деталі, що викликає ускладнення при забезпеченні вимог високих точності розмірів деталі та допусків взаємного розміщення її поверхонь. Суттєвим недоліком базового технологічного процесу є те, що значна кількість операцій, таких як свердління, розсвердлювання, зенкування, нарізання різьби виконується вручну на столі верстата, або в кондукторі, це негативно впливає на точність деталі, економічну собівартість деталі. В процесі виготовлення деталі зайнята велика кількість висококваліфікованого персоналу.

#### 1.4 Характеристика удосконалених технологічних процесів

На основі опрацьованих типового і базового ТП та використовуючи обладнання з ЧПК, проектуємо два удосконалених маршрути механічної обробки деталі «Корпус НШ10.001».



Таблиця 1.3 – Удосконалений маршрут механічної обробки (варіант 1)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Обладнання
005	<p align="center"><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <p><i>Установ А</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати півню 1 однократно.</li> <li>3. Зняти заготовку.</li> </ol> <p><i>Установ Б</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Переустановити заготовку.</li> <li>5. Фрезерувати півню 2 попередньо.</li> <li>6. Фрезерувати півню 2 остаточно.</li> <li>7. Центрувати 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>8. Центрувати 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>9. Свердлити 2 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 5,8, l=11\pm 0,35</math>.</li> <li>10. Свердлити 8 отв. 4 витримуючи розміри <math>\phi 6,8, l=24H16^{+0,14}</math>.</li> <li>11. Нарізати різь в 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>12. Підвернути 2 пів. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>13. Свердлити 2 отв. 5 однократно в розмір згідно ескізу.</li> <li>14. Розточити 2 отв. 6 попередньо.</li> <li>15. Розточити 2 отв. 6 остаточно витримуючи розміри згідно ескізу.</li> <li>16. Фрезерувати виточку 7 однократно витримуючи розміри згідно ескізу.</li> <li>17. Зняти деталь.</li> </ol>	Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФЗ
010	<p align="center"><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.</li> <li>3. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>4. Фрезерувати поверхню 4 попередньо.</li> <li>5. Фрезерувати поверхню 4 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>6. Підвернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>7. Фрезерувати поверхню 1 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>8. Зенкерувати отв. 2 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>9. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>10. Зенкерувати отв. 5 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>11. Центрувати 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>12. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>13. Центрувати 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>14. Свердлити 4 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 6,8, l=17</math>.</li> <li>15. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>16. Свердлити 4 отв. 6 витримуючи розміри <math>\phi 6,8, l=17</math>.</li> <li>17. Нарізати різь в 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>18. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>19. Нарізати різь в 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>20. Зняти деталь.</li> </ol>	Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФЗ з поворотним столом
015	<p align="center"><u>Алмазно-розточувальна</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Розточити 2 отв. 1 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>3. Зняти деталь.</li> </ol>	Алмазно-розточувальний верстат 2106

Таблиця 1.4 – Удосконалений маршрут механічної обробки (варіант 2)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Обладнання
005	<p align="center"><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <p>Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати пов-ню 1 однократно.</li> <li>3. Зняти заготовку.</li> </ol> <p>Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Переустановити заготовку.</li> <li>5. Фрезерувати пов-ню 2 попередньо.</li> <li>6. Фрезерувати пов-ню 2 остаточно.</li> <li>7. Центрувати 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>8. Центрувати 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>9. Свердлити 2 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 5,8; l=11\pm 0,35</math>.</li> <li>10. Свердлити 8 отв. 4 витримуючи розміри <math>\phi 6,8; l=24H16^{(+14)}</math>.</li> <li>11. Нарізати різь в 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>12. Розвернути 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>13. Свердлити 2 отв. 5 однократно в розмір згідно ескізу.</li> <li>14. Розточити 2 отв. 6 попередньо.</li> <li>15. Розточити 2 отв. 6 попередньо.</li> <li>16. Розточити 2 отв. 6 остаточно витримуючи розміри згідно ескізу.</li> <li>17. Фрезерувати виточку 7 однократно витримуючи розміри згідно ескізу.</li> <li>18. Зняти деталь.</li> </ol>	Вертикальний багатоцільовий HAAS VF-1
010	<p align="center"><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.</li> <li>3. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>4. Фрезерувати поверхню 4 попередньо.</li> <li>5. Фрезерувати поверхню 4 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>6. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>7. Фрезерувати поверхню 1 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>8. Зенкерувати отв. 2 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>9. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>10. Зенкерувати отв. 5 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>11. Центрувати 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>12. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>13. Центрувати 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>14. Свердлити 4 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 6,8; l=17</math>.</li> <li>15. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>16. Свердлити 4 отв. 6 витримуючи розміри <math>\phi 6,8; l=17</math>.</li> <li>17. Нарізати різь в 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>18. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>19. Нарізати різь в 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>20. Зняти деталь.</li> </ol>	Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФ3 з поворотним столом

В технологічному процесі зображеному табл. 1.3 частина токарних операцій виконується на обладнанні ЧПК – це дає можливість об'єднання декількох операцій базового технологічного процесу в одну.

Технологічний процес зображений в табл. 1.4 має аналогічний принцип концентрації операцій і всі операції максимально концентровані на обладнанні, яке використовується.

Порівнюючи два удосконалені вищенаведених ТП та базовий можна відзначити, що в них використовується обладнання з ЧПК різних можливостей та вартості. Зокрема в базовому маршруті кількість операцій з ЧПК незначна, тому кількість універсальних верстатів велика, а в удосконалені ТП скорочено кількість обладнання за рахунок використання верстатів із ЧПК.

Детальна розробка удосконалені ТП механічної обробки деталі «Корпус НШ10.001» виконана в розділі 2. Їх порівняння за мінімумом приведених витрат показало, що економічно доцільніше використовувати ТП згідно варіанту № 1 (див. розділ 2).

При використанні удосконаленого маршруту механічної обробки деталі «Корпус НШ10.001» зменшиться виробнича площа ділянки з 260 м<sup>2</sup> до 175 м<sup>2</sup>, оскільки зменшиться кількість верстатів з 12 до 7, а також зменшиться кількість проміжних складів заготовок, що створюються біля кожного робочого місця. Крім того значно знизиться кваліфікація робітників з 4 розряду до 3 розряду, оскільки верстати із ЧПК можуть обслуговуватися робітниками другого чи третього розряду, зменшиться також і кількість робітників, оскільки, зменшиться кількість верстатів і робітник може обслуговувати два верстати із ЧПК.

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС НШ10.001»

### 2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

Якісний аналіз технологічності деталі виконано згідно рекомендацій [2-4].

По своїй конструкції та технологічним ознакам деталь «Корпус НШ10.001» можна віднести до класу «Корпус» [1].

Жорсткі технічні вимоги по точності обробки поверхонь ( $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$ ) та висока чистота обробки Ra 2,5 – зумовлені високими вимогами функціонального призначення деталі і точністю розташування деталей, що приєднуються, для забезпечення високої надійності роботи вузла.

Мінімальна товщина стінки  $S = 11$  мм.

Форма деталі – еліптична, з прямокутними виступами тобто вважається нетехнологічною.

Нетехнологічним є також 2 отвори  $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$ , так як їх обробка вимагає використання спеціального інструменту та 16 отворів М8-7Н – вони глухі, що ускладнює процес механічної обробки, напрохід обробляти легше і швидше.

Деталь малогабаритна, має достатню жорсткість, її можна обробляти на підвищених режимах різання. Всі поверхні для обробки різальним інструментом доступні.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад АК7 ГОСТ 1584-70

Алюміній	Кремній	Магній	Мідь	Домішки, залізо не більше
основа	4,5-6,5	0,2-0,5	6-8%	1,2

Таблиця 2.2 – Механічні властивості АК7 ГОСТ15583-93

Спосіб литва	Вид термообробки	Твердість	$\sigma_B$ МПа $\frac{кгс}{мм^2}$	Відносне видовження %
Кокіль	Штучне старіння	НВ90	170(17)	0.5

Кількісна оцінка технологічності вионана згідно [3, 4].

Коефіцієнт уніфікації [3, 4]:

$$K_y = \frac{Q_y}{Q_{ex}}, \quad (2.1)$$

де  $Q_y$  – кількість уніфікованих елементів;  $Q_{ex}$  – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.3 – Дані для розрахунку  $K_y$

Розміри, мм			Кути	Різи	Шорсткість, мкм
Лінійні	Діаметральні	Радіуси			
1	2	3	4	5	6
75*	Ø33H7 (2 пов.)	R 0,25* (2 пов.)	10°*	M8-7H* (16 отв.)	Ra 2,5*
69±0,6	Ø20,5 <sup>+0,33</sup> (2 пов.)	R 5*	120-10°*		Ra 2,5*
65±0,6		R 2,5*	45° (2 пов.)		Ra 2,5*
63,3 <sup>+0,06</sup>	Ø6H10* (2 отв.)	R 0,5*	45°		Ra 6,3* (8 отв.)
11±0,35* (2 пов.)	Ø14* (2 отв.)	R26H12( <sup>+0,21</sup> )			Ra 1,6*
0,6* (2 пов.)		R 2±0,1			Ra 3,2*
0,3*		R 2*			Ra 2,5*
30*		R 6*			Ra 2,5*
22*		R 12*			Ra 3,2*
18*					Ra 2,5* (2 отв.)
2*					Ra 2,5*
24H16*					Ra 6,3* (8 отв.)
67*					
2*					
72±0,02					
2*H12					
33					
83±0,435					
0,6*					
41,5					
12*					
17,8H14( <sup>+0,43</sup> )					
17*					
16*					
5*					
0,8*					
3*					
98H12( <sup>+0,35</sup> )					
61					
33					
32,5					
28,5					

Продовження таблиці 2.3

1		2		3		4		5		6	
28*											
37,5											
86,4H14( <sup>+0,87</sup> )											
26,7 <sup>+0,21</sup>											
32±0,195*											
35,5											
Всього	Уніф.	Всього	Уніф.	Всього	Уніф.	Всього	Уніф.	Всього	Уніф.	Всього	Уніф.
42	25	8	4	10	10	2	2	16	16	27	27

$$K_y = \frac{84}{105} = 0,8.$$

При  $K_y = 0,8 > 0,6$  – деталь технологічна.

Коефіцієнт точності обробки [3, 4]:

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

де  $T_{cp}$  – середній квалітет точності;

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

де  $T_i$  – квалітет точності оброблюваних поверхонь даної деталі,

$n_i$  – кількість поверхонь деталі, що мають точність  $T_i$  квалітета.

Дані для розрахунку показано в таблиці 2.4.

$$T_{cp} = \frac{609}{43} = 14,2;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{14,2} = 1 - 0,07 = 0,93.$$

При  $K_T \geq 0,8$  – деталь технологічна.

Таблиця 2.4 – Розрахунок коефіцієнта точності обробки

Квалітет	Кількість поверхонь	Розрахунок
7	2	$7 \times 2 = 14$
9	1	$9 \times 1 = 9$
10	2	$10 \times 2 = 20$
12	4	$12 \times 4 = 48$
13	2	$13 \times 2 = 26$
14	26	$14 \times 26 = 364$
16	8	$16 \times 8 = 128$
		$\Sigma = 609$

Коефіцієнт шорсткості [3, 4]:

$$K_{Ш} = \frac{1}{Ш_{cp}} [1/\text{мкм}], \quad (2.3)$$

Таблиця 2.5 – Розрахунок коефіцієнта шорсткості обробки

Шорсткість $R_a$ , мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6	1	$1,6 \times 1 = 1,6$
2,5	7	$2,5 \times 7 = 17,5$
3,2	1	$3,2 \times 1 = 3,2$
6,3	16	$6,3 \times 16 = 100,8$
		$\Sigma = 123,1$

$$Ш_{cp} = \frac{123,1}{25} = 4,924;$$

$$K_{Ш} = \frac{1}{4,924} = 0,20,$$

де  $Ш_{cp}$  – середня шорсткість поверхні, мкм.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_k \cdot n_k}{\sum n_k} [\text{мкм}],$$

При  $K_{III} \leq 0.32$  – деталь технологічна.

Висновок. Деталь технологічна і може бути оброблена на верстатах нормальної точності.

## 2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

Визначаємо тип виробництва за коефіцієнтом  $K_{з.о.}$  [2, 4]

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}. \quad (2.4)$$

Найбільш характерні переходи механічної обробки деталі «Корпус НШ10.001».

- Розточування  $\varnothing 39H7$  попереднє.
- Розточування  $\varnothing 39H7$  попереднє.
- Розточування  $\varnothing 39H7$  остаточне.
- Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів).
- Фрезерування площини в розмір 75.
- Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів).

Визначено норми основного часу  $T_{осн}$  за наближеними формулами [2, 4].

Розточування  $\varnothing 39H7$  попереднє:

$$T_{осн1} = 2 \cdot 0,18 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,18 \cdot 39 \cdot 63,3 \cdot 10^{-3} = 0,889 \text{ (хв.)}$$

Розточування  $\varnothing 39H7$  попереднє:

$$T_{осн2} = 2 \cdot 0,2 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,2 \cdot 39 \cdot 63,3 \cdot 10^{-3} = 1,01 \text{ (хв.)}$$

Розточування  $\varnothing 39H7$  остаточне:



$$T_{осн3} = 2 \cdot 0,3 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,3 \cdot 39 \cdot 63,3 \cdot 10^{-3} = 1,48 \text{ (хв.)}$$

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):

$$T_{осн4} = 8 \cdot 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 0,52 \cdot 6,5 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 0,65 \text{ (хв.)}$$

Фрезерування площини в розмір 75:

$$T_{осн5} = 6l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 112 \cdot 10^{-3} = 0,672 \text{ (хв.)}$$

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):

$$T_{осн6} = 8 \cdot 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 0,52 \cdot 6,5 \cdot 17 \cdot 10^{-3} = 0,46 \text{ (хв.)}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час  $T_{шт-к}$  визначається за формулою:

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

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт [2, 4].

При програмі випуску  $N = 24000$  шт. і масі деталі – 2,62 кг попередньо встановлено, що виробництво великосерійне [4]. Для великосерійного виробництва вибрано  $\varphi_k$ .

Розточування  $\varnothing 39H7$  попереднє:

$$T_{шт-к1} = T_{осн1} \cdot \varphi_k = 0,889 \cdot 1,36 = 1,21 \text{ (хв.)}$$

Розточування  $\varnothing 39H7$  попереднє:

$$T_{\text{шт-к2}} = T_{\text{осн2}} \cdot \varphi_{\kappa} = 1,01 \cdot 2,6 = 2,63 \text{ (хв.)}$$

Розточування  $\varnothing 39\text{H}7$  остаточне:

$$T_{\text{шт-к3}} = T_{\text{осн3}} \cdot \varphi_{\kappa} = 1,48 \cdot 2,6 = 3,85 \text{ (хв.)}$$

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):

$$T_{\text{шт-к4}} = T_{\text{осн5}} \cdot \varphi_{\kappa} = 0,65 \cdot 1,3 = 0,845 \text{ (хв.)}$$

Фрезерування площини в розмір 75:

$$T_{\text{шт-к5}} = T_{\text{осн6}} \cdot \varphi_{\kappa} = 0,672 \cdot 1,51 = 0,94 \text{ (хв.)}$$

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):

$$T_{\text{шт-к6}} = T_{\text{осн7}} \cdot \varphi_{\kappa} = 0,46 \cdot 1,3 = 0,6 \text{ (хв.)}$$

Кількість верстатів для виконання переходів механообробки:

$$C_{\text{р1}} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot F_{\text{д}} \cdot m \cdot \eta_{\text{з}}}, \text{ [шт.]} \quad (2.6)$$

де  $N$  – річна програма, шт. ( $N = 24000$  шт.);

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

$F_{\text{д}}$  – дійсний річний фонд часу, год. ( $F_{\text{д}} = 3890$  год. для верстатів з ЧПК);

$\eta_{\text{з}}$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ( $\eta_{\text{з}} = 0,7$  – для великосерійного типу виробництва).

Розточування  $\varnothing 39\text{H}7$  попереднє:

$$C_{p1} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к1}}}{60 \cdot F_q \cdot m \cdot \eta_s} = \frac{24000 \cdot 1,21}{60 \cdot 3890 \cdot 0,7} = 0,18.$$

Розточування  $\varnothing 39\text{H7}$  попереднє:

$$C_{p2} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к2}}}{60 \cdot F_q \cdot m \cdot \eta_s} = \frac{24000 \cdot 2,63}{60 \cdot 3890 \cdot 0,7} = 0,39.$$

Розточування  $\varnothing 39\text{H7}$  остаточне:

$$C_{p3} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к3}}}{60 \cdot F_q \cdot m \cdot \eta_s} = \frac{24000 \cdot 3,85}{60 \cdot 3890 \cdot 0,7} = 0,57.$$

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):

$$C_{p4} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к4}}}{60 \cdot F_q \cdot m \cdot \eta_s} = \frac{24000 \cdot 0,845}{60 \cdot 3890 \cdot 0,7} = 0,13.$$

Фрезерування площини в розмір 75:

$$C_{p5} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к5}}}{60 \cdot F_q \cdot m \cdot \eta_s} = \frac{24000 \cdot 0,94}{60 \cdot 3890 \cdot 0,7} = 0,14.$$

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):

$$C_{p6} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к7}}}{60 \cdot F_q \cdot m \cdot \eta_s} = \frac{24000 \cdot 0,6}{60 \cdot 3890 \cdot 0,7} = 0,09.$$

Для виконання кожного з механічних переходів достатньо одного верстата:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = 1.$$

Фактичний коефіцієнт завантаження:

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P}, \quad (2.7)$$

де  $P$  – прийняте число робочих місць.

$$\text{Розточування } \varnothing 39\text{H7 попередне: } \eta_{зф1} = \frac{C_{p1}}{P_1} = \frac{0,18}{1} = 0,18.$$

$$\text{Розточування } \varnothing 39\text{H7 попередне: } \eta_{зф2} = \frac{C_{p2}}{P_2} = \frac{0,39}{1} = 0,39.$$

$$\text{Розточування } \varnothing 39\text{H7 остаточне: } \eta_{зф3} = \frac{C_{p3}}{P_3} = \frac{0,57}{1} = 0,57.$$

$$\text{Свердління отвору } \varnothing 6,5 \text{ (8 отворів): } \eta_{зф4} = \frac{C_{p4}}{P_4} = \frac{0,13}{1} = 0,13.$$

$$\text{Фрезерування площини в розмір 75: } \eta_{зф5} = \frac{C_{p6}}{P_6} = \frac{0,14}{1} = 0,14.$$

$$\text{Свердління отвору } \varnothing 6,5 \text{ (8 отворів): } \eta_{зф6} = \frac{C_{p7}}{P_7} = \frac{0,09}{1} = 0,09.$$

Кількість операцій закріплених за кожним робочим місцем:

$$O = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{зф}}. \quad (2.8)$$

$$\text{Розточування } \varnothing 39\text{H7 попередне: } O_1 = \frac{\eta_{з}}{\eta_{зф1}} = \frac{0,7}{0,18} = 3,9 \triangleright 4.$$

$$\text{Розточування } \varnothing 39\text{H7 попередне: } O_2 = \frac{\eta_{з}}{\eta_{зф2}} = \frac{0,7}{0,39} = 1,79 \triangleright 2.$$

Розточування  $\varnothing 39H7$  остаточне:  $O_3 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф3}} = \frac{0,7}{0,57} = 1,22 \triangleright 2$ .

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):  $O_4 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф4}} = \frac{0,7}{0,13} = 5,4 \triangleright 6$ .

Фрезерування площини в розмір 75:  $O_5 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф6}} = \frac{0,7}{0,14} = 5 \triangleright 5$ .

Свердління отвору  $\varnothing 6,5$  (8 отворів):  $O_6 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф7}} = \frac{0,7}{0,09} = 7,8 \triangleright 8$ .

Таким чином, коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.м.} = \frac{\sum O_o}{P_{я}}, \quad (2.9)$$

$$K_{з.о.} = \frac{4 + 2 + 2 + 6 + 5 + 8}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 4,5.$$

Так як  $1 < K_{з.о.} < 10$  – виробництво великосерійне.

Результати занесено занесені до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Визначення коефіцієнта  $K_{з.о.}$

№	Перехід	T <sub>о</sub> , хв.		Ф <sub>к</sub>	T <sub>шт.к</sub>	C <sub>р</sub>	C <sub>пр</sub>	η <sub>з.ф.</sub>	O	K <sub>з.о.</sub>
		Формула	результат							
1	Розточування $\varnothing 39H7$ попередне	0,18dl	0,889	1,36	1,21	0,18	1	0,18	4	4,5
2	Розточування $\varnothing 39H7$ попередне	0,2dl	1,01	2,6	2,63	0,39	1	0,39	2	
3	Розточування $\varnothing 39H7$ остаточне	0,3dl	1,48	2,6	3,85	0,57	1	0,57	2	
4	Свердління отвору $\varnothing 6,5$ (8 отворів)	0,52dl	0,65	1,3	0,845	0,13	1	0,13	6	
5	Фрезерування площини в розмір 75	6l	0,672	1,51	0,94	0,14	1	0,14	5	
6	Свердління отвору $\varnothing 6,5$ (8 отворів)	0,52dl	0,46	1,3	0,16	0,09	1	0,09	8	
Всього			5,161		10,075				27	4,5

Встановимо форму організації роботи.

Добовий випуск виробів

$$N_{\text{д}} = \frac{N}{254} = \frac{24000}{254} = 94,48 \text{ (шт.)} \quad (2.10)$$

де 254 – кількість робочих днів в році.

Добова продуктивності лінії

$$Q_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}}}{T_{\text{шт-к.сер}} \cdot \eta_{\text{з}}} \text{ [шт.]} \quad (2.11)$$

де  $T_{\text{шт-к.сер}}$  – середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів, хв.;

$F_{\text{д}}$  – добовий фонд часу роботи обладнання ( $F_{\text{д}} = 952$  хв.);

$\eta_{\text{з}}$  – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії ( $\eta_{\text{з}} = 0,7$ );

$$T_{\text{шт-к.сер}} = \frac{\sum T_{\text{шт-к.і}}}{\sum n_i} = \frac{10,075}{6} = 1,68 \text{ (хв.)} \quad (2.12)$$

де  $T_{\text{шт-к.і}}$  – штучно-калькуляційний час виконання і-го переходу, хв.;

$\sum n$  – сумарна кількість виконуваних переходів.

$$Q_{\text{д}} = \frac{952}{1,68 \cdot 0,7} = 89,5 \triangleright 810 \text{ (шт.)} \quad (2.13)$$

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів, добова продуктивність лінії, добовий випуск виробів, наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 1.2 – Визначення форми організації роботи

Назва показника	Позначення	Числове значення
1	2	3
Загальний штучно-калькуляційний час	$T_{шт.к.}$	10,075
Кількість операцій (переходів)	$n$	6
Середня трудомісткість операції	$T_{шт.к.сер.}$	1,68
Розмір партії	$N$	24000
Середній добовий випуск виробів	$N_d$	94,48
Коефіцієнт завантаження обладнання	$\eta_z$	0,70
Добовий фонд часу роботи обладнання	$\Phi$	952
Добова продуктивність	$Q_d$	810
Періодичність запуску деталей	$t$	2
Кількість деталей в партії	$n_1$	189
Прийнята кількість змін для обробки всієї партії деталей	$C_{зм}$	1
Кількість змін	$C_{зм.пр.}$	1
Кількість деталей в партії (для 1 зміни)	$n_{пр.}$	198

Оскільки  $N_d < Q_d$ , то відповідно обираємо групову форму організації роботи.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску:

$$n = \frac{N \cdot t}{254} = \frac{24000 \cdot 2}{254} = 189 \text{ (шт.)} \quad (2.14)$$

де  $t$  – періодичність запуску деталей на обробку, в днях (2 дні).

Розрахункова кількість змін на обробку всієї партії

$$C_{зм} = \frac{T_{шт.к.сер.} \cdot n}{476 \cdot \eta_z} = \frac{1,68 \cdot 189}{476 \cdot 0,7} = 0,952 \text{ (зм.)} \quad (2.15)$$

Приймаємо  $C_{зм. пр.} = 1$  зміна.

Тоді кількість деталей в партії для одночасного запуску

$$n_{np} = \frac{476 \cdot \eta_z \cdot C_{zm,np.}}{T_{um-k_{cp}}} = \frac{476 \cdot 0,7 \cdot 1}{1,68} = 198,3 \text{ (шт.)} \quad (2.16)$$

Приймаємо  $n_{np.} = 198$  шт.

Отже, тип виробництва – великосерійний, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії  $n = 198$  шт.

### 2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

#### 2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Початковими даними для проектування заготовки є:

- креслення деталі;
- матеріал деталі – АК7 ГОСТ 1584-70;
- маса деталі –  $m = 0,81$  кг;
- наявність термічної обробки вилівка – термообробка відсутня;
- річна програма випуску деталей –  $N_p = 24000$  шт.;
- тип виробництва – великосерійний.

Виходячи з цього визначаємо, що найоптимальнішими способами виготовлення заготовки є [5-7]: лиття в кокіль та лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням.

#### 2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення [6, 7]

Заготовка середніх габаритів  $112 \times 83 \times 75$  мм, в наявності відсутні ребра жорсткості, бабишки, внутрішні ступінчасті отвори, що спрощує заготовку.

Мінімальна товщина стінок залежить від габаритних розмірів заготовки. Зведений габаритний розмір складає

$$N = \frac{(l+b+h)}{3} = \frac{(112+83+75)}{3} = 90 \text{ (мм)} = 0,09 \text{ (м)}.$$



де  $l, b, h$  – габаритні розміри в м.

Товщину стінок можна визначити по графіку [6], або згідно довідникових таблиць [7]  $S_{\min}=3-4$  мм.

Мінімальний діаметр отворів, одержуваний в заготовках

$$d_{\min} = d_0 + 0,1 \cdot S = 8 + 0,1 \cdot 11 = 9,1 \text{ (мм)}.$$

Згідно довідкових таблиць [6] діаметр отворів вилівка  $\varnothing 5-10$  при глибині отворів 10-30 мм, для глухих отворів  $\varnothing 5-15$  мм; призначаємо напуски на різьбові отвори 16 отворів М8-6Н, фаски, радіуси і т. ін.

Формовочні нахили назначаємо на всіх вертикальних стінах з метою полегшення відділення моделі із стержневого ящика. Нахили регулюються ГОСТ 3212-80. Для нашої заготовки висота стінок для  $H = 63,3$  мм,  $\alpha = 0^\circ 45'$ . Нахили місцевих платиків, бабишок слід приймати  $30-45^\circ$ .

Радіуси заокруглень в суміжних поверхнях заготовки в залежності від матеріалу, товщини стінок і кута між ними  $\alpha = 90^\circ$  вибирають згідно графіків або таблиць  $R = 4 \dots 6$  мм.

Загальні припуски назначаємо згідно [6, 7].

Визначаємо параметри точності заготовки, дані розрахунків зводимо в таблиць 2.8 і 2.9.

Таблиця 2.8 – Параметри точності вилівка при литті в кокіль

Параметри точності	Згідно ГОСТ 26645-85	Прийнято
Клас розмірної точності	6-10	7Г
Ступінь короблення	$11/75=0.146$ ; 3-6	4
Ступінь тоіності поверхні	6-11	6
Шорсткість поверхні	Ra 6,3	Ra 6,3
Клас точності маси	4-11Г	7Г
Ряд припусків	1-4	2

Таблиця 2.9 – Параметри точності вилівка при литті в піщано-глинисті форми

Параметри точності	Згідно ГОСТ 26645-85	Прийнято
Клас розмірної точності	7Т-11	9
Ступінь короблення	5-8	6
Ступінь тоіності поверхні	9-16	9
Шорсткість поверхні	Ra 12,5	Ra 12,5
Клас точності маси	5Т-12	9
Ряд припусків	3-6	4

Визначаємо загальні допуски на оброблювані поверхні, визначаємо мінімальний припуск, кількість переходів і загальний припуск. Отримані дані зводимо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок допусків і припусків (при литті в кокіль / при литті в піщано-глинисті форми)

Розміри	75h14	63,3h8	83h9	Ø39H7	32h10	Ø14h14
Допуски розмірів (т.1)	0,9/2,2	0,9/2,2	0,9/2,2	0,7/1,8	0,7/1,8	0,56/1,4
Допуск форми розміщення (т.2)	0,24/0,4	0,24/0,4	0,24/0,4	0,24/0,4	0,24/0,4	0,24/0,4
Допуск зміщення по площ. роз'міщ.	0,64/1,6	-	-	-	-	-
Допуск шорсткості	0,16/ 0,32	0,16/ 0,32	0,16/ 0,32	0,16/ 0,32	0,16/ 0,32	0,16/ 0,32
Допуск маси	6,4/16	6,4/16	6,4/16	6,4/16	6,4/16	6,4/16
Загальний допуск	1,2/3,2	1,0/2,4	1,0/2,4	0,9/2	0,9/2	0,7/1,6
Кількість переходів	1/2	2/3	2/3	3/4	1	1
Загальний припуск	1,0/2,3	1,3/2,6	1,3/2,6	1,3/2,9	0,8/1,6	0,7/1,5

Проведемо розрахунки розмірів заготовки які зводимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок розмірів заготовки

	При литті в кокіль	При литті в піщано-глинисті форми
75h14	$75+(1 \cdot 2)=77$	$75+(2,3 \cdot 2)=79,6 \approx 80$
63,3h8	$63,3+1,0-1,3=63$	$63,3+2,3-2,6=63$
83h9( $\pm 0,435$ )	$83+(1,3 \cdot 2)=85,6$	$83+(2,6 \cdot 2)=88,2$
$\varnothing 39H7$	$39-(2 \cdot 1,3)=36,4$	$39-(2,9 \cdot 2)=33,2$
32h10	$32+0,8=32,8$	$32+1,6=33,6$
$\varnothing 14h14$	$14-(2 \cdot 0,7)=12,6$	$14-(2 \cdot 1,5)=11$

Допуски розмірів заготовки по 15 квалітету.

### 2.3.3 Оформлення ескізів двох варіантів заготовки

Ескізи двох варіантів заготовки показано на рис. 2.1 і 2.2.

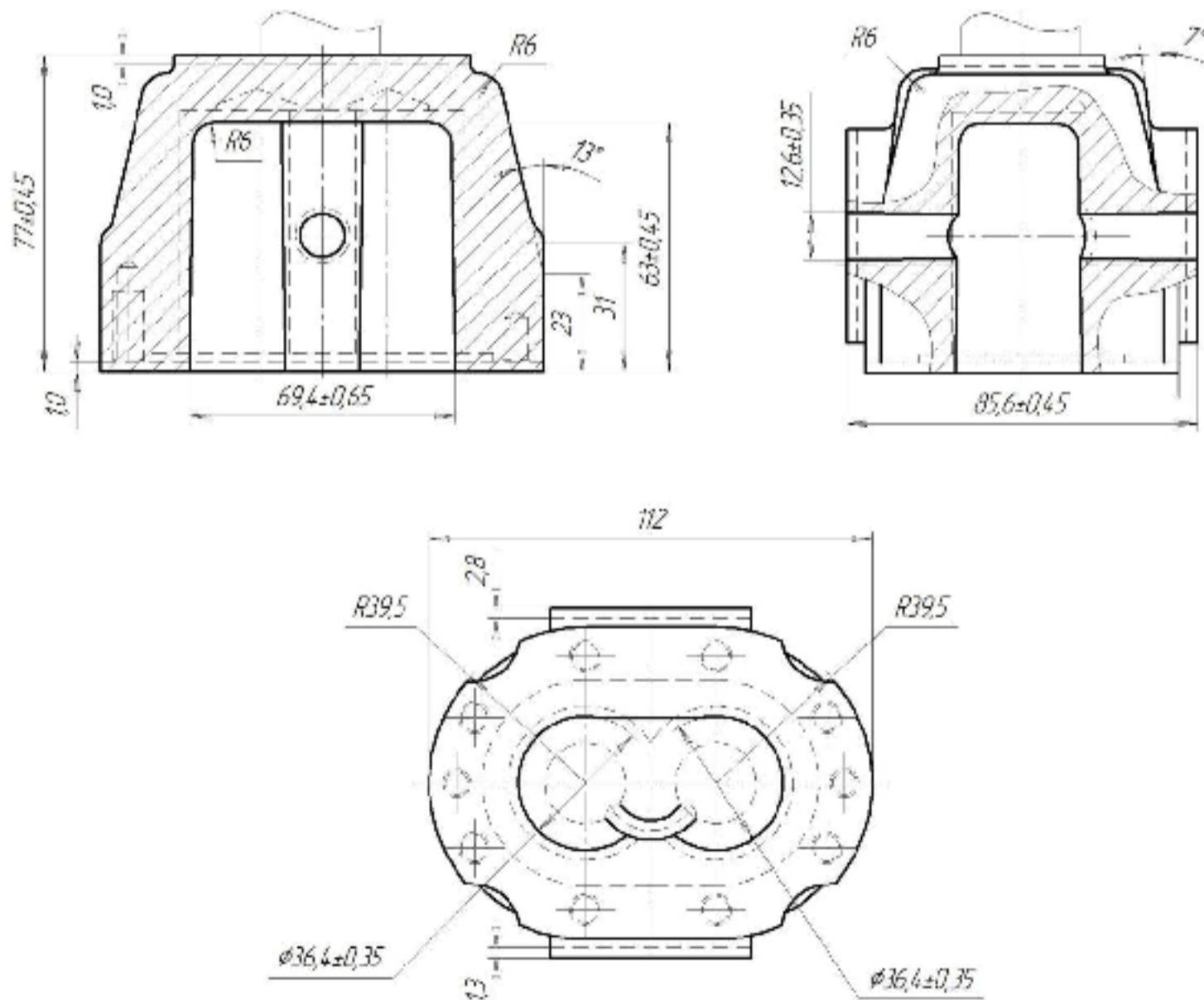


Рисунок 2.1 – Креслення заготовки «Корпус НШ10.001» виготовленої литтям в кокіль

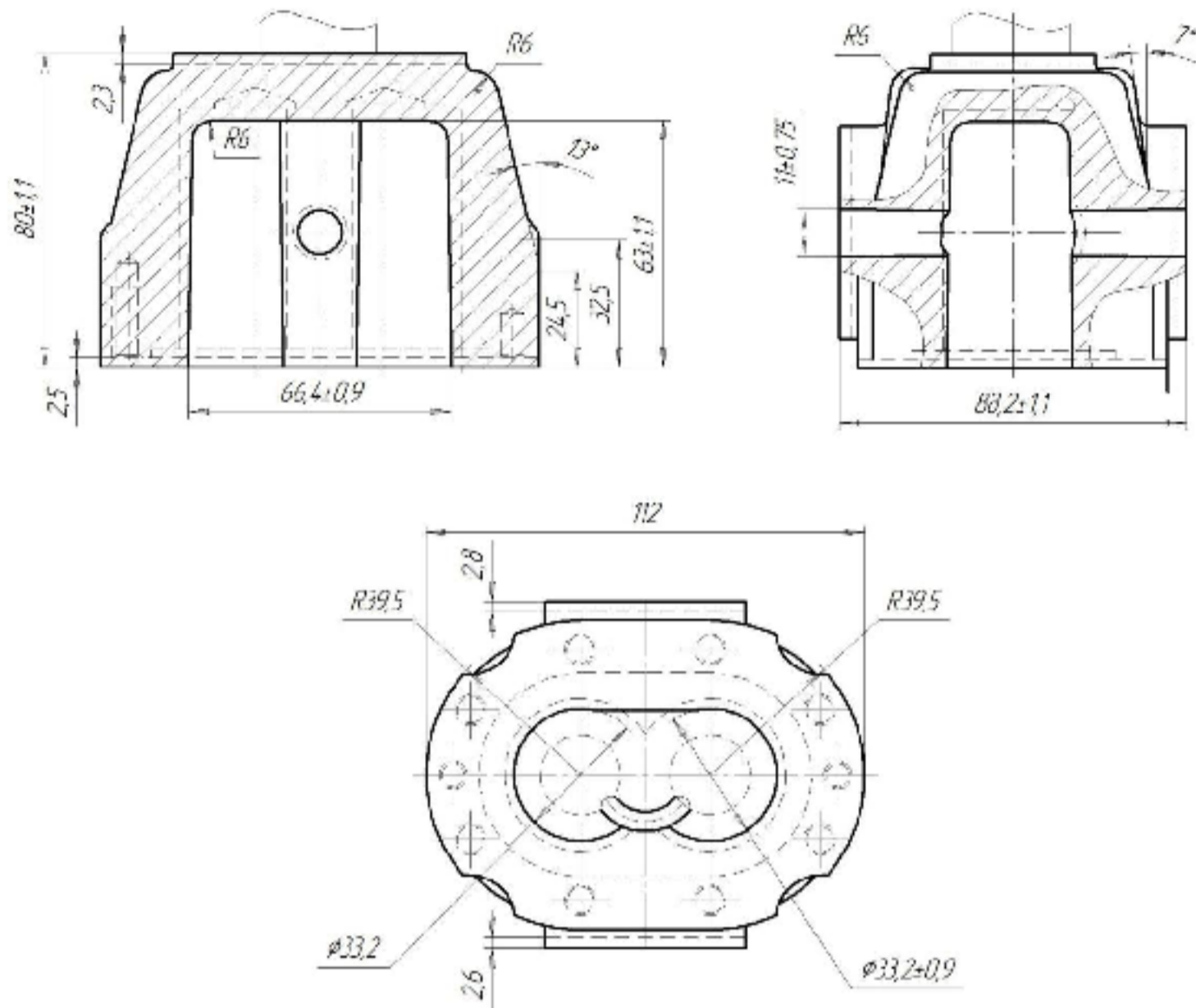


Рисунок 2.2 – Креслення заготовки «Корпус НШ10.001» виготовленої литтям в піщано-глинисті форми

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси заготовки для двох варіантів заготовки

Коефіцієнт точності маси заготовки

$$K_{Т.М.} = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг}}, \quad (2.17)$$

де  $Q_{дет}$  – маса деталі, кг (приймається згідно з кресленням деталі);

$Q_{заг}$  – маса заготовки, кг.

Масу заготовки визначимо за допомогою тривимірного моделювання заготовки деталі «Корпус НШ10.001» у прикладній комп'ютерній програмі за

розрахованими розмірами. Після побудови тривимірної моделі заготовки скориставшись функцією «МЦХ моделі» визначаємо масу заготовки.

Лиття в кокіль:

$$\gamma_1 = \frac{0,81}{1,125} = 0,72.$$

Лиття в піщано-глинисті форми:

$$\gamma_1 = \frac{0,81}{1,246} = 0,65.$$

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Собівартість заготовки [6]:

$$C_{\text{заг.лит.}} = \frac{(Q_{\text{заг.}} \cdot C_1 \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_P)}{1000} - \frac{(Q_{\text{заг.}} - Q_{\text{дет.}}) \cdot C_{\text{выдх.}}}{1000} \text{ [грн.],} \quad (2.18)$$

де  $C_1$  – базова вартість 1 т. заготовки, грн.;

$K_T, K_M, K_C, K_B, K_P$  – коефіцієнти, що залежать відповідно від класу точності вилівка, марки матеріалу, групи складності, маси і об'єму виробництва заготовок.

При литті в кокіль:

$$C_{\text{заг.1}} = \frac{(1,125 \cdot 21200 \cdot 1,0 \cdot 4,23 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 0,95)}{1000} - \frac{(1,125 - 0,81) \cdot 6000}{1000} = 98,74 \text{ (грн.)}$$

При литті в піщано-глинисті форми:

$$C_{\text{заг.2}} = \frac{(1,246 \cdot 17600 \cdot 1,05 \cdot 5,94 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0)}{1000} - \frac{(1,246 - 0,81) \cdot 6000}{1000} = 147,83 \text{ (грн.)}$$

Більш дешевшим є лиття в кокіль. При цьому досягнутий економічний ефект складає

$$E = (C_{заг.2} - C_{заг.1}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.19)$$

$$E = (147,83 - 98,74) \cdot 24000 = 1178160 \text{ (грн.)}$$

Отже, приймаємо як остаточний варіант виготовлення заготовки деталі «Корпус НШ10.001» – лиття в кокіль.

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

Можливі два шляхи пошуків рішень про способи обробки поверхні:

- визначення числа ступенів та методів обробки на основі використання типових планів обробки поверхонь, що рекомендують довідники та технічна література;

- визначення числа ступенів обробки на основі розрахунків за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_д} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \dots \cdot \frac{T_{i-1}}{T_i} \cdot \frac{T_n}{T_д} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_n = \prod_1^n \varepsilon_i \quad (2.20)$$

де  $\varepsilon$  – загальне уточнення;

$\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення;

$n$  – число ступенів обробки;

$T_д$ ,  $T_3$ ,  $T_i$  – допуски параметра, що розглядається відповідно для деталі, заготовки та окремого ступеня обробки.

Уточнення проміжних ступенів механічної обробки рекомендується приймати з такого діапазону:

- на першій  $\varepsilon_1 = 5 \dots 6$ ;
- на другій  $\varepsilon_2 = 3 \dots 4$ ;
- на третій  $\varepsilon_3 = 1,1 \dots 2$ .

Визначимо кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні  $\varnothing 39\text{H7}^{(+0,025)}$ .

Так для даної поверхні, що обробляється маємо:

- допуск заготовки –  $T_{заг} = 700$  мкм (IT14);

- допуск деталі –  $T_{дет} = 25$  мкм (IT 7).

Загальне уточнення

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} = \frac{700}{25} = 28.$$

Приймаємо 3 переходи механічної обробки даної поверхні для яких:

$$\varepsilon_1 = 5; \quad \varepsilon_2 = 4; \quad \varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_{\Sigma}}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{28}{5 \cdot 4} = 1,4.$$

Допуск розміру деталі:

- після першого переходу:

$$T_1 = \frac{T_{заг}}{E_1} = \frac{1700}{5} = 140 \text{ (мкм) (IT 12) – попередньє розточування;}$$

- після другого переходу:

$$T_2 = \frac{T_1}{E_2} = \frac{140}{4} = 35 \text{ (мкм) (IT 9) – попередньє розточування;}$$

- після третього переходу:

$$T_3 = \frac{T_2}{E_3} = \frac{35}{1,4} = 25 \text{ (мкм) (IT 7) – остаточне розточування.}$$

Спосіб отримання інших поверхонь наведемо у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Способи отримання поверхонь деталі

Поверхня	Квалітет ІТ	Параметр Ra, мкм	Спосіб утворення поверхні
$\varnothing 39H7^{(+0,025)}$	7	1,6	Попереднє розточування Попереднє розточування Остаточне розточування
$\varnothing 14H14$	14	1,6	Зенкерування
75h14	14	3,2	Фрезерування однократне
63,3h8	8	1,6	Чорнова обробка Чистова обробка
R26h12	12	12,5	Фрезерування
M8-7H	6	12,5	Свердління Нарізання різі

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

### 2.5.1 Вибір чистових баз

Для базування даної заготовки використовуємо схему базування на площину і два пальця. Дану схему базування використовуємо на подальших етапах механічної обробки. Обрана схема базування досить поширена при обробці деталей типу «Корпус НШ10.001».

Як було визначено раніше основними базами є плоска поверхня і два отвори  $\varnothing 6H10$ . Бажано, щоб при механічній обробці конструкторська та технологічна бази співпадали, при цьому похибка базування  $\varepsilon_6=0$ . Цей варіант вибору баз є оптимальним.

З метою вибору кращих варіантів проведемо аналіз схем базування на всіх операціях механічної обробки. На всіх операціях механічної обробки окрім перших операцій заготовка встановлюється на площину і два пальці  $\varnothing 6H10$ .



Схема базування зображена на рисунку 2.3.

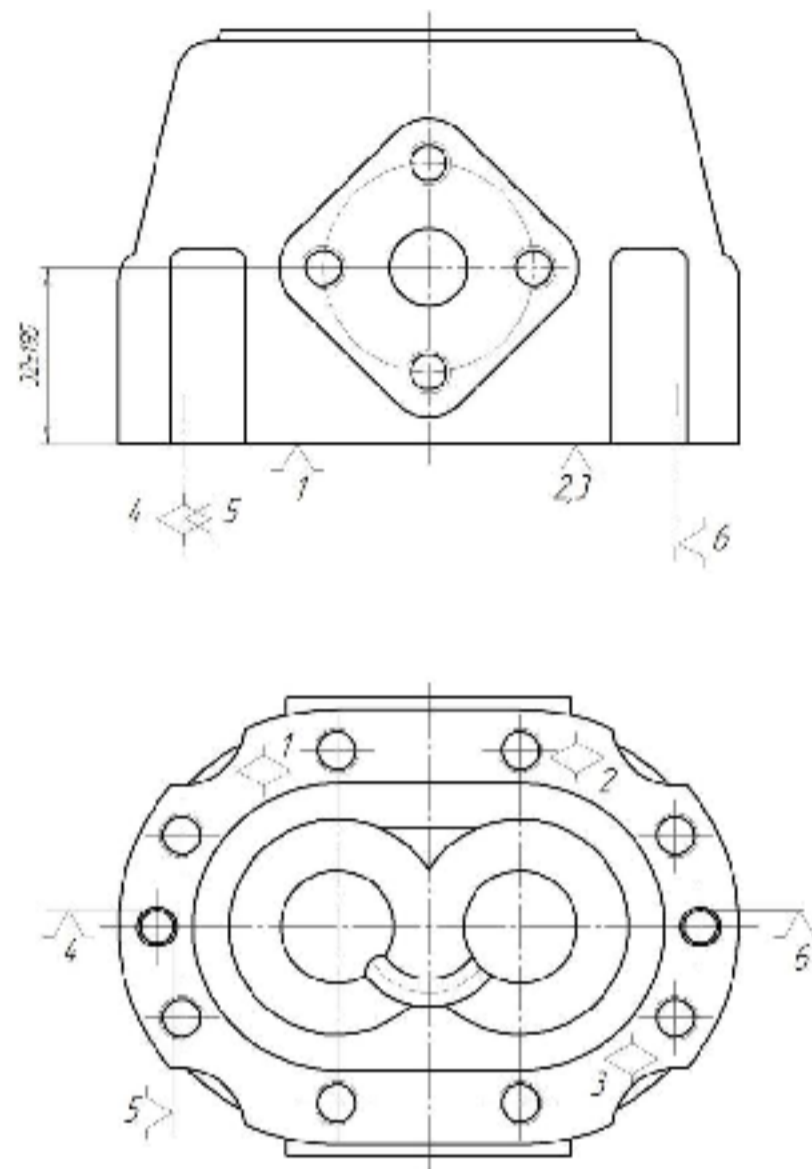


Рисунок 2.3 – Схема базування (чистові технологічні бази)

При установці заготовки на площину і два палець  $\varnothing 6H10$ , виникає похибка базування у вигляді зміщення «е» осі деталі. Перекос при цьому відбувається із-за наявності зазору між найбільшим діаметром установочного отвору і найменшим діаметром пальця.

Отвір –  $\varnothing 6H10$ , палець –  $\varnothing 6h7$ .

Найбільший зазор між отворами і пальцями:

$$S_{\max} = \delta_{\text{отв}} + \delta_{\text{пал}} + S_{\min} \text{ [МКМ]},$$

де  $\delta_{\text{отв}} = 0,048$  мм – допуск на отвір;

$\delta_{\text{пал}} = 0,012$  мм – допуск на діаметр пальця;

$S_{\min} = 0,005$  мм – зазору між діаметром отвору і діаметром пальця.

Тоді найбільший кут повороту заготовки на пальці може бути знайдений з відношення найбільшого зазора при повороті в одну сторону від середнього положення до відстані між базовими отворами:

$$tg = \frac{0.048 + 0.012 + 0.005}{\sqrt{98^2 + 0^2}} = 0.00066.$$

Похибка базування на довжині  $l$  оброблюваного отвору:

$$\varepsilon_{\delta} = l \cdot tg\alpha = 63,3 \cdot 0.00066 = 0.041(\text{мм}) = 41(\text{мкм}),$$

де  $l$  – довжина оброблюємого отвору, мм.

Кут повороту дуже незначний.

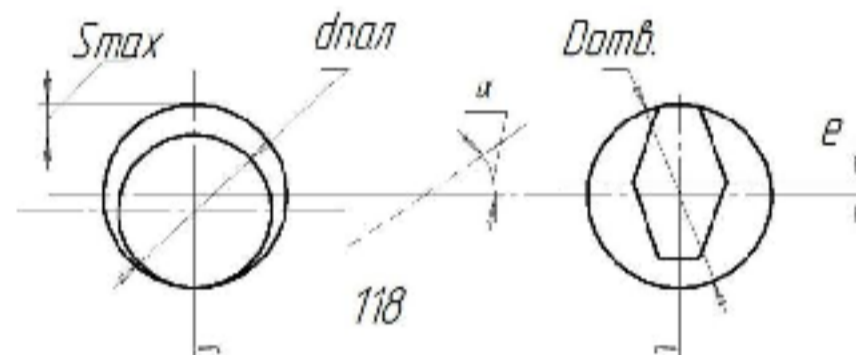


Рисунок 2.4 – Схема установки заготовки на площину і два пальці

Отримане значення похибки базування знаходиться в межах допустимого.

Згідно креслення деталі визначаємо похибки базування, які виникають на різних операціях механічної обробки:

1. На розміри  $\varnothing 14\text{H}14$ ,  $\varnothing 39\text{H}7$ , М8-6Н похибка базування  $\varepsilon_{\delta}=0$ , так як розміри діаметральні.

2. На розміри  $63,3^{+0,06}$ ,  $65\pm 0,6$ ,  $69\pm 0,6$ , 18,  $24^{+1,4}$ ,  $2^{+0,1}$ ,  $11\pm 0,35$ ,  $8\pm 0,29$  похибка базування  $\varepsilon_{\delta}=0$ , так як виконується принцип співпадання баз, тобто суміщуються технологічні і вимірювальні бази.

Висновки: Розглянувши схеми базування на всіх операціях механічної обробки можна зробити висновки, що в якості чистових баз доцільно вибрати

основу і отвори  $\varnothing 6H10$ . В результаті чого ми забезпечуємо виконання принципу співпадання баз на всіх операціях, що врешті решт дає змогу зменшити похибки базування на операціях механічної обробки.

### 2.5.2 Вибір чорнових баз

В попередньому пункті ми визначились із вибором чистових баз – це основа і отвори.

При виборі чорнових технологічних баз розв'язується задача знімання рівномірного мінімального припуску з площини основи [2, 3, 8-11].

На операції 005 ми отримаємо верхній торець корпусу який в подальшому буде використовуватись як чистова технологічна база, на цій же операції ми обробляємо кріпильні отвори і отвори під установчі пальці. Установку заготовки здійснюємо в призмі.

Операція 005 (вертикально-фрезерна з ЧПК)

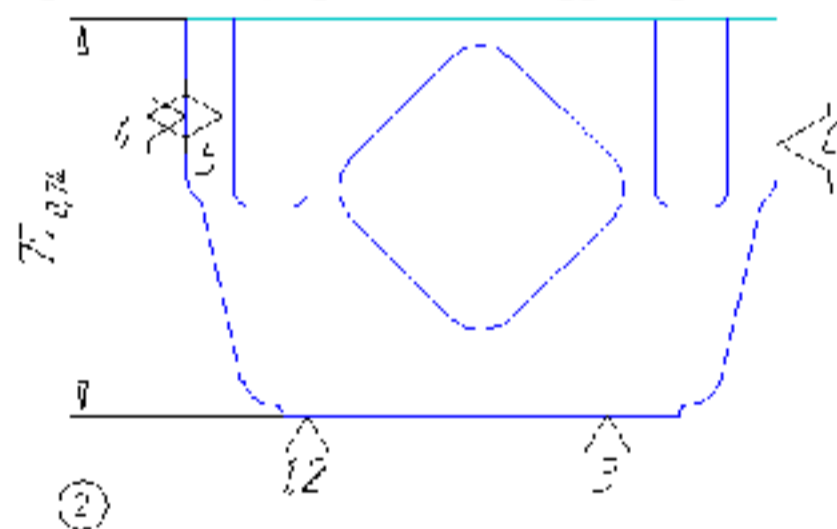


Рисунок 2.5 – Схема базування (чорнові технологічні бази)

Похибка базування для лінійого розміру  $E_{875}=0$  тому, що виконується принцип суміщення баз. Кращих варіантів базування немає.

### 2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Розроблені маршрути показанов табл. 2.13 та табл. 2.14.

Таблиця 2.13 – Маршрут механічної обробки (варіант 1)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
005	<p><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <p>Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати пов-ню 1 однократно.</li> <li>3. Зняти заготовку.</li> </ol> <p>Установ Б</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Переустановити заготовку.</li> <li>5. Фрезерувати пов-ню 2 попередньо.</li> <li>6. Фрезерувати пов-ню 2 остаточно.</li> <li>7. Центрувати 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>8. Центрувати 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>9. Свердлити 2 отв. 3 витримуючи розміри <math>\varnothing 5,8; l=11\pm 0,35</math>.</li> <li>10. Свердлити 8 отв. 4 витримуючи розміри <math>\varnothing 6,8; l=24H16^{(+14)}</math>.</li> <li>11. Нарізати різь в 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>12. Розвернути 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>13. Свердлити 2 отв. 5 однократно в розмір згідно ескізу.</li> <li>14. Розточити 2 отв. 6 попередньо.</li> <li>15. Розточити 2 отв. 6 остаточно витримуючи розміри згідно ескізу.</li> <li>16. Фрезерувати виточку 7 однократно витримуючи розміри згідно ескізу.</li> <li>17. Зняти деталь.</li> </ol>		Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФ3
010	<p><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.</li> <li>3. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>4. Фрезерувати поверхню 4 попередньо.</li> <li>5. Фрезерувати поверхню 4 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>6. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>7. Фрезерувати поверхню 1 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>8. Зенкерувати отв. 2 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</li> <li>9. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</li> </ol>		

Продовження таблиці 2.13

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
	<p>10.Зенкерувати отв. 5 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>11.Центрувати 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>12.Повернути поворотний стіл на 180°.</p> <p>13.Центрувати 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>14.Свердлити 4 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 6,8; l=17</math>.</p> <p>15.Повернути поворотний стіл на 180°.</p> <p>16.Свердлити 4 отв. 6 витримуючи розміри <math>\phi 6,8; l=17</math>.</p> <p>17.Нарізати різь в 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>18.Повернути поворотний стіл на 180°.</p> <p>19.Нарізати різь в 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>20. Зняти деталь</p>		<p>Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФЗ з поворотним столом</p>
015	<p><u>Алмазно-розточувальна</u></p> <p>1. Встановити заготовку</p> <p>2.Розточити 2 отв. 1 витримуючи розміри згідно ескіза</p> <p>3.Зняти деталь.</p>		<p>Алмазно-розточувальний верстат 2706</p>

Таблиця 2.14 – Маршрут механічної обробки (варіант 2)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
005	<p><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <p><i>Установ А</i></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку.</p> <p>2. Фрезерувати пов-ню 1 однократно.</p> <p>3. Зняти заготовку.</p> <p><i>Установ Б</i></p> <p>4. Переустановити заготовку.</p> <p>5. Фрезерувати пов-ню 2 попередньо.</p> <p>6. Фрезерувати пов-ню 2 остаточно.</p> <p>7. Центрувати 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>8. Центрувати 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>9. Свєрдлити 2 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 5,8</math>; <math>l=11\pm 0,35</math>.</p> <p>10. Свєрдлити 8 отв. 4 витримуючи розміри <math>\phi 6,8</math>; <math>l=24H16^{(+14)}</math>.</p> <p>11. Нарізати різь в 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>12. Розвернути 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>13. Свєрдлити 2 отв. 5 однократно в розмір згідно ескізу.</p> <p>14. Розточити 2 отв. 6 попередньо.</p> <p>15. Розточити 2 отв. 6 попередньо.</p> <p>16. Розточити 2 отв. 6 остаточно витримуючи розміри згідно ескізу.</p> <p>17. Фрезерувати виточку 7 однократно витримуючи розміри згідно ескізу.</p> <p>18. Зняти деталь.</p>		Вертикальний багатоцільовий HAAS VF-1
010	<p><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <p>1. Встановити заготовку.</p> <p>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.</p> <p>3. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</p> <p>4. Фрезерувати поверхню 4 попередньо.</p> <p>5. Фрезерувати поверхню 4 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>6. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</p> <p>7. Фрезерувати поверхню 1 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>8. Зенкерувати отв. 2 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>9. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</p>		

## Продовження таблиці 2.14

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
	<p>10.Зенкерувати отв. 5 однакратно витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>11.Центрувати 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>12.Повернути піворотний стіл на 180°.</p> <p>13.Центрувати 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>14.Свердлити 4 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 6,8; l=17</math>.</p> <p>15.Повернути піворотний стіл на 180°.</p> <p>16.Свердлити 4 отв. 6 витримуючи розміри <math>\phi 6,8; l=17</math>.</p> <p>17.Нарізати різь в 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>18.Повернути піворотний стіл на 180°.</p> <p>19.Нарізати різь в 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>20. Зняти деталь</p>		<p>Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФ3 з піворотним столом</p>

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

Критерієм оптимальності є технологічна собівартість [2, 3].

Технологічна собівартість операцій механічної обробки, грн./год:

$$C_o = \frac{C_{п.з.} \cdot T_{шт}}{60 \cdot K_B} \text{ [грн.]}, \quad (2.21)$$

де  $C_{п.з.}$  – годинні приведені витрати, грн./год;

$T_{шт}$  – штучний чи штучно-калькуляційний час на операцію, хв.;

$K_B$  – коефіцієнт виконання норм, зазвичай приймається рівним 1,3.

Основний час визначено згідно формул наближеного нормування [2-4] по переходам механічної обробки. Штучно-калькуляційний час

$$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi \text{ [хв.]},$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт [2, 4].

Тоді технологічна собівартість по варіантах технологічного процесу.

Варіант 1:

$$C_{005} = \frac{80,4 \cdot 13,5}{1,3 \cdot 60} = 13,92 \text{ (грн.)};$$

$$C_{010} = \frac{80,4 \cdot 5,86}{1,3 \cdot 60} = 6,04 \text{ (грн.)};$$

$$C_{015} = \frac{43,9 \cdot 2,08}{1,3 \cdot 60} = 1,17 \text{ (грн.)}.$$

Всього  $C_o = 21,13$  грн.

Варіант 2:

$$C_{005} = \frac{92,4 \cdot 9,6}{1,3 \cdot 60} = 11,37 \text{ (грн.)};$$

$$C_{010} = \frac{80,4 \cdot 11,97}{1,3 \cdot 60} = 12,34 \text{ (грн.)}.$$

Всього  $C_o = 23,71$  грн.

Приведена річна економія, грн.:

$$E_p = (C'_o - C''_o) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.22)$$

де  $C'_o$  і  $C''_o$  – технологічна собівартість порівнюваних операцій.

Приведена річна економія:

$$E_p = (23,71 - 21,13) \cdot 24000 = 61920 \text{ (грн.)}$$

Отже, перший варіант маршруту механічної обробки деталі економічніший за другий.

## 2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу [7]

### 2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Розташування технологічних розмірів згідно рекомендацій [3] показано на рис. 2.6-2.7.



### 2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски технологічних розмірів визначаються виходячи з точності механічної обробки. Таблиці економічної точності на металорізальних верстатах наведені в [2]. Згідно цим таблицям середня точність однократної обробки відповідає 12-му квалітету. Тому приймаємо допуски розмірів після чорної (однократної) обробки по 12-му квалітету і записуємо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Попередні значення допусків розмірів

Розміри	31	32	34	B1	B2	B3	B4
Попередні значення допусків	1,9	1,9	2,2	0,74	0,74	0,3	0,1
Розміри	B5	B6	B9	B10	B11	B12	
Попередні значення допусків	0,06	0,39	0,3	0,35	0,3	0,87	

### 2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Для виконання розмірного аналізу побудуємо розмірну схему технологічного процесу (рис. 2.6-2.7).

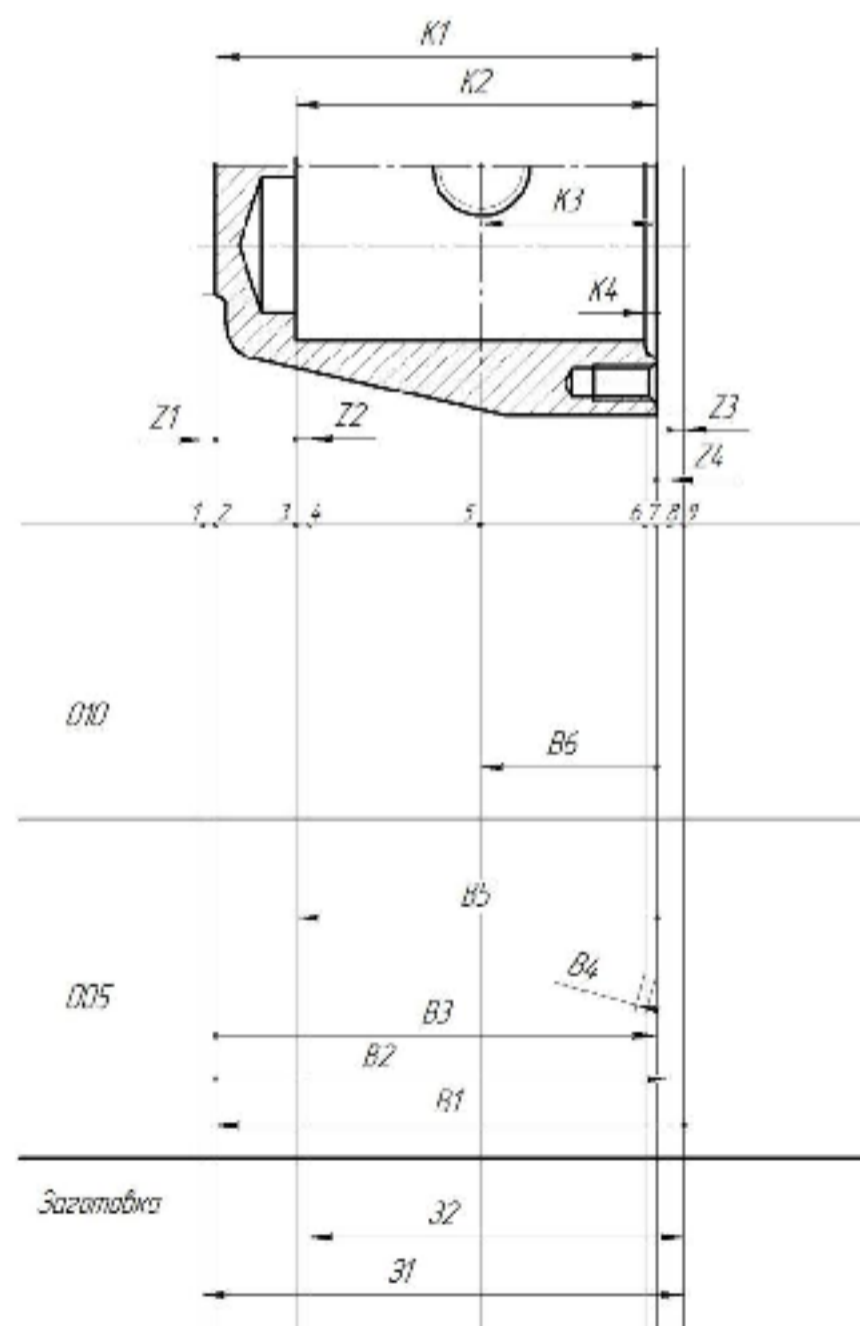


Рисунок 2.6 – Розмірна схема технологічного процесу

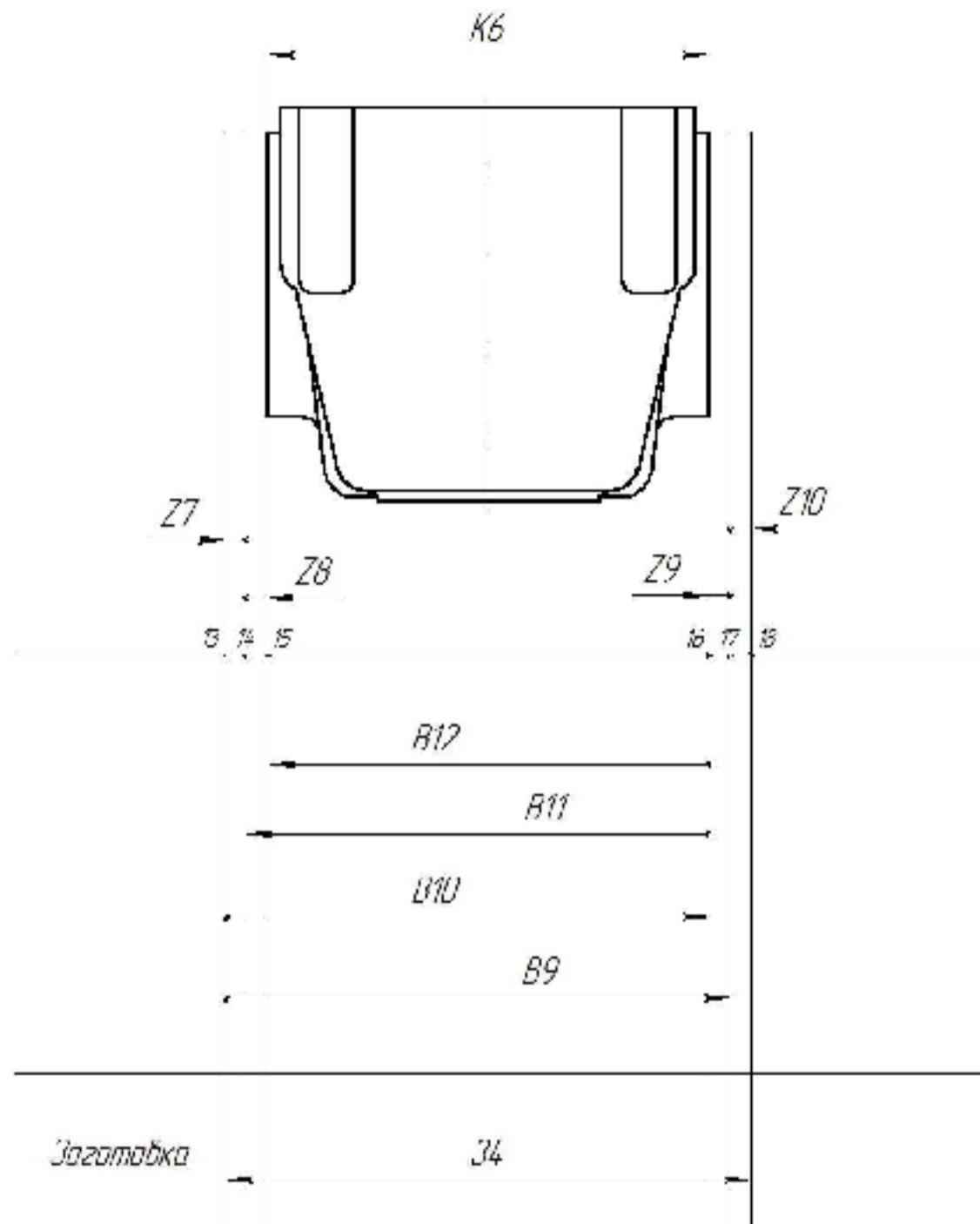


Рисунок 2.7 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний графі-дерева, суміщений граф

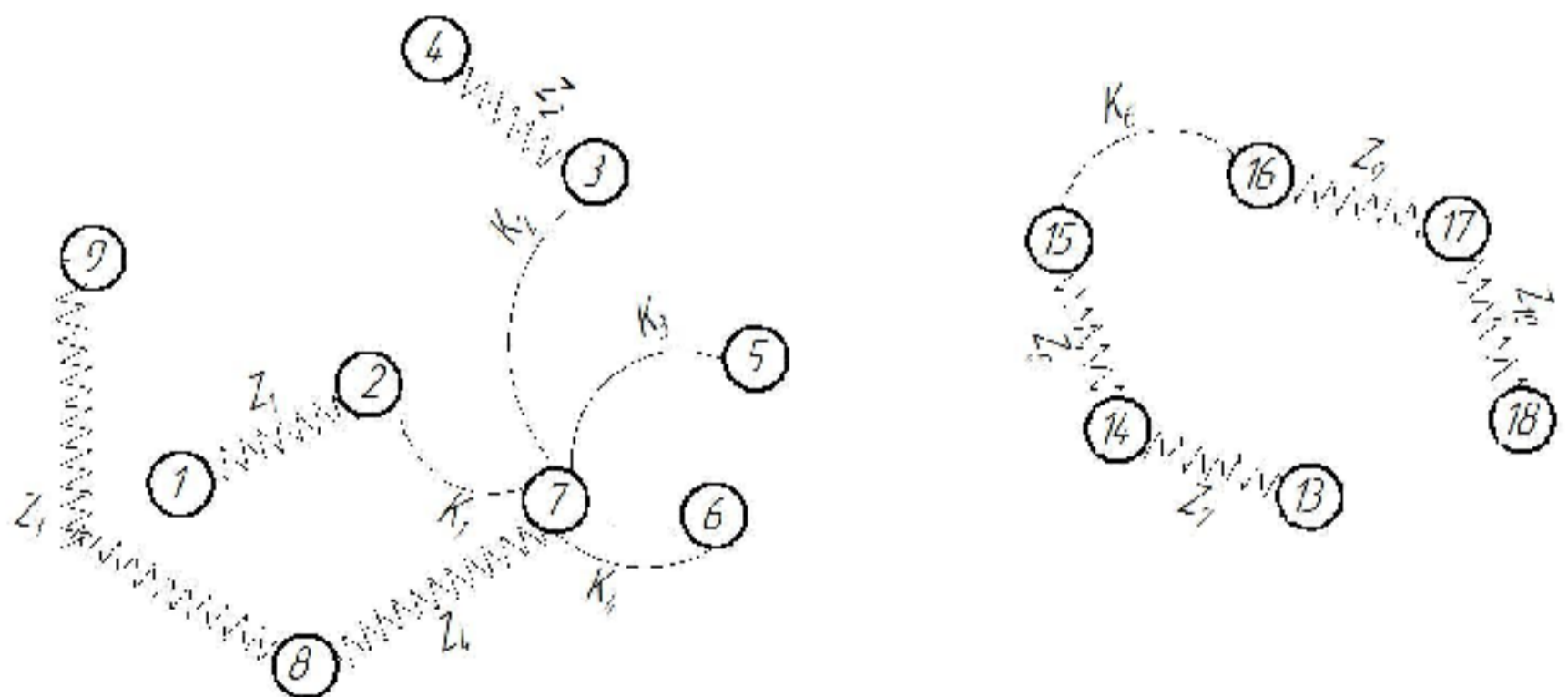


Рисунок 2.8 – Вихідний граф-дерево

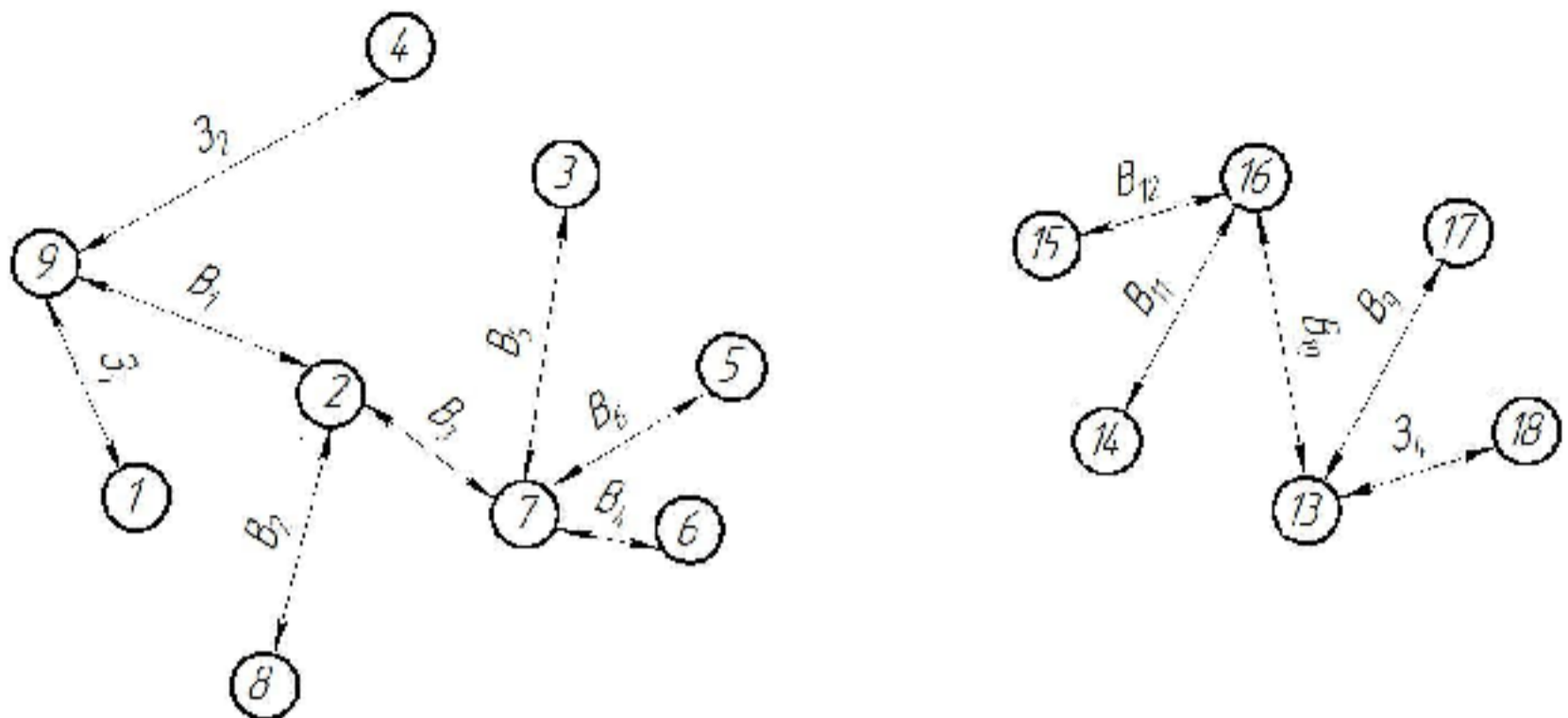


Рисунок 2.9 – Похідний граф-дерево

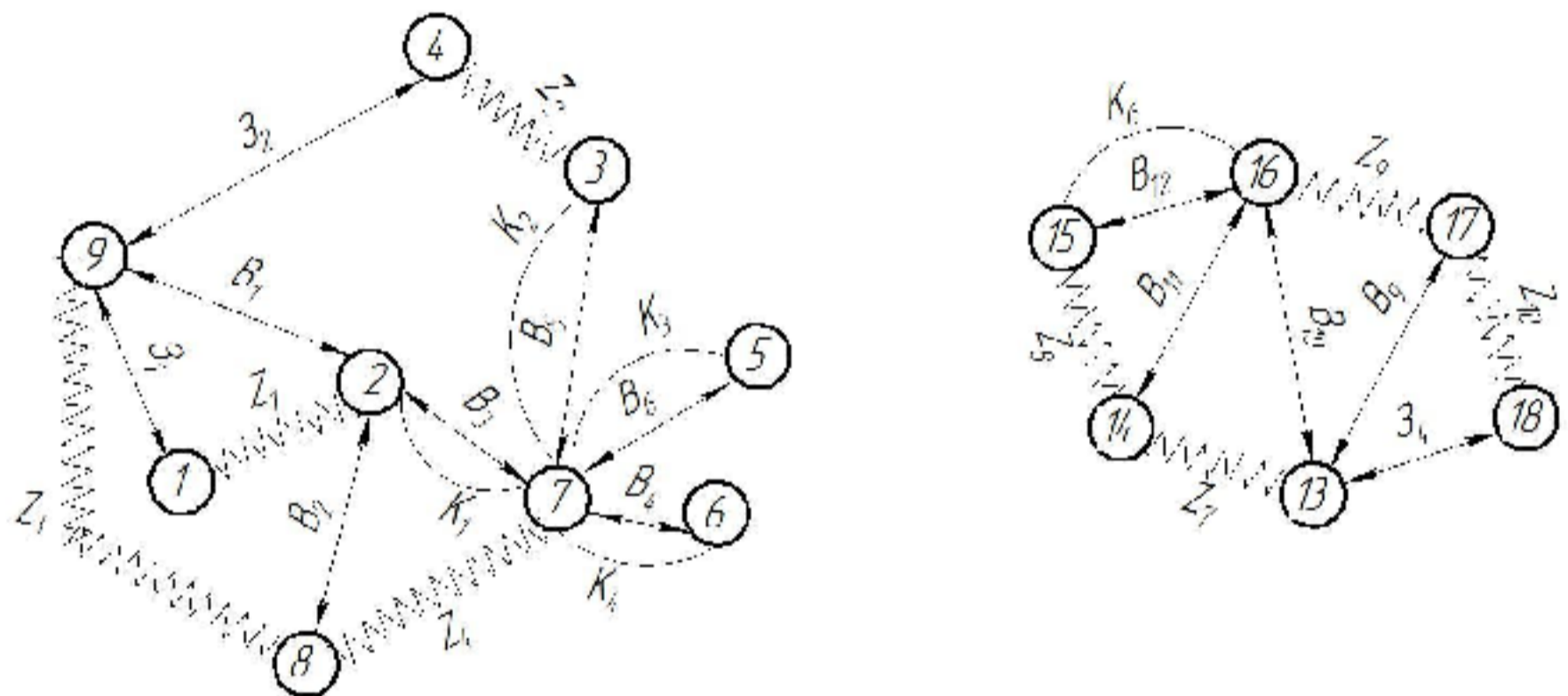


Рисунок 2.10 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Проміжні мінімальні припуски визначаємо нормативним способом згідно довідникових таблиць [3, 10]. Дані припусків зводимо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Проміжні мінімальні припуски

Припуски	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$	$Z_{10}$
$Z_{\min}$	1,8	2,0	1,8	0,7	1,8	0,7	0,7	1,8

## 2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Складаємо рівняння розмірних ланцюгів (табл. 2.17), використовуючи розмірну схему технологічного процесу та суміщений граф.

Таблиця 2.17 – Рівняння для розрахунку технологічних розмірних ланцюгів

№ n/n	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідомий розмір
1	$-K_2+B_5=0$	$K_2=B_5$	$B_5$
2	$-K_3+B_6=0$	$K_3=B_6$	$B_6$
3	$-K_4+B_4=0$	$K_4=B_4$	$B_4$
4	$-K_1+B_3=0$	$K_1=B_3$	$B_3$
5	$-B_3+B_2-Z_4=0$	$B_2=B_3+Z_4$	$B_2$
6	$-B_2+B_1-Z_3=0$	$B_1=B_2+Z_3$	$B_1$
7	$-Z_1+Z_1+B_1=0$	$Z_1=B_1+Z_1$	$Z_1$
8	$Z_2+Z_2-B_1+B_3-B_5=0$	$Z_2=B_1-B_2+B_5-Z_2$	$Z_2$
9	$-K_6+B_{12}=0$	$K_6=B_{12}$	$B_{12}$
10	$-B_{11}+B_{12}+Z_8=0$	$B_{11}=B_{12}+Z_8$	$B_{11}$
11	$-B_{10}+B_{11}+Z_7=0$	$B_{10}=B_{11}+Z_7$	$B_{10}$
12	$-B_9+B_{10}+Z_9=0$	$B_9=B_{10}+Z_9$	$B_9$
13	$-Z_4+B_9+Z_{10}=0$	$Z_4=B_9+Z_{10}$	$Z_4$

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Конструкторські розміри:

$$K_1=75\pm 0,37 \text{ мм};$$

$$K_4=2^{+0,1} \text{ мм};$$

$$K_2=63,3^{+0,06} \text{ мм};$$

$$K_6=83\pm 0,435 \text{ мм}.$$

$$K_3=32\pm 0,195 \text{ мм};$$

Мінімальні припуски на обробку:

$$Z_3^{\min} = Z_7^{\min} = Z_{10}^{\min} = 1.8 \text{ мм};$$

$$Z_1^{\min} = Z_4^{\min} = Z_8^{\min} = Z_9^{\min} = 0.7 \text{ мм};$$

$$Z_2^{\min} = 2.0 \text{ мм}.$$

Ланцюги 1, 2, 3, 4, 9 є дволанковими, тобто технологічні розміри в них збігаються з конструкторськими.

$$B_3=K_1=75\pm 0,37 \text{ мм};$$

$$B_5=K_2=65\pm 0,6 \text{ мм};$$

$$B_4 = K_4 = 32 \pm 0,195 \text{ мм};$$

$$B_{12} = K_6 = 83 \pm 0,435 \text{ мм}.$$

$$B_6 = K_3 = 63,3^{+0,06} \text{ мм};$$

Ланцюг № 5:

$$B_2^{\min} = B_3^{\max} + Z_4^{\min} = 75,37 + 0,7 = 76,07 \text{ (мм)};$$

$$B_2^{\max} = B_2^{\min} + IT(B_3) = 76,07 + 0,3 = 76,37 \text{ (мм)};$$

$$Z_4^{\max} = B_2^{\max} - B_3^{\min} = 76,37 - 74,63 = 1,74 \text{ (мм)};$$

$$B_2 = 76,37_{-0,3} \text{ мм}.$$

Ланцюг № 6:

$$B_1^{\min} = B_3^{\max} + Z_3^{\min} = 76,37 + 1,8 = 78,17 \text{ (мм)};$$

$$B_1^{\max} = B_1^{\min} + IT(B_2) = 78,17 + 0,74 = 78,91 \text{ (мм)};$$

$$Z_3^{\max} = B_1^{\max} - B_3^{\min} = 78,91 - 76,07 = 2,84 \text{ (мм)};$$

$$B_1 = 78,91_{-0,74} \text{ мм}.$$

Ланцюг № 7:

$$Z_1^{\min} = B_1^{\max} + Z_1^{\min} = 80,35 + 1,8 = 82,15 \text{ (мм)};$$

$$Z_1^{\max} = Z_1^{\min} + IT(Z_1) = 82,15 + 1,9 = 84,05 \text{ (мм)};$$

$$Z_1^{\max} = Z_1^{\max} - B_1^{\min} = 84,05 - 79,61 = 4,44 \text{ (мм)};$$

$$Z_1 = 84,05_{-1,9} \text{ мм}.$$

Ланцюг № 8:

$$Z_2^{\max} = B_1^{\min} - B_2^{\max} + B_5^{\min} - Z_2^{\min} = 63,3 - 78,91 + 82,15 - 2 = 64,54 \text{ (мм)};$$

$$Z_2^{\min} = Z_2^{\max} - IT(Z_3) = 64,54 - 1,9 = 62,64 \text{ (мм)};$$

$$Z_2^{\max} = B_1^{\max} - Z_2^{\min} - B_2^{\min} + B_5^{\max} = 63,36 - 62,64 - 78,17 + 84,05 = 6,6 \text{ (мм)};$$

$$Z_2 = 64,64_{-1,9} \text{ мм}.$$

Ланцюг № 10:

$$B_{11}^{\min} = B_{12}^{\max} + Z_8^{\min} = 83,435 + 0,7 = 84,135 \text{ (мм)};$$

$$B_{11}^{\max} = B_{11}^{\min} + IT(B_{11}) = 84,135 + 0,3 = 84,435 \text{ (мм)};$$

$$Z_8^{\max} = B_{11}^{\max} - B_{12}^{\min} = 84,435 - 82,635 = 1,8 \text{ (мм)};$$

$$B_{11} = 84,43_{-0,3} \text{ мм}.$$

Ланцюг № 11:

$$B_{10}^{\min} = B_{11}^{\max} + Z_7^{\min} = 84,435 + 1,8 = 86,235 \text{ (мм)};$$

$$B_{10}^{\max} = B_{10}^{\min} + IT(B_{10}) = 86,235 + 0,35 = 86,585 \text{ (мм)};$$

$$Z_7^{\max} = B_{10}^{\max} - B_{11}^{\min} = 86,585 - 84,135 = 2,45 \text{ (мм)};$$

$$B_{10} = 86,58_{-0,35} \text{ мм.}$$

Ланцюг № 12:

$$B_9^{\min} = B_{10}^{\max} + Z_9^{\min} = 86,585 + 0,7 = 87,285 \text{ (мм)};$$

$$B_9^{\max} = B_9^{\min} + IT(B_9) = 87,285 + 0,3 = 87,585 \text{ (мм)};$$

$$Z_9^{\max} = B_9^{\max} - B_{10}^{\min} = 87,585 - 86,235 = 1,35 \text{ (мм)};$$

$$B_{10} = 87,58_{-0,3} \text{ мм.}$$

Ланцюг № 13:

$$Z_4^{\min} = B_9^{\max} + Z_{10}^{\min} = 87,585 + 1,8 = 89,385 \text{ (мм)};$$

$$Z_4^{\max} = Z_4^{\min} + IT(Z_4) = 89,385 + 2,2 = 91,585 \text{ (мм)};$$

$$Z_{10}^{\max} = Z_4^{\max} - B_9^{\min} = 91,585 - 87,285 = 4,3 \text{ (мм)}.$$

Таблиця 2.18 – Розрахунки припусків

Припуски		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$	$Z_{10}$
Граничні значення	$Z_{\min}$	2,0	1,8	0,7	0,7	1,8	0,7	0,7	1,8
	$Z_{\max}$	6,6	4,44	1,74	2,18	2,45	1,8	1,35	4,3

Висновок. Технологічні рівняння складаються з 2-3 ланок за винятком розміру заготовки  $Z_2$  (5 ланок), що є недоліком. В результаті збільшуються максимальні припуски. В цілому ТП механічної обробки є задовільним.

## 2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

Метою даного пункту є розрахунок припусків на обробку і проміжних граничних розмірів для отвору корпусу  $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$  [2, 3].

Обробка проводиться в спеціальному пристосуванні.

Маршрут механічної обробки отвору складається з 3-ох переходів: розточування попереднє, попереднє, остаточне.

Дані операції виконуються з допомогою двох установів.

Розрахунок припусків на обробку отвору  $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$  приведений в таблиці 2.19 в котрій послідовно записані технологічний маршрут обробки отвору і всі значення елементів припуску.

Значення  $R_z$  і  $T$ , що характеризують якість поверхні заготовки, складає [2, 6]:  
 $R_z = 200$  мкм,  $T = 300$  мкм.

Сумарне значення просторових відхилень

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{зм}^2} \text{ [мкм]}. \quad (2.23)$$

Жолоблення отвору слід враховувати в діаметральному і в осьовому напрямку:

$$\rho_{кор} = \sqrt{(\Delta k \cdot d)^2 + (\Delta k \cdot l^2)} = \sqrt{(0.7 \cdot 39)^2 + (0.7 \cdot 63,3)^2} = 52 \text{ (мкм)}.$$

де  $\Delta k$  – питома кривизна заготовки;

$d$  – діаметр оброблюваного отвору, мм;

$l$  – довжина оброблюваного отвору, мм.

Таблиця 2.19 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору корпуса  $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$

Маршрут обробки $\varnothing 39H7^{(+0,025)}$	Елементи припуску				Розрах. розміри		Допуск мм	Прийняті розміри		Граничні припуски	
	$R_z$	$T$	$\rho$	$\varepsilon_i$	$2Z_{min}$	$D_p$		$D_{max}$	$D_{min}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$
Заготовка	200	300	441	-	-	37,179	700	37,18	36,48	-	-
Розточування попереднє	50	50	22,05	90	1540	38,719	160	38,72	38,56	1,02	2,08
Розточування попереднє	30	30	0,88	-	244	38,963	39	38,96	38,92	0,24	0,36
Розточування остаточне	10	20	0	20	62	39,025	25	39,023	39	0,065	0,08

При визначенні  $\rho_{зм}$  в даному випадку слід прийняти до уваги точність розміщення базових поверхонь, що використовуються при даній схемі установки

і отримані на попередніх операціях, відносно оброблюваної поверхні. Враховуючи, що сумарне зміщення отвору вилівка відносно зовнішньої її поверхні являє геометричну суму в двох взаємо-перпендикулярних площинах, отримуємо:

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_{41,5}}{2}\right)^2 + \left(\sqrt{\frac{\delta_{20}}{2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{620}{2}\right)^2 + \left(\frac{620}{2}\right)^2} = 438 \text{ (мкм)}.$$

Таким чином сумарне значення просторового відхилення заготовки складає:

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{52^2 + 438^2} = 441 \text{ (мкм)}.$$

Визначимо остаточні просторові відхилення:

$$\rho_2 = 0,05\rho_{\text{зм}} = 0,05 \cdot 441 = 22,05 \text{ (мкм)} \quad \text{після 1 попереднього розточування;}$$

$$\rho_2 = 0,04\rho_{\text{зм}} = 0,04 \cdot 22,05 = 0,88 \text{ (мкм)} \quad \text{після 2 попереднього розточування;}$$

$$\rho_3 = 0 \quad \text{після остаточного розточування.}$$

Похибка установки при 1 попередньому розточуванні визначається:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_s^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.24)$$

де  $\varepsilon_\delta$  – похибка базування;

$\varepsilon_s$  – похибка закріплення.

Похибка базування в даному випадку виникає за рахунок перекосу заготовки в горизонтальній площині при установці її на пальці пристосування.

Перекося при цьому відбувається із-за наявності зазору між найбільшим діаметром установочного отвору і найменшим діаметром пальця.



Найбільший зазор між отворами і пальцями:

$$S_{\max} = \delta_{\text{отв}} + \delta_{\text{пал}} + S_{\min} \text{ [мм]},$$

де  $\delta_{\text{отв}} = 0,048$  мм – допуск на отвір;

$\delta_{\text{пал}} = 0,012$  мм – допуск на діаметр пальця;

$S_{\min} = 0,005$  мм – зазору між діаметром отвору і діаметром пальця.

Тоді найбільший кут повороту заготовки на пальці може бути знайдений з відношення найбільшого зазора при повороті в одну сторону від середнього положення до відстані між базовими отворами:

$$tg = \frac{0.048 + 0.012 + 0.005}{\sqrt{98^2 + 0^2}} = 0.00066.$$

Похибка базування на довжині 1 оброблюваного отвора:

$$\varepsilon_s = l \cdot tg\alpha = 63,3 \cdot 0.00066 = 0.041 \text{ (мм)} = 41 \text{ (мкм)}.$$

Визначаємо похибку закріплення при установці заготовки обробленою поверхнею на площину і два пальці [2]:  $\varepsilon_3 = 80$  мкм.

Тоді

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{\varepsilon_s^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{41^2 + 80^2} = 90 \text{ (мкм)}.$$

$\varepsilon_{y2} = 0$  – обробка здійснюється з одного установка;

$\varepsilon_{y3} = 20$  мкм – при остаточному розточуванні.

На основі записаних в таблицю 2.19 даних проводимо розрахунок мінімальних значень припусків за залежністю [2, 3]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{z_{i-1}} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \text{ [мкм]}, \quad (2.25)$$

де  $R_z$  – висота мікронерівностей шару, мкм;

$T$  – глибина дефектованого шару мкм;

$\rho$  – сума просторових відхилень, мкм;

$\varepsilon$  – похибка установки, мкм.

Проводимо розрахунки мінімальних припусків:

$$2Z_{1\min} = 2(200 + 300 + \sqrt{441^2 + 90^2}) = 1540 \text{ (мкм)} - \text{при 1 попередньому розточуванні};$$

$$2Z_{2\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{22,05^2}) = 244,1 \text{ (мкм)} - \text{при 2 попередньому розточуванні};$$

$$2Z_{3\min} = 2(30 + 30 + \sqrt{0,88^2 + 20^2}) = 62 \text{ (мкм)} - \text{при остаточному розточуванні}.$$

Визначаємо розрахункові розміри після кожного переходу механічної обробки:

- після остаточного розточування  $D_p = 39,025 \text{ мм}$ ;
- після 2 попереднього розточування  $D_p = 39,025 - 0,062 = 38,963 \text{ (мм)}$ ;
- після 1 попереднього розточування  $D_p = 38,963 - 0,244 = 38,719 \text{ (мм)}$ ;
- для заготовки  $D_p = 38,719 - 1,54 = 37,179 \text{ (мм)}$ .

Визначаємо граничні розміри:

- після остаточного розточування

$$D_{\max} = 39,025 \text{ мм}; \quad D_{\min} = 39,025 - 0,025 = 39 \text{ (мм)};$$

- після 2 попереднього розточування

$$D_{\max} = 38,963 \text{ мм}; \quad D_{\min} = 38,963 - 0,039 = 38,92 \text{ (мм)};$$

- після 1 попереднього розточування

$$D_{\max} = 38,719 \text{ мм}; \quad D_{\min} = 38,719 - 0,16 = 38,516 \text{ (мм)};$$

- для заготовки

$$D_{\max} = 38,179 \text{ мм}; \quad D_{\min} = 38,179 - 0,7 = 36,48 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо граничні значення припусків для кожного переходів:

- для остаточного розточування

$$2Z_{\max}^{\text{р}} = 39 - 38,92 = 0,08 \text{ (мм)}; \quad 2Z_{\min}^{\text{р}} = 39,025 - 38,96 = 0,065 \text{ (мм)};$$

- для 2 попереднього розточування

$$2Z_{\max}^{\text{р}} = 38,92 - 38,56 = 0,36 \text{ (мм)}; \quad 2Z_{\min}^{\text{р}} = 38,96 - 38,72 = 0,24 \text{ (мм)};$$

- для 1 попереднього розточування

$$2Z_{\max}^{\text{р}} = 38,56 - 36,48 = 1,02 \text{ (мм)}; \quad 2Z_{\min}^{\text{р}} = 38,72 - 37,18 = 2,08 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо значення загальних припусків:

$$2Z_{o_{\min}} = \sum 2Z_{\min}^{\text{р}} = 2,08 + 0,36 + 0,08 = 2,52 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{o_{\max}} = \sum 2Z_{\max}^{\text{р}} = 1,02 + 0,24 + 0,065 = 1,325 \text{ (мм)}.$$

## 2.10 Призначення режимів різання

Операція 005. Багатоцільова з ЧПК.

Модель верстата – ЛТ260МФ3.

Пристосування: Спеціальне, установка в призмі

Ескіз механічної обробки див. маршрут механічної обробки.

Перехід 2. Фрезерувати площину 1 попередньо.

Ріжучий інструмент: фреза торцева насадна зі вставними ножами з швидкоріжучої сталі Р6М5 ГОСТ 1092-80 ( $\lambda = 6$ ;  $\varphi = 60^\circ$ ;  $r = 1$  мм).

При торцьовому фрезеруванні для досягнення продуктивності режимів різання діаметр фрези  $D_{\text{фр}}$  повинен бути більше ширини фрезерування  $b$

$$D_{\text{фр}} = (1,25 \dots 1,5) b = 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ (мм)}.$$

Отримане розрахункове значення діаметру фрези  $D_{\text{фр}}$  корегуємо з діаметром зі стандартного ряду  $D_{\text{фр}} = D_{\text{ст}} = 100$  мм.

Глибина фрезерування. В даному випадку глибина фрезерування дорівнює припуску на обробку при чорновому фрезеруванні тобто  $t = 0,7$  мм.

Подачу визначаємо за нормативами. Вихідною величиною подачі при чорновому фрезеруванні є її величина на один зуб  $S_z$  (мм/зуб). Виходячи з цього, згідно [12-13]  $S_z = 0,3$  мм/зуб.

Швидкість різання. Визначаємо колову швидкість фрези (м/хв)

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v \text{ [м/хв]}, \quad (2.26)$$

де  $C_v = 155$ ,  $q = 0,25$ ,  $x = 0,1$ ,  $y = 0,4$ ,  $u = 0,15$ ,  $p = 0,1$ ,  $m = 0,2$  – коефіцієнти і показники степеню в формулі швидкості різання.

$T = 180$  хв – період стійкості фрези;

$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$  – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання;

$K_{mv} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюемого матеріалу;

$K_{uv} = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту.

$$V = \frac{155 \cdot 100^{0.25}}{180^{0.2} \cdot 0.7^{0.1} \cdot 0.3^{0.4} \cdot 80^{0.15} \cdot 14^{0.1}} \cdot 0.72 = 77.7 \text{ (м/хв)}.$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 77.7}{3.14 \cdot 100} = 247 \text{ (хв}^{-1}\text{)}. \quad (2.27)$$

Потужність різання при фрезеруванні

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1507 \cdot 77.7}{1020 \cdot 60} = 1.9 \text{ (кВт)}. \quad (2.28)$$

Ефективна потужність верстата на шпинделі:

$$N_{\text{в}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 8 \cdot 0,85 = 6,4 \text{ (кВт)};$$

$$N_{\text{різ}} < N_{\text{в}}.$$

Умови по обробці різанням (потужності) виконуються.

Основний (машинний) час по переходам складає:

$$T_o = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_{\text{м}}} = \frac{130}{444} = 0,29 \text{ (хв.)} \quad (2.29)$$

Операція 005. Багатоцільова з ЧПК.

Модель верстата – ЛТ260МФ3.

Пристосування: Спеціальне, установка в призмі.

Ескіз механічної обробки див. маршрут механічної обробки.

Перехід 3. Фрезерувати площину 1 остаточно.

Ріжучий інструмент: фреза торцьова насадна зі вставними ножами з швидко ріжучої сталі Р6М5 ГОСТ 1092-80 ( $\lambda = 6$ ;  $\varphi = 60^\circ$ ;  $r = 1 \text{ мм}$ ).

Розміри фрези визначаються розмірами оброблюваної поверхні і глибиною зрізасмого шару. Діаметр фрези визначається як і для чорнового фрезерування.

Глибина фрезерування. В даному випадку глибина фрезерування дорівнює припуску на обробку при чистовому фрезеруванні тобто  $t = 0,3$  мм.

Подачу визначаємо за нормативами. При чистовому фрезеруванні подачу визначають на один оберт фрези  $S$ , по котрій для подальшого використання розраховуємо величину подачі на один зуб  $S_z$  (мм/зуб).

$$S_z = S/z = 1/6 = 0,16 \text{ (мм/зуб)}.$$

Швидкість різання. Визначаємо колову швидкість фрези (м/хв)

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v \text{ [м/хв]}, \quad (2.30)$$

де  $C_v = 245$ ,  $q = 0,25$ ,  $x = 0,1$ ,  $y = 0,2$ ,  $u = 0,15$ ,  $p = 0,1$ ,  $m = 0,2$  – коефіцієнти і показники степеню в формулі швидкості різання.

$T = 180$  хв – період стійкості фрези;

$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$  – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання;

$K_{mv} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюємого матеріалу;

$K_{uv} = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{nv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$$V = \frac{245 \cdot 100^{0.25}}{180^{0.2} \cdot 0,3^{0.1} \cdot 0,16^{0.2} \cdot 80^{0.15} \cdot 14^{0.1}} \cdot 0,72 = 141,7 \text{ (м/хв)}.$$

Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 141,7}{3,14 \cdot 125} = 361 \text{ (хв}^{-1}\text{)} \quad (2.31)$$

Потужність різання при фрезеруванні

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1507 \cdot 141,7}{1020 \cdot 60} = 0,44 \text{ (кВт)} \quad (2.32)$$

Ефективна потужність верстата на шпинделі:

$$N_B = N_{дв} \cdot \eta = 8 \cdot 0,85 = 6,4 \text{ (кВт)};$$

$$N_{різ} < N_B.$$

Умови по обробці різанням (потужності) виконуються.

Основний (машинний) час по переходам складає:

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{S_m} = \frac{130}{361} = 0,36 \text{ (хв.)} \quad (2.33)$$

Операція 005. Вертикально-фрезерна з ЧПК.

Модель верстата ЛТ260МФ3.

Пристосування – Спеціальне, установка в призмі.

Ескіз механічної обробки див. маршрут механічної обробки.

Перехід 5. Свердлити 8 отворів  $\varnothing 8,4$

Ріжучий інструмент: Свердло спіральне спіральне ГОСТ 10903-77;  $2\varphi=118^\circ$ ;  
 $\alpha=11^\circ$ . Форма підточки – Н.

Глибина різання складає:

$$t = d/2 = 6,5/2 = 3,25 \text{ (мм)}.$$

Визначення подачі. При свердліні отворів без обмежуючих факторів, подача обирається максимально допустима, залежно від міцності свердла.

Назначаємо подачу для HB<229, матеріал АК7 І – група подач:  $S_0=0,36$  мм/об.

Оскільки отвори, що оброблюються для нарізки різі то:

$$S_0 = S_{\text{таб}} \cdot K_{os} = 0,36 \cdot 0,5 = 0,18 \text{ (мм/об)}.$$

Назначаємо період стійкості свердла.  $T = 35$  хв – стійкість одного інструменту. Допустимий знос:  $h_3 = 0,3-0,45$  мм.

Визначаємо швидкість різання

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_z^y} \cdot K_v \text{ [м/хв]}, \quad (2.34)$$

де  $C_v = 36,6$ ,  $q = 0,25$ ,  $y = 0,55$ ,  $m = 0,125$  – коефіцієнти і показники степеню в формулі швидкості різання;

$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$  – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання;

$K_{mv} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблююмого матеріалу;

$K_{nv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$$V = \frac{36,3 \cdot 6,8^{0,25}}{35^{0,125} \cdot 0,18^{0,55}} \cdot 0,8 = 32,54 \text{ (м/хв.)}$$

Частота обертання шпинделя складає:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 32,54}{3,14 \cdot 6,8} = 1233 \text{ (об/хв.)} \quad (2.35)$$



Згідно паспортних даних приймаємо  $n = 1200$  об/хв.

Дійсна швидкість різання складає:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 6,8 \cdot 1200}{1000} = 31,65 \text{ (м/хв.)}$$

Визначаємо потужність різання при заданих режимах різання

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{1.2 \cdot 1200}{9750} = 0.14 \text{ (кВт)}. \quad (2.36)$$

Основний (маршрутний) час, складає:

$$T_o = \frac{L_{p-x}}{S_m} = \frac{27}{221,9} = 0,12 \text{ (хв.)} \quad (2.37)$$

Аналогічно визначимо режими різання для інших операцій.

Таблиця 2.20 – Дані режимів різання та розрахунку основного часу на операціях

№п/п	Операції та переходи	Розрахункові розміри		Режими різання			T <sub>o</sub> , хв
		D/B	L <sub>p*x</sub>	S <sup>мм/об</sup>	V <sup>м/хв</sup>	n <sup>об/хв</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8
	005 Багатоцільова зЧПК Установ А						
1	Фрезерувати пов. 1 однократно	B=60	100	1	78	247	0,22
	Установ Б						
2	Фрезерувати пов. 2 попередньо	B=80	130	1	78	247	0,29
3	Фрезерувати пов. 2 остаточно	B=80	130	0,42	142	360	0,36
4	Свердлити 2 отв. Ø6	Ø6	14	0,2	12,2	500	0,28
5	Свердлити 8 отв. Ø6,8	Ø6,8	27	0,18	13,2	500	2,4
6	Свердлити 2 фаски Ø8,5	Ø8,5	5	0,2	10,1	400	0,12

Продовження таблиці 2.20

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Свердли 8 фасок. $\varnothing 10,5$	$\varnothing 10,5$	5	0,2	10,4	400	0,48
8	Нарізати різь 8отв. М8-7Н	М8	20	1,5	2,13	80	1,3
9	Розвернути 2 отв. $\varnothing 6Н10$	$\varnothing 6$	10	0,1	12,5	250	0,8
10	Сведлити 2 отв. $\varnothing 20,5$	$\varnothing 20,5$	4	0,2	49,6	400	0,1
11	Розточити 2 отв. $\varnothing 39Н7$ поперед.	$\varnothing 39$	67	0,25	67,5	700	0,76
12	Розточити 2 отв. $\varnothing 39Н7$ остаточ.	$\varnothing 39$	67	0,2	85,5	790	0,84
13	Фрезер.виточку R26 однократ.	R26	190	0,16	17,8	315	3,7
010 Багатоцільова з ЧПК							
Позиція А							
1	Фрезерувати платик1 попередн	43	60	1	78	192	0,17
2	Фрезерувати платик1 остаточн	43	60	0,42	142	360	0,39
3	Свердли 1 отв. $\varnothing 14$ однократно	$\varnothing 14$	20	0,2	29,5	400	0,25
4	Свердли 4 фаски $\varnothing 12,5$	$\varnothing 10,5$	5	0,2	11,5	400	0,25
5	Свердли 4 отв. $\varnothing 6,8$	$\varnothing 6,8$	20	0,18	13,2	500	0,88
6	Нарізати різь 4отв. М10-7Н	М8	15	1,5	2,3	80	0,5
Позиція Б							
1	Фрезерувати платик1 попередн	43	60	1	78	192	0,17
2	Фрезерувати платик1 остаточн	43	60	0,42	142	360	0,39
3	Сведлити 1 отв. $\varnothing 28$ однократно	$\varnothing 14$	40	0,2	29,5	400	0,25
4	Свердли 4 фаски $\varnothing 10,5$	$\varnothing 10,5$	5	0,2	11,5	400	0,25
5	Свердли 4 отв. $\varnothing 6,8$	$\varnothing 6,8$	20	0,18	13,2	500	0,88
6	Нарізати різь 4 отв. М10-7Н	М8	15	1,5	2,3	80	0,5
015 Алмазно-розточна							
1	Розточити 1 отв. $\varnothing 39Н7$ попередньо	$\varnothing 39$	67	0,2	86,7	850	0,78
2	Розточити 1 отв. $\varnothing 39Н7$ остаточн	$\varnothing 39$	67	0,15	86,7	1050	0,83

## 2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Оптимізація технологічних процесів та режимів різання, зокрема, базується на побудові математичних моделей.

Знайдемо оптимальні режими різання за допомогою спеціальної комп'ютерної програми оптимізації режимів різання для фрезерування [3].

Результат оптимізації показаний на рисунку 2.11.

Результати отримані за допомогою ЕОМ мають незначну розбіжність з прийнятими режимами різання. Таким чином максимальна продуктивність обробки на верстаті з ЧПК буде забезпечена.

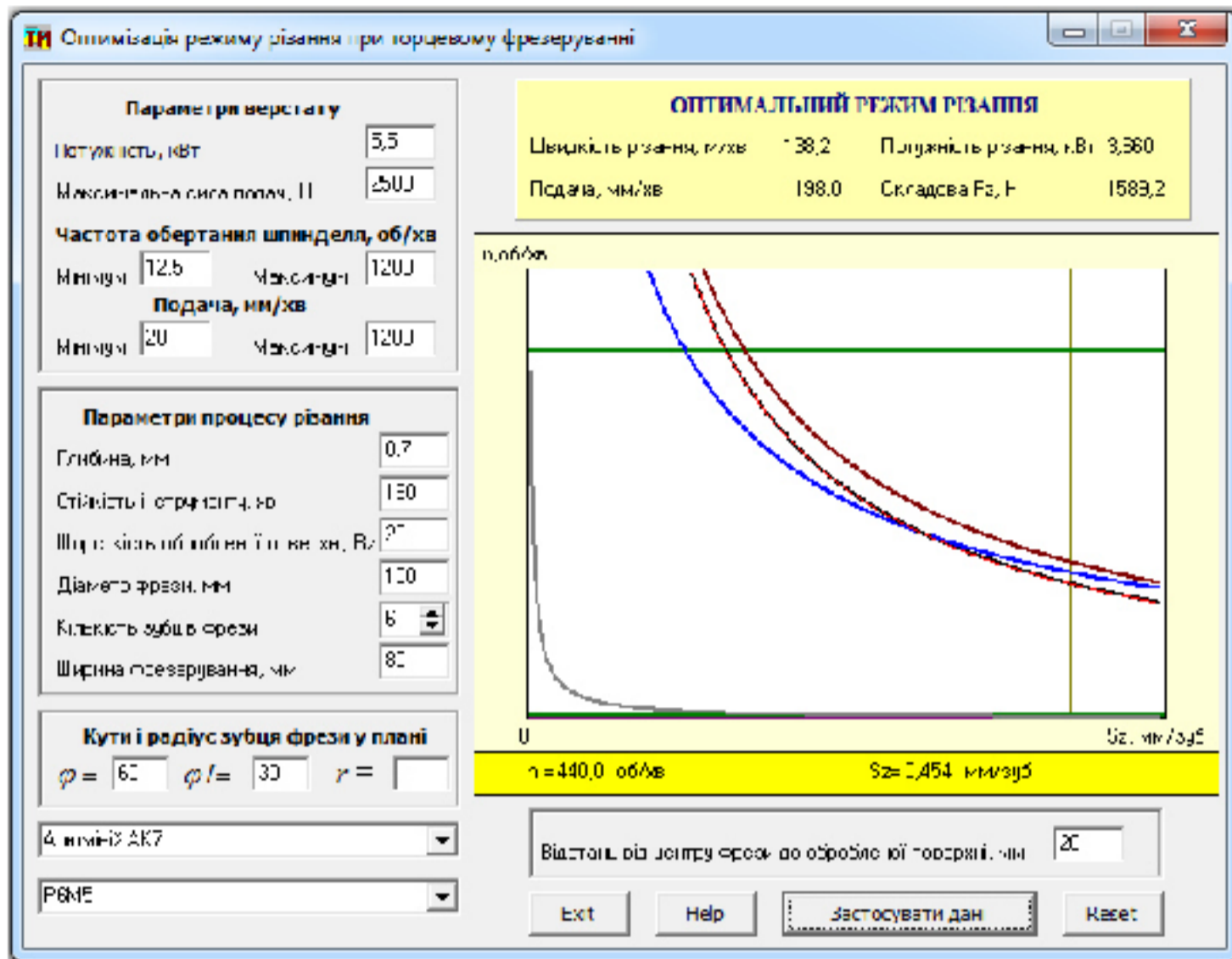


Рисунок 2.11 – Оптимізація режимів різання для попереднього фрезерування площини шириною 80 (операція 005, перехід 2)

## 2.12 Визначення технічних норм часу

Операція 015. Алмазно-розточувальна.

Модель верстата: 2706.

Пристосування: спеціальне з пневмозажимом.

Маса заготовки  $m_3 = 1,125$  кг.

Результати визначення основного часу при виконанні переходів на 015 операції показано в табл. 2.20:

$$t_0 = 1,61 \text{ хв.}$$

Штучний час визначаємо за формулою [2, 14, 15]:

$$T_{шт} = t_0 + t_e + t_{m.обс.} + t_{o.обс.} + t_{отд.} \text{ [хв]}, \quad (2.38)$$

Час на вимірювання і контроль деталі перекривається основним часом.

Штучно-калькуляційний час визначаємо за формулою

$$T_{шк} = T_{шт} + T_{н.з.}/n \text{ [хв.]} \quad (2.39)$$

Оперативний час

$$t_{оп} = t_0 + t_{вс} \text{ [хв.]} \quad (2.40)$$

а) Час на установку, закріплення, знімання деталі [2]

$$t_0 = 0,15 + 0,04 + 0,03 = 0,22 \text{ (хв.)}$$

б) Час на управління верстатом, кнопки „Пуск, Стоп” та ін., закрити щиток.

$$t_{вс} = 0,02 + 0,02 = 0,04 \text{ (хв.)},$$

$$T_0 = 0,18 + 0,04 = 0,22 \text{ (хв.)},$$

$$t_{оп} = 1,61 + 0,22 = 1,83 \text{ (хв.)}$$

Час на технічне обслуговування складає 4% від оперативного.

Час на організаційне обслуговування 4,5% від  $t_{оп}$ .

$$t_{м.обс.} = 1,83 \cdot 4/100 = 0,073 \text{ (хв.)},$$

$$t_{о.обс.} = 1,83 \cdot 4,5/100 = 0,082 \text{ (хв.)}$$

Час на перерви і індивідуальні потреби 5% від  $t_{оп}$ .

$$T_{отд} = 1,83 \cdot 5/100 = 0,1 \text{ (хв.)}$$

Штучний час складає

$$T_{шт} = 1,83 + 0,073 + 0,082 + 0,1 = 2,08 \text{ (хв.)}$$

Штучно-калькуляційний час при партії деталей для наладок  $n=300$  шт.

$$T_{штк} = T_{шт} + T_{н.з.}/n = 2,08 + 30/300 = 2,18 \text{ (хв.)}$$

На решту операцій нормування проводимо аналогічно.

Дані розрахунків зводимо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 – Технічні норми часу на операціях механічної обробки

№ опер.	Операції	$t_{ос}$	$t_{вс}$	$t_{т.обс.}$	$t_{о.обс.}$	$t_{отд.}$	$T_{шт.}$
005	Багатоцільова з ЧПК	11,65	0,21	0,47	0,53	0,6	13,5
010	Багатоцільова з ЧПК	4,88	0,28	0,21	0,23	0,26	5,86
015	Алмазно-розточна	1,61	0,22	0,07	0,08	0,1	2,08

### 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ

#### 3.1 Вступ та постановка мети роботи

Деталь «Корпус НШ10.001» є однією з основних деталей шестеренного насоса НШ10, що застосовується в гідроприводах сільськогосподарських машин, тракторів, верстатах і т.д. В роботі проектується дільниця механічної обробки на якій планується обробляти крім заданої деталі «Корпус НШ10.001» ряд інших деталей типу «Корпус» для різних типорозмірів шестеренних насосів (див. розділ 4). Технічні характеристики і параметри цих насосів представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики і параметри насосів

Параметр шестеренного насоса	Технічні характеристики				
	НШ10	НШ16	НШ32	НШ50	НШ100
Обертання приводного валу	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве
Робочий об'єм, см <sup>3</sup>	10	15,6	32	50	100
Тиск на виході, МПа	16; 20	16	20; 16	20; 16	20; 16
Подача, л/хв.	21	34,4	68,8	113,7; 107,2	173,4
Номінальна потужність, кВт	7	13,8	33,2; 26,6	51,9; 41,5	80,1; 66,4
Номінальна частота обертання, об/хв.	nom	1500; 2400	2400	2400	1920
	max	2400; 3600	-	-	-
<i>t</i> робочої рідини, °С	min	0	0	0	0
	max	+80	+80	+80	+80
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	min	55; 30	55	30; 55	30; 55
	max	70; 40	70	40; 70	40; 70
Маса, кг	3	2,9	7	4,1; 8; 7,1; 3,94	17

Рух в'язкої рідини в гідроприводі супроводжується втратами напору, обумовленими гідравлічними опорами. Визначення втрат напору одна із головних питань практично будь-якого гідравлічного розрахунку [16-21].

*Мета роботи* – розробка алгоритму та прикладної комп’ютерної програми для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі, що дозволяє автоматизувати процес розрахунку та скоротити його час.

*Завдання, що вирішуються:*

- у відповідності до характеристик гідроприводу, що розраховується, підготувати початкові дані: витрату рідини, густину рідини, кінематичну в’язкість рідини, діаметр, довжину, еквівалентну шорсткість стінок трубопроводу за типом трубопроводу та сумарний коефіцієнт місцевого гідравлічного опору;
- розробити алгоритм, блок-схему, програму для виконання розрахунків;
- ввести вхідні дані та виконати розрахунки.

### 3.2 Алгоритм гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі

Перед обчисленням втрат напору і падіння тиску потрібно з’ясувати режим руху рідини на ділянці гідролінії на підставі числа Рейнольдса, значення якого для круглої труби діаметром  $d$  визначається згідно формули [16-19]:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3.1)$$

де  $v$  – середня швидкість і  $\nu$  – кінематична в’язкість рідини.

Розраховане згідно формули (3.1) число Рейнольдса  $Re$  слід порівнювати з нижнім критичним числом Рейнольдса  $Re_{кр} = 2300$ . Якщо отримане число Рейнольдса  $Re \leq 2300$ , то всі гідравлічні розрахунки виконуються, як для ламінарного режиму руху рідини в круглій трубі, а якщо отримане  $Re > 2300$ , то всі гідравлічні розрахунки виконуються як для турбулентного режиму. При певних умовах можна спостерігати ламінарний режим руху рідини в трубах при  $Re$  до 4000, але такий ламінарний режим нестійкий, під впливом найменших збурень він переходить у турбулентний. Тому при  $2300 \leq Re < 4000$  має місце перехідний режим руху.

З точки зору розрахунку втрати напору при русі в'язкої рідини зручно розділити на два види: втрати на тертя по довжині  $h_{mp}$ , що залежать у загальному випадку від довжини та розмірів поперечного перерізу трубопроводу, його шорсткості, в'язкості рідини, швидкості течії, і втрати в місцевих опорах  $h_m$  – коротких ділянках трубопроводів, в яких відбувається зміна швидкості за величиною або за напрямом [16-19]:

$$h_n = h_{mp} + \sum h_m \text{ [м]}. \quad (3.2)$$

При русі рідини в круглих трубах постійного перерізу втрати напору на тертя визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха [16-19]:

$$h_{mp} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ [м]}, \quad (3.3)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині, або коефіцієнт Дарсі;  $\ell$  – довжина трубопроводу;  $d$  – його діаметр;  $v$  – середня швидкість течії рідини.

Втрати напору по довжині істотно залежать від режиму руху рідини. На рис. 3.1 показано розподіл швидкостей для ламінарного потоку.



Рисунок 3.1 – Розподіл швидкостей для ламінарного потоку

Теоретичні побудови та чисельні експериментальні дані показують, що при ламінарному режимі руху  $v_{сер}$  в два рази менша  $v_{max}$ :



$$v_{\text{сер}} = 0,5v_{\text{мах}} .$$

Для ламінарного режиму руху рідини теоретичне значення коефіцієнта Дарсі

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} . \quad (3.4)$$

Турбулентна течія характеризується перемішуванням рідини, пульсаціями швидкостей і тисків. Модель турбулентного потоку показана на рис. 3.2.

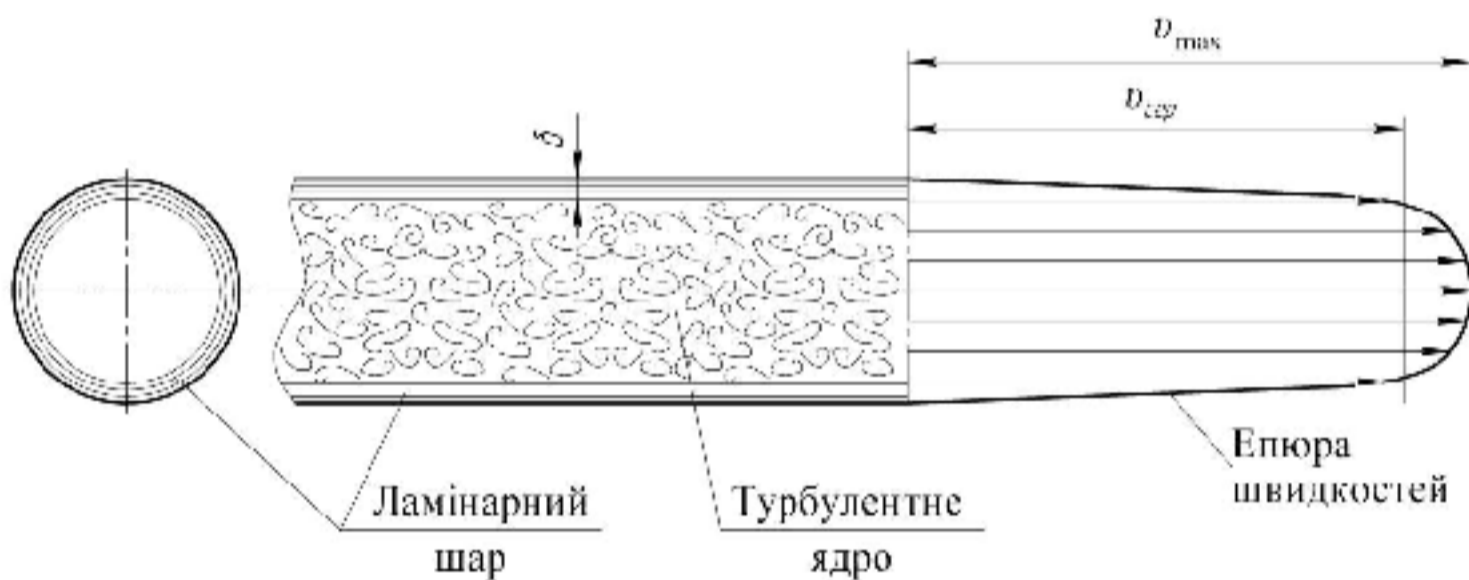


Рисунок 3.2 – Модель турбулентного потоку

Як показують досліді, для турбулентного потоку осереднена швидкість становить

$$v_{\text{сер}} = (0,75 \dots 0,90) \cdot v_{\text{мах}} .$$

При турбулентному режимі руху виділяють три області [16-19].

1. Область гідравлічно гладких труб має місце при  $3000 < \text{Re} < 20d / \Delta$ , де  $\Delta$  – еквівалентна шорсткість труби. В цій області усі виступи шорсткості повністю покриті ламінарним шаром  $\delta \gg \Delta$  (рис. 3.3, а).

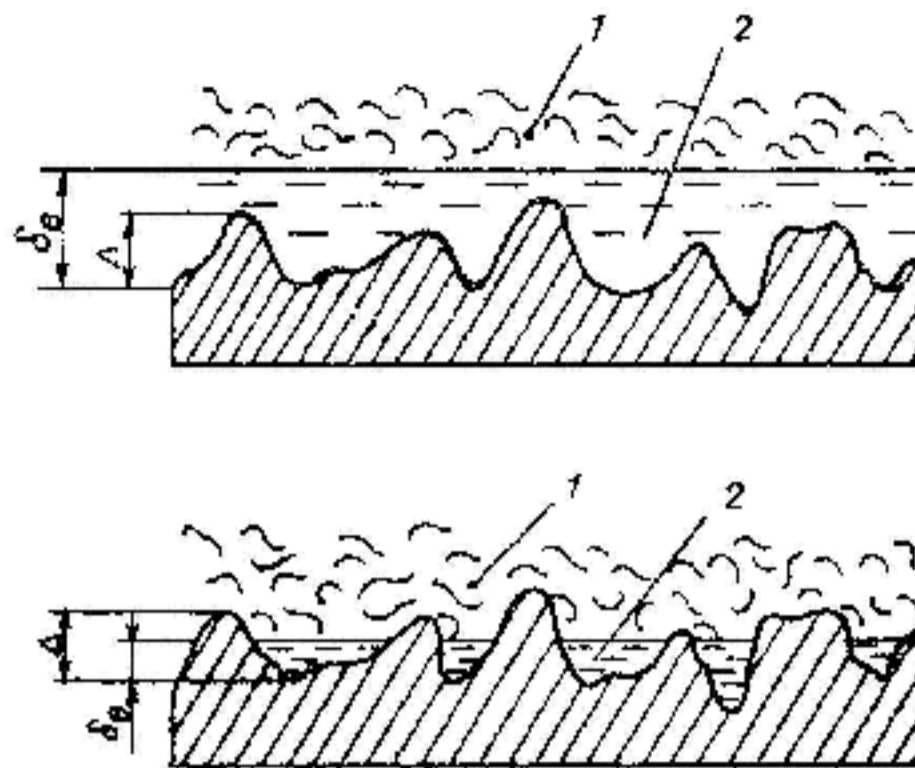


Рисунок 3.3 – Область гідравлічно гладких труб (а);  
область гідравлічно шорстких труб (б)

На рис. 3.8 позначено: 1 – турбулентне ядро; 2 – ламінарний шар.

Для області гідравлічно гладких труб коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  визначається за формулою Конакова

$$\lambda = \frac{1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2}, \quad (3.5)$$

або по формулі Блазіуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (3.6)$$

2. У перехідній області  $20d/\Delta < Re < 500d/\Delta$ . У цій області  $\delta \approx \Delta$ , певна частина виступів шорсткості вклинюється в турбулентну течію, створюючи додаткові вихроутворення.

Коефіцієнт гідравлічного тертя можна визначити за формулою Кольбрука-Уайта

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7d} \right), \quad (3.7)$$

або за універсальною (застосовною для всіх областей) формулою Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (3.8)$$

3. Квадратична область опору (область гідравлічно шорстких труб) має місце при  $\text{Re} > 500d/\Delta$ . В цій області  $\delta \ll \Delta$  (рис. 3.3, б).

Коефіцієнт  $\lambda$  може бути знайдений за формулою Нікурадзе

$$\lambda = \frac{1}{(2 \lg d/\Delta + 1,14)^2}, \quad (3.9)$$

або за формулою Шифрінсона

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (3.10)$$

Втрати напору у місцевих опорах визначаються за формулою Вейсбаха

$$h_m = \zeta \frac{v_2^2}{2g} \text{ [м]}, \quad (3.11)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт місцевого опору;  $v_2$  – швидкість після місцевого опору (у деяких випадках значення коефіцієнта відносять і до швидкості  $v_1$  до місцевого опору). У більшості випадків коефіцієнт  $\zeta$  визначають за довідковими даними, отриманими на підставі дослідних даних.

Середні значення коефіцієнта  $\zeta$  для місцевих опорів, що найчастіше застосовуються у гідросистемах, наведено в таблиці 3.2 [16].

Таблиця 3.2 – Середні значення коефіцієнта  $\zeta$ 

Вид місцевого опору	Коефіцієнт місцевого опору $\zeta$
Розподільні золотники залежно від характеру руху та кількості поворотів потоку рідини	2–4
Розподільні та зворотні (запірні) клапани (без урахування зусилля пружини)	2–3
З'єднання, що самозакриваються (муфти)	1–1,5
Штуцери, що приєднують труби до агрегатів, та перехідники, що з'єднують відрізки труб	0,1–0,15
Кутники з поворотом під прямим кутом	1,5–2

Сумарні втрати тиску по довжині і в місцевих опорах

$$\Delta p_{\text{сн}} = \Delta p_{\text{тр}} + \sum \Delta p_{\text{м}} \text{ [Па]} \quad (3.12)$$

або

$$\Delta p_{\text{сн}} = \rho g h_n \text{ [Па]}. \quad (3.13)$$

де  $\Delta p_{\text{тр}}$  – втрати тиску по довжині;

$\sum \Delta p_{\text{м}}$  – сума усіх місцевих втрат тиску.

В гідроприводах сумарні втрати тиску по довжині і в місцевих опорах зазвичай не перевищують 5-10% від тиску, що розвивається насосом, в окремих випадках допускається, щоб втрати досягали 30%.

У відповідності з приведеним алгоритмом розроблено блок-схему проведення розрахунків (рис. 3.1).

### 3.3 Комп'ютерна програма для гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі

Розроблено комп'ютерну програму для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі, інтерфейс якої показано на рис. 3.2.

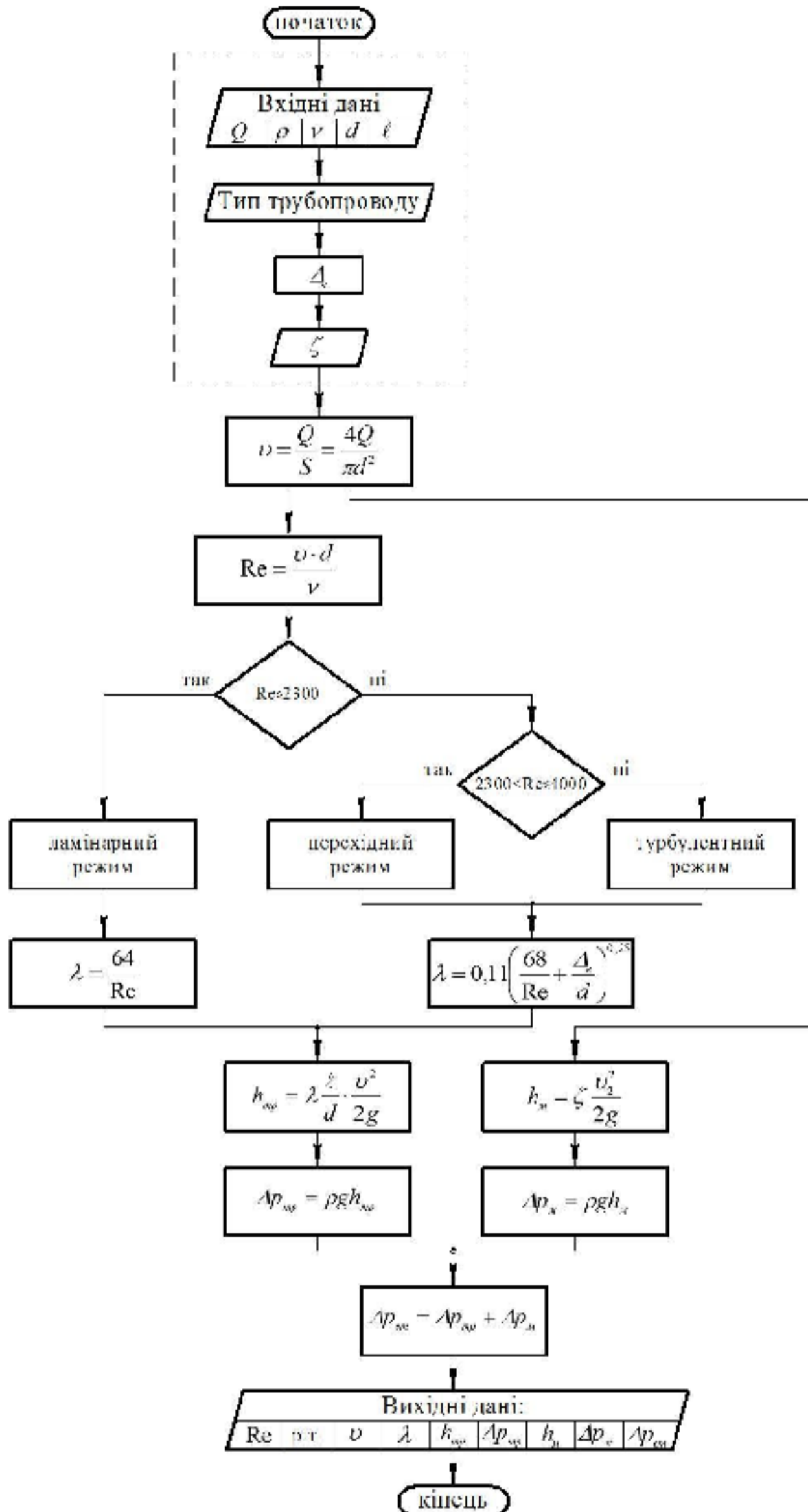


Рисунок 3.1 – Блок-схема гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі

Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі

**Вхідні дані**

Введіть витрату рідини ( $Q$ )	68,8	л/хв
Введіть густину рідини ( $\rho$ )	890	кг/м <sup>3</sup>
Введіть кінематичну в'язкість рідини ( $\nu$ )	50	$\times 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с
Введіть діаметр трубопроводу ( $d$ )	0,032	м
Введіть довжину трубопроводу ( $l$ )	2,5	м
Еквівалентна шорсткість стінок трубопроводу ( $\Delta\epsilon$ )		
Виберть тип трубопроводу	Рукави та шланги гумові	0,02 мм
Врахувати втрати енергії на подолання місцевих спорів	<input checked="" type="checkbox"/>	
Введіть сумарний коефіцієнт місцевого гідравлічного опору ( $\xi$ )	10	

**Вихідні дані**

Число Рейнольдса ( $Re$ )	912.951	
Режим течії	Ламінарний	
Швидкість руху рідини в трубопроводі ( $v$ )	1.426	м/с
Коефіцієнт гідравлічного тертя ( $\lambda$ )	0.070102	
Втрати напору по довжині ( $h_{TP}$ )	0.568013	м
Втрати тиску по довжині ( $\Delta p_{TP}$ )	4964.323748	Па
Втрати напору на подолання місцевих гідравлічних спорів ( $h_M$ )	1.037137	м
Втрати тиску на подолання місцевих гідравлічних спорів ( $\Delta p_M$ )	9055.139805	Па
Сумарні втрати тиску в трубопроводі ( $\Delta p_{\Sigma T}$ )	14019.463553	Па

Рисунок 3.2 – Інтерфейс комп'ютерної програми для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі

Після запуску комп'ютерної програми «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі» необхідно внести такі вхідні дані:

- витрату рідини  $Q$ , л/хв;
- густину рідини  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- кінематичну в'язкість рідини  $\nu$ , м<sup>2</sup>/с;
- діаметр трубопроводу  $d$ , м;
- довжину трубопроводу  $l$ , м;
- середнє значення еквівалентної шорсткості стінок трубопроводу  $\Delta\epsilon$  (мм) за типом трубопроводу;
- сумарний коефіцієнт місцевого гідравлічного опору  $\zeta$ .

На виході отримуються дані про:

- число Рейнольдса  $Re$ ;
- режим течії (ламінальний, перехідний, турбулентний);
- середню швидкість руху рідини в трубопроводі  $v$ , м/с;
- втрати напору по довжині  $h_{тр}$ , м;
- втрати тиску по довжині  $\Delta p_{тр}$ , Па;
- втрати напору в місцевих гідравлічних опорах  $h_m$ , м;
- втрати тиску в місцевих гідравлічних опорах  $\Delta p_m$ , Па;
- сумарні втрати тиску в трубопроводі  $\Delta p_{\Sigma}$ , Па.

### 3.4 Розрахунок втрат тиску в трубопроводі

При розрахунках параметри, що не змінювалися, мали значення, наведені в табл. 3.3. Діапазони зміни параметрів – табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Постійні параметри при розрахунку

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
Густина рідини	$\rho$	890	кг/м <sup>3</sup>
Кінематична в'язкість рідини	$\nu$	$50 \cdot 10^{-6}$	м <sup>2</sup> /с

Таблиця 3.4 – Діапазони зміни параметрів

Параметр	Позначення	Початкове значення	Діапазон зміни	Одиниця вимірювання
Витрата рідини	$Q$	68,8	21...173,4	л/хв.
Діаметр трубопроводу	$d$	0,032	0,012...0,08	м
Довжина трубопроводу	$\ell$	2,5	1...6	м
Середнє значення еквівалентної шорсткості стінок трубопроводу	$\Delta_e$	0,02	0,001...3	мм

За допомогою розробленої програми проведено розрахунки і отримано залежності втрат тиску в місцевих опорах  $\Delta p_m$  від сумарного коефіцієнту

місцевого гідравлічного опору  $\zeta$  для різних витрат  $Q$  в трубопроводі (витрати  $Q$  в трубопроводі відповідають подачам насосів, технічні характеристики яких показано в табл. 3.1) (рис. 3.3).

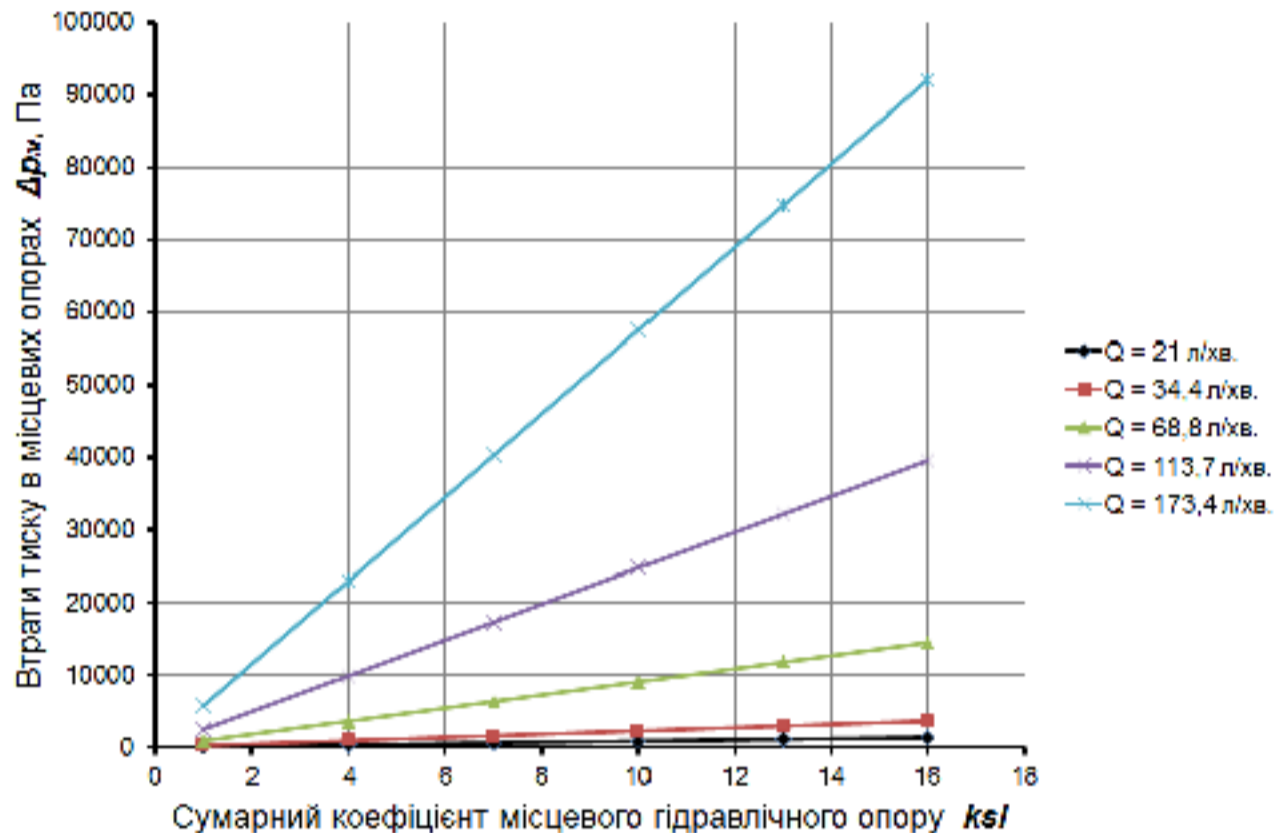


Рисунок 3.3 – Залежності втрат тиску в місцевих опорах  $\Delta p_m$  від сумарного коефіцієнту місцевого гідравлічного опору  $\zeta$  для різних витрат  $Q$  в трубопроводі

На рис. 3.4 представлено залежності втрат тиску по довжині (на тертя)  $\Delta p_{тр}$  від довжини  $\ell$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі. Очевидно, що зі збільшенням довжини трубопроводу  $\ell$  втрати напору і, відповідно, тиску  $\Delta p_{тр}$  також збільшуються. Найбільш похила ця характеристика при  $Q = 173,4$  л/хв. Це пояснюється тим, що при заданій витраті збільшується середня швидкість руху рідини в трубопроводі  $v$  і ламінарний режим руху рідини переходить у турбулентний, відповідно, втрати тиску по довжині  $\Delta p_{тр}$  суттєво збільшуються.

На рис. 3.5 та рис. 3.6 представлено залежності втрат тиску по довжині (на тертя)  $\Delta p_{тр}$  від діаметра  $d$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі. Отримані залежності свідчать, що при збільшенні діаметру  $d$  трубопроводу



втрати тиску по довжині  $\Delta p_{тр}$  зменшуються, оскільки зменшується середня швидкість руху рідини в трубопроводі  $v$ .

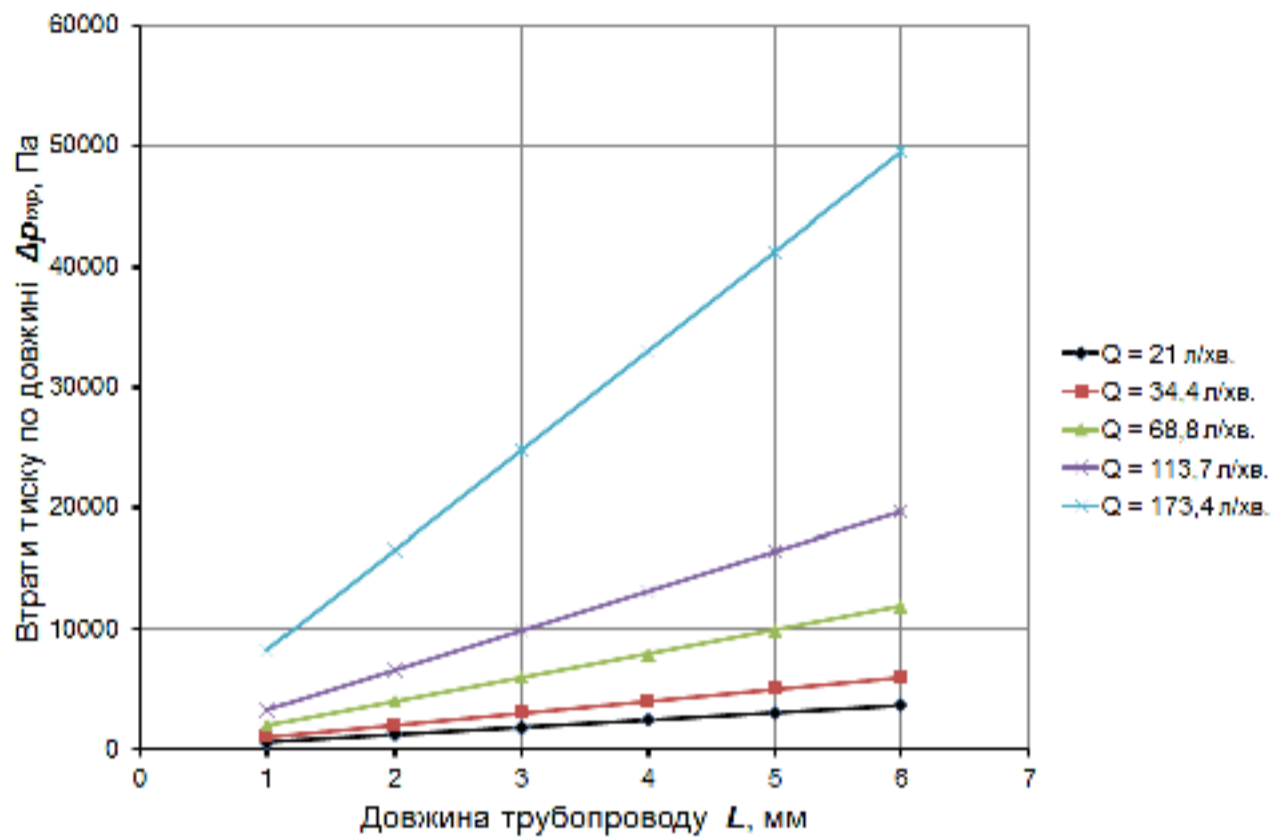


Рисунок 3.4 – Залежності втрат тиску по довжині  $\Delta p_{тр}$  від довжини  $\ell$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі

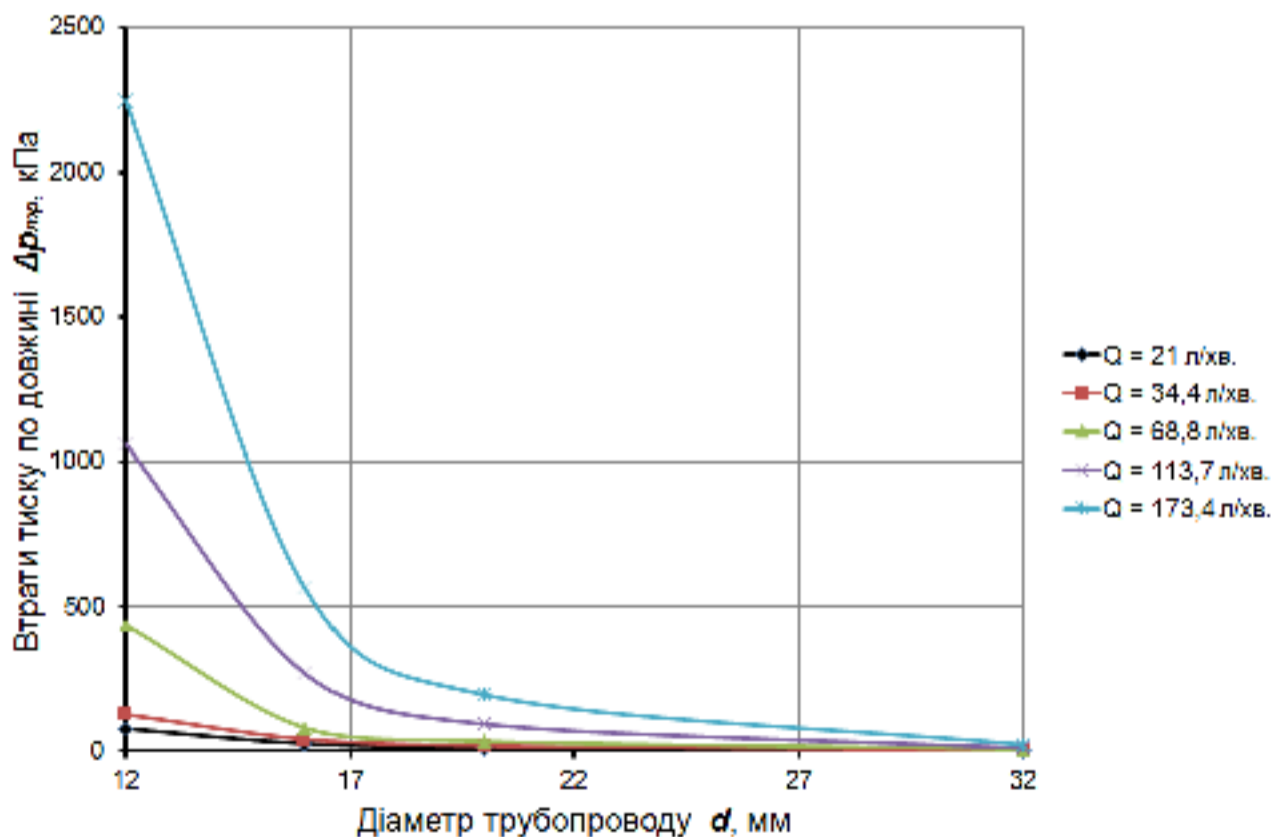


Рисунок 3.5 – Залежності втрат тиску по довжині  $\Delta p_{тр}$  від діаметра  $d$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі (при  $d = 12 \dots 32$  мм)

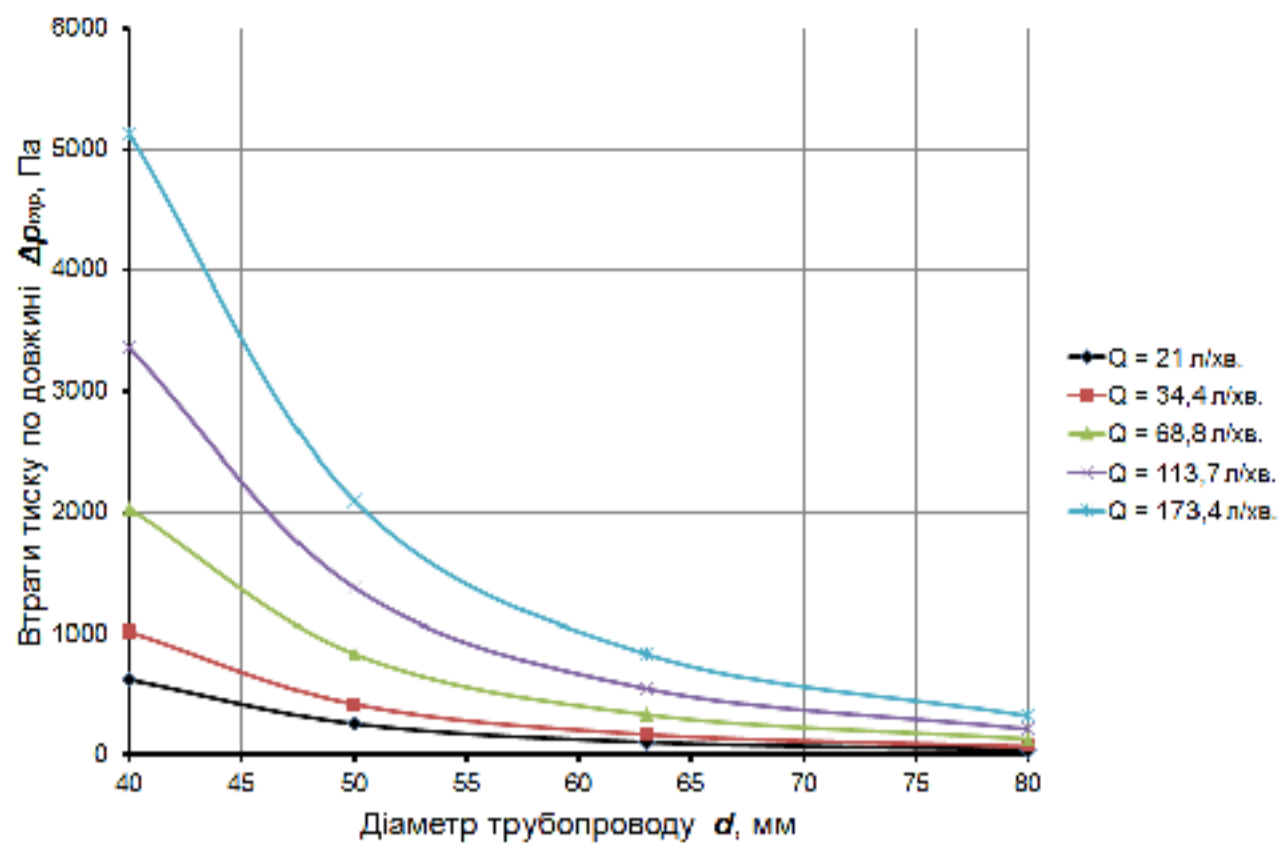


Рисунок 3.6 – Залежності втрат тиску по довжині  $\Delta p_{тр}$  від діаметра  $d$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі (при  $d = 40 \dots 80$  мм)

### 3.5 Висновки

1. Розроблено алгоритм та блок-схему гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі.

2. Розроблено комп'ютерну програму «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі», яка призначена для швидкого і точного розрахунку втрат тиску рідини по довжині трубопроводу при русі рідини в трубопроводі, а також розрахунку втрат тиску на подолання місцевих гідравлічних опорів. Програма може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків у сфері «Гідравліки, гідродинаміки та гідроприводу».

## 4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС НШ10.001»

### 4.1 Розрахунок приведеної програми

Приведена програма може бути розрахована за залежністю [4, 22]:

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

де  $K_{np} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ .

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

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Програма, шт.	Характеристика									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
Корпус НШ10.001 для НШ10 (розрахунковий представник)	2,62	24000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
			-	2	-	1	2	-	4	2	26	8
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-	-
			-	-	1	7	1	16	-	-	-	-
НШ32У	2,5	7000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
			-	2	3	-	1	2	3	-	26	8
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-	-
			2	-	5	1	2	3	8	-	-	-
НШ16	1,5	10000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
			-	3	4	1	-	3	1	1	26	8
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-	-
			2	2	5	1	3	1	5	-	-	-
НШ50	3,5	5000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
			-	2	3	1	3	3	-	3	26	8
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-	-
			2	-	6	1	4	3	5	-	-	-
НШ100	4	5000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
			-	2	2	3	1	-	5	-	26	8
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-	-
			1	-	5	1	4	5	9	-	-	-

Розрахуємо коефіцієнт  $K_1$  для кожного з найменувань виробів. Оскільки в групу об'єднані подібні деталі, то  $K_1$  може бути розрахований за формулою:

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{p.нр}}\right)^2}, \quad (4.2)$$

де  $m$  – маса деталі розглядуваного виробу;

$m_{p.нр}$  – маса розрахункового представника.

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

$$\text{- для НШ32У: } K_{1НШ32У} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\phi}}{m_{p.нр}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,5}{2,62}\right)^2} = 0,96;$$

$$\text{- для НШ16: } K_{1НШ16} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{BK}}{m_{p.нр}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,5}{2,62}\right)^2} = 0,68;$$

$$\text{- для НШ50: } K_{1НШ64} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{CT}}{m_{p.нр}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{3,5}{2,62}\right)^2} = 1,21;$$

$$\text{- для НШ100: } K_{1НШ100} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{HK}}{m_{p.нр}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{4}{2,62}\right)^2} = 1,32.$$

Для визначення коефіцієнта  $K_2$  скористаємося залежністю:

$$K_2 = \left(\frac{N_{нр}}{N_i}\right)^\alpha, \quad (4.3)$$

де  $N$  – програма випуску розглядуваного виробу;

$N_{p.нр}$  – програма випуску розрахункового представника.

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

- для НШ32У:  $K_{2НШ32У} = \left(\frac{N_{p,np}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{24000}{7000}\right)^{0,15} = 1,16;$
- для НШ16:  $K_{2НШ16} = \left(\frac{N_{p,np}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{24000}{10000}\right)^{0,15} = 1,06;$
- для НШ50:  $K_{2НШ64} = \left(\frac{N_{p,np}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{24000}{5000}\right)^{0,15} = 1,26;$
- для НШ100:  $K_{2НШ100} = \left(\frac{N_{p,np}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{24000}{5000}\right)^{0,15} = 1,26.$

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники. Для технологічно подібних деталей визначається за формулами:

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32}, \quad (4.4)$$

$$K_{31} = \left(\frac{\overline{K_T}}{K_{T,pm}}\right)^{\alpha_1} \quad (4.5)$$

$$K_{32} = \left(\frac{\overline{R_{ai}}}{R_{a,pm}}\right) \quad (4.6)$$

Знайдемо значення коефіцієнта  $K_{3,1}$  для кожної деталі:

- для розрахункового представника:

$$\overline{K_{T,np}} = \frac{\sum K_v \cdot n_{kv}}{\sum n_{kv}} = \frac{7 \cdot 2 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 4 + 13 \cdot 2}{2 + 1 + 2 + 4 + 2} = 14,2;$$

- для НШ32У:

$$\overline{K_{T,np}^{НШ32У}} = \frac{\sum K_v \cdot n_{kv}}{\sum n_{kv}} = \frac{7 \cdot 3 + 8 \cdot 3 + 10 \cdot 1 + 11 \cdot 2 + 12 \cdot 3}{3 + 3 + 1 + 2 + 3} = 9,41;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_T^{НШ32У}}}{K_{T,np}}\right)^{\alpha_1} = \left(\frac{9,41}{14,2}\right)^\alpha = 1,04;$$

- для НШ16:

$$\overline{K_{Tr,np}^{НШ16}} = \frac{\sum K_v \cdot n_{кв}}{\sum n_{кв}} = \frac{7 \cdot 3 + 8 \cdot 4 + 9 \cdot 1 + 11 \cdot 3 + 12 \cdot 1 + 13 \cdot 1}{3 + 4 + 1 + 3 + 1 + 1} = 9,23;$$

$$K_{3,1} = \left( \frac{\overline{K_T^{НШ16}}}{\overline{K_{Tr,np}}} \right)^{\alpha_1} = \left( \frac{9,23}{14,2} \right)^{\alpha} = 1,04;$$

- для НШ50:

$$\overline{K_{Tr,np}^{НШ64}} = \frac{\sum K_v \cdot n_{кв}}{\sum n_{кв}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 3 + 11 \cdot 3 + 13 \cdot 3}{2 + 3 + 1 + 3 + 3 + 3} = 14,22;$$

$$K_{3,1} = \left( \frac{\overline{K_T^{НШ64}}}{\overline{K_{Tr,np}}} \right)^{\alpha_1} = \left( \frac{14,220}{14,2} \right)^{\alpha} \approx 1,0;$$

- для НШ100:

$$\overline{K_{Tr,np}^{НШ100}} = \frac{\sum K_v \cdot n_{кв}}{\sum n_{кв}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 3 + 10 \cdot 1 + 12 \cdot 5}{2 + 2 + 3 + 1 + 5} = 14,23;$$

$$K_{3,1} = \left( \frac{\overline{K_T^{НШ100}}}{\overline{K_{Tr,np}}} \right)^{\alpha_1} = \left( \frac{14,23}{14,22} \right)^{\alpha} \approx 1,0.$$

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

- для розрахункового представника:

$$\overline{R_a^{PII}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нос}}{\sum n_{нос}} = \frac{1,6 \cdot 1 + 2,5 \cdot 7 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 16}{1 + 7 + 1 + 16} = 4,92;$$

- для НШ32У:

$$\overline{R_a^{НШ32У}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нос}}{\sum n_{нос}} = \frac{0,8 \cdot 2 + 1,6 \cdot 5 + 2,5 \cdot 1 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 3 + 12,5 \cdot 8}{2 + 5 + 1 + 2 + 3 + 8} = 6,54;$$

$$K_{3,2}^{НШ32У} = 1,00;$$

- для НШ16:

$$\overline{R_a^{НШ16}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нос}}{\sum n_{нос}} = \frac{0,8 \cdot 2 + 1,25 \cdot 2 + 1,6 \cdot 5 + 2,5 \cdot 1 + 3,2 \cdot 3 + 6,3 \cdot 1 + 12,5 \cdot 5}{2 + 2 + 5 + 1 + 3 + 1 + 5} = 4,9;$$

$$K_{3,2}^{НШ16} = 1,00;$$

- для НШ50:

$$\overline{R_a^{НШ64}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нов}}{\sum n_{нов}} = \frac{0,8 \cdot 2 + 1,6 \cdot 6 + 2,5 \cdot 1 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 3 + 12,5 \cdot 5}{2 + 6 + 1 + 4 + 3 + 5} = 5,14;$$

$$K_{3,2}^{НШ64} = 1,00;$$

- для НШ100:

$$\overline{R_a^{НШ100}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нов}}{\sum n_{нов}} = \frac{0,8 \cdot 1 + 1,6 \cdot 5 + 2,5 \cdot 1 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 5 + 12,5 \cdot 9}{1 + 5 + 1 + 4 + 5 + 9} = 6,22;$$

$$K_{3,2}^{НШ100} = 1,00.$$

Знайдемо значення коефіцієнта  $K_3$  для кожної деталі:

- для НШ32У:  $K_{3НШ32У} = K_{3,1}^{\alpha_1} \cdot K_{3,2}^{\alpha_2} = 1,04 \cdot 1 = 1,04;$

- для НШ16:  $K_{3НШ16} = K_{3,1}^{\alpha_1} \cdot K_{3,2}^{\alpha_2} = 1,04 \cdot 1 = 1,04;$

- для НШ50:  $K_{3НШ64} = K_{3,1}^{\alpha_1} \cdot K_{3,2}^{\alpha_2} = 1 \cdot 1 = 1;$

- для НШ100:  $K_{3НШ100} = K_{3,1}^{\alpha_1} \cdot K_{3,2}^{\alpha_2} = 1 \cdot 1 = 1.$

Знайдемо значення коефіцієнта  $K_{np}$  для кожного виробу

- для НШ32У:  $K_{npНШ32У} = 0,96 \cdot 1,26 \cdot 1,04 = 1,26;$

- для НШ16:  $K_{npНШ16} = 0,68 \cdot 1,26 \cdot 1,04 = 0,9;$

- для НШ50:  $K_{npНШ64} = 1,21 \cdot 1,26 \cdot 1,00 = 1,52;$

- для НШ100:  $K_{npНШ100} = 1,32 \cdot 1,26 \cdot 1,00 = 1,66.$

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	
НШ10.001 (р/п)	24000	2,62	1	1	1	1	24000
НШ32У	7000	3	0,96	1,16	1,04	1,16	8110
НШ16	10000	1,5	0,68	1,06	1,04	0,75	7500
НШ50	5000	3,5	1,21	1,26	1	1,52	7623
НШ100	5000	4	1,32	1,26	1	1,66	8300
Всього		-	-	-	-	-	55000

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме:

$$N_{np} = 24000 \cdot 1,0 + 7000 \cdot 1,16 + 10000 \cdot 0,75 + 5000 \cdot 1,52 + 3000 \cdot 1,66 = 55000 \text{ (шт.)}$$

#### 4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Кількість верстатів при непотоковій формі організації роботи:

$$C_p = \frac{T_{c\Sigma}}{\Phi_\partial}, \text{ [шт.]} \quad (4.7)$$

де  $T_c$  – сумарна верстатомісткість обробки річної кількості деталей, верстато-годин;

$\Phi_\partial$  – річний дійсний фонд часу роботи верстата, год.

Сумарна верстатомісткість обробки:

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m T_{um-k,ij} \cdot N_i}{60}, \text{ [год.]} \quad (4.8)$$

де  $k$  – кількість різних деталей, що обробляються на верстатах даного типорозміру;

$m$  – кількість операцій обробки  $i$ -ї деталі на верстатах даного типорозміру;

$N_i$  – річна приведена програма випуску  $i$ -х деталей.

Розрахуємо кількість верстатів для обробки деталі «Корпус НШ10.001» для насосу НШ10 при  $N = 24000$  шт.

$$T_{c1} = \frac{13,5 \cdot 24000}{60} = 5400 \text{ (год.)};$$

$$T_{c2} = \frac{5,86 \cdot 24000}{60} = 2344 \text{ (год.)};$$



$$T_{c3} = \frac{2,08 \cdot 24000}{60} = 832 \text{ (год.)}$$

Розрахункова кількість верстатів:

$$C_{p1} = \frac{5400}{3890} = 1,39 \text{ (шт.); } C_{p2} = \frac{2344}{3890} = 0,6 \text{ (шт.);}$$

$$C_{p3} = \frac{832}{3890} = 0,21 \text{ (шт.)}$$

Розрахуємо кількість верстатів для обробки деталей приведеної програми.

$$T_{c1} = \frac{13,5 \cdot 55000}{60} = 12375 \text{ (год.); } T_{c2} = \frac{5,86 \cdot 55000}{60} = 5371,67 \text{ (год.);}$$

$$T_{c3} = \frac{2,08 \cdot 55000}{60} = 1907 \text{ (год.)}$$

Розрахункова кількість верстатів:

$$C_{p1} = \frac{12375}{3890} = 3,18 \text{ (шт.),} \quad C_{np1} = 4 \text{ шт.,}$$

$$C_{p2} = \frac{5371,67}{3890} = 1,38 \text{ (шт.),} \quad C_{np2} = 2 \text{ шт.,}$$

$$C_{p3} = \frac{1907}{3890} = 0,49 \text{ (шт.),} \quad C_{np3} = 1 \text{ шт.}$$

Коефіцієнт завантаження верстатів:

$$\eta_3 = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.9)$$

$$\eta_{31} = \frac{3,18}{4} = 0,8; \quad \eta_{32} = \frac{1,38}{2} = 0,69; \quad \eta_{33} = \frac{0,49}{1} = 0,49;$$

$$\eta_{зсер} = \frac{0,8 + 0,69 + 0,49}{3} = 0,66.$$

Коефіцієнт використання за основним часом:

$$\eta_{осн} = \frac{T_{осн}}{T_{шт.к}}, \quad (4.10)$$

$$\eta_{осн1} = \frac{11,65}{13,5} = 0,86; \quad \eta_{осн2} = \frac{4,88}{5,86} = 0,83; \quad \eta_{осн3} = \frac{1,61}{2,08} = 0,77;$$

$$\eta_{оснсер} = \frac{0,86 + 0,83 + 0,77}{3} = 0,82.$$

#### 4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рис. 4.1. Графік використання обладнання за основним часом показаний на рис. 4.2.

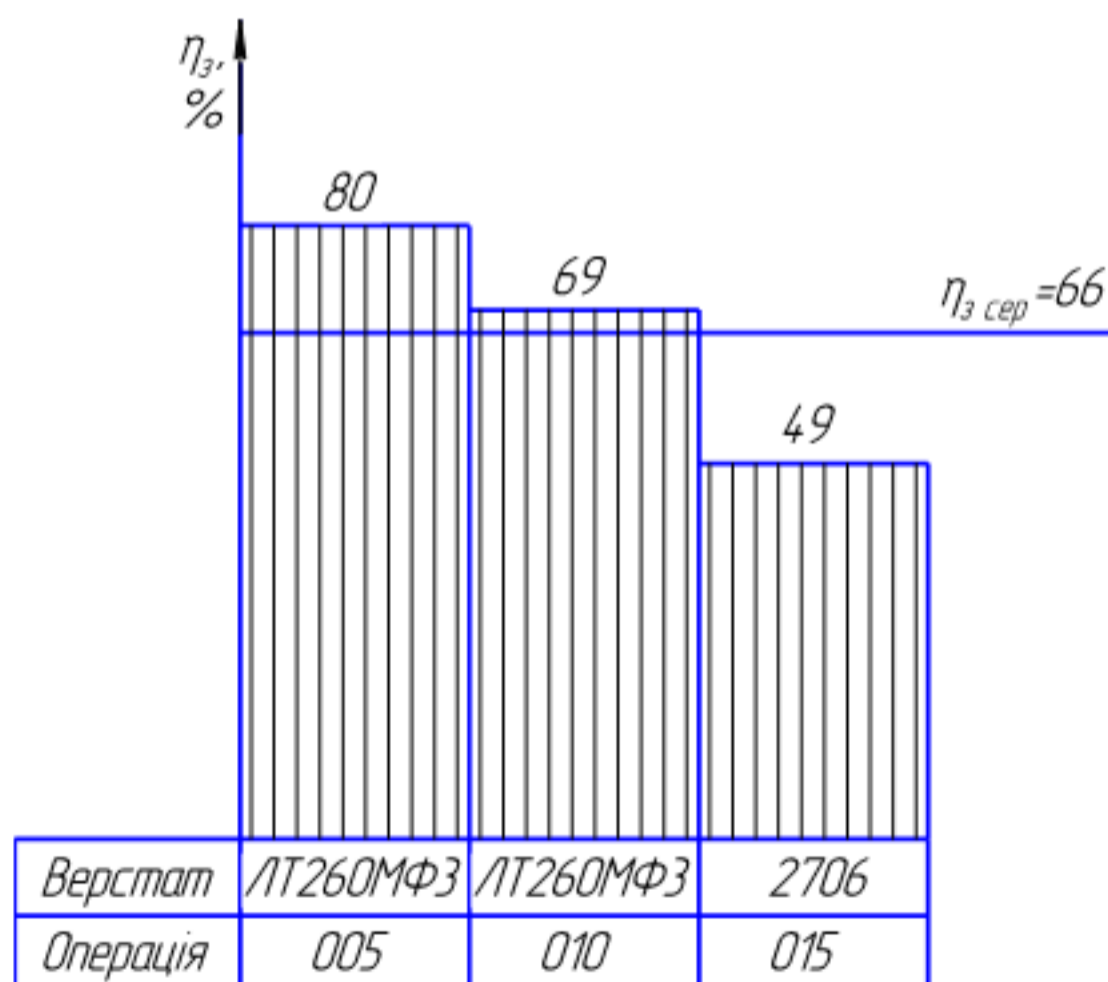


Рисунок 4.1 – Графік завантаження верстатів

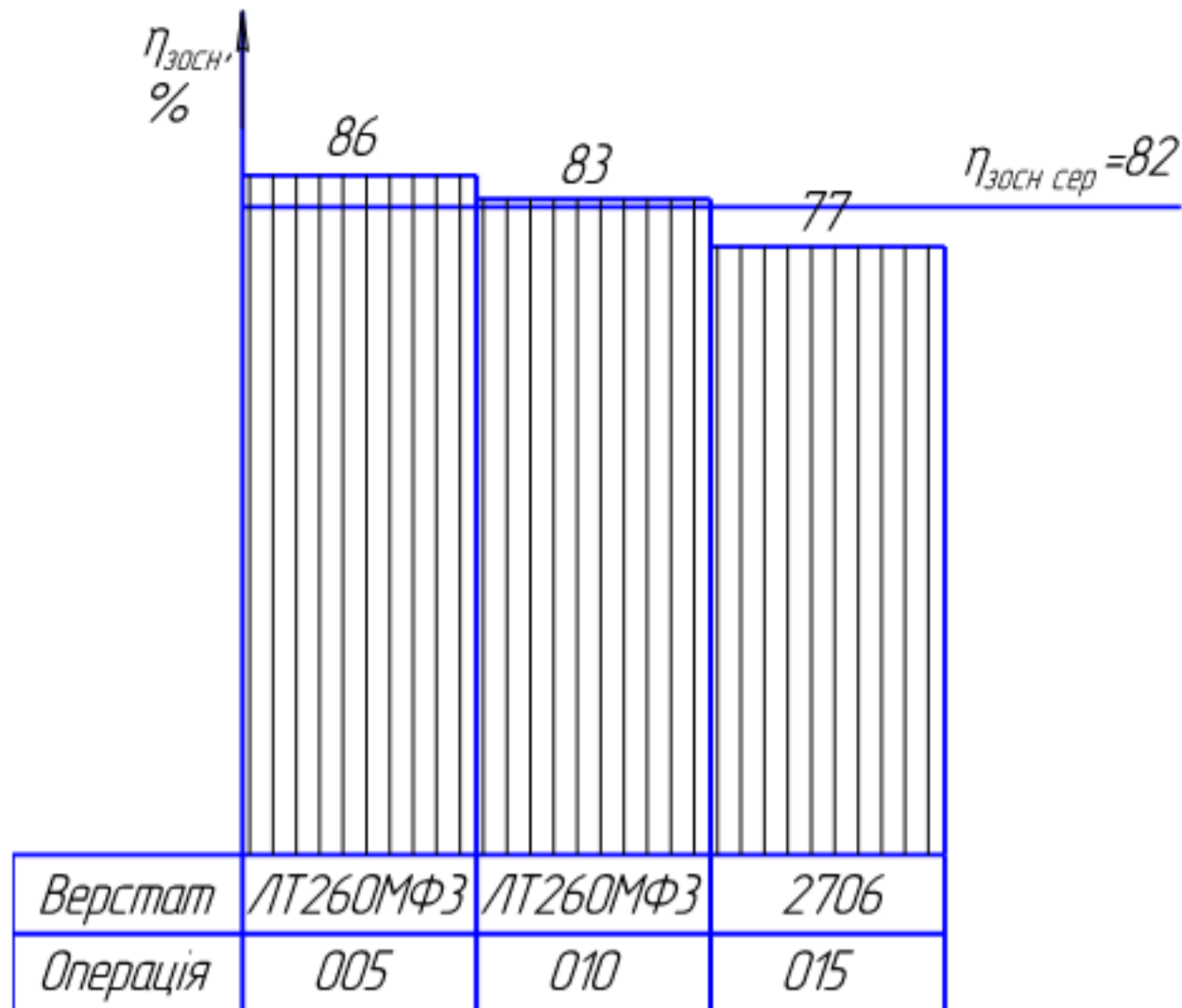


Рисунок 4.2 – Графік використання за основним часом

Висновок. Згідно графіка завантаження видно, що верстати мають досить високий процент завантаження. Це свідчить про те, що верстати справляються з виготовленням річної програми випуску деталей, а також можуть паралельно обробляти ще й інші заготовки, на операції розточувальній (верстат 2706). При виконанні технологічного процесу основний час використовується раціонально, про що свідчить досить високий коефіцієнт використання основного часу на всіх операціях, що підтверджує раціональну побудову операцій.

#### 4.4 Визначення кількості працівників на дільниці [4, 22]

Розраховуємо кількість основних робітників на кожній операції технологічного процесу:

$$P = \frac{C_{np} \cdot \Phi_{\partial} \cdot K_z}{\Phi_{\kappa} \cdot K_m}, [\text{чол}] \quad (4.11)$$

де  $C_{пр}$  – прийнята кількість верстатів;

$\Phi_o$  – ефективний річний фонд роботи верстатника;

$K_m$  – коефіцієнт багатостатного обслуговування – середнє число верстатів, що обслуговується одним робітником.

$$P_{005} = \frac{4 \cdot 3890 \cdot 0,8}{1860 \cdot 2} = 3,35 \approx 4 \text{ (чол.)};$$

$$P_{010} = \frac{2 \cdot 3890 \cdot 0,69}{1860 \cdot 2} = 1,44 \approx 2 \text{ (чол.)};$$

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,49}{1860 \cdot 1} = 1,02 \approx 1 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо кількість основних робітників  $\sum P = 7$ .

Визначаємо кількість допоміжних робітників.

Їх кількість може бути визначена у відсотках (20...25%) від сумарної кількості основних робітників:

$$P_{доп} = P_{осн} \cdot 0,25 = 7 \cdot 0,25 = 1,75 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 2 допоміжних робітника.

Визначаємо необхідну кількість інженерно-технічних робітників.

Для механічних цехів їх кількість може бути визначена у відсотках (22...16%) від сумарної кількості прийнятих верстатів:

$$P_{ІТР} = C_{пр} \cdot 0,15 = 7 \cdot 0,22 = 1,54 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо двох інженерно-технічних робітників.

Визначаємо необхідну кількість службовців.

Їх кількість може бути визначена у відсотках (0,9...1,9%) від сумарної кількості основних робітників:

$$P_{СКП} = P_{осн} \cdot 0,019 = 7 \cdot 0,019 = 0,133 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо одного бухгалтера на 0,25 ставки, а на 0,75 ставки він працюватиме на інших дільницях.

Загальну кількість працюючих зводимо у таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Загальна кількість працюючих

Працюючі (категорія)	Загальна кількість	Розподіл по професіям	Розподіл по змінам
Основні робітники	7	-	4 (1-ша зміна) 3 (2-га зміна)
Допоміжні робітники	2	2 контролер	1 (1-ша зміна) 1 (2-га зміна)
ІТР	2	2 технолог	1 (1-ша зміна) 1 (2-га зміна)
СКП	1	1 бухгалтер	1 (1-ша зміна)
МОП	1	1 прибиральник	1 (1-ша зміна)

## 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС НШ10.001»

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної 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 [23].

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	1	2
2	1	1	2
3	2	3	2
4	1	2	1
5	2	3	3
6	2	2	1
7	4	3	3
8	2	2	1
9	3	3	4
10	2	2	3
11	2	2	4
12	3	4	4
Сума балів	$СБ_1 = 26$	$СБ_2 = 28$	$СБ_3 = 30$
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{26 + 28 + 30}{3} = 28$		

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	8			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:

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

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

$$K_{\text{я.а.}} = 8 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 8,1.$$

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.	12	7	1,71	0,4
Кількість основних робітників, чол.	14	7	2	0,2
Середній розряд робітників	4,5	3	1,5	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,51	0,66	1,29	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,7	0,82	1,17	0,15
Собівартість заготовки, грн.	147,83	98,74	-	-

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

$$q_i = \frac{P_{ni}}{P_{bi}}, \quad (5.2)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}}, \quad (5.3)$$

де  $P_{Hi}$ ,  $P_{Bi}$  – числові значення  $i$ -го параметра відповідно нового і базового виробів.

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{я.в.} = 1,71 \cdot 0,4 + 2,0 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,1 + 1,29 \cdot 0,15 + 1,17 \cdot 0,15 = 1,6.$$

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:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \quad (5.5)$$

де  $I_{m.n.}$  – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);  $I_{e.n.}$  – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

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

де  $P_{Hei}$ ,  $P_{Bei}$  – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Якщо  $K > 1$ , то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння; якщо  $K < 1$ , то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо  $K = 1$ , то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів.

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 1,6. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{98,74}{147,83} = 0,67.$$

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

$$K = \frac{1,6}{0,67} = 2,39.$$

Оскільки  $K > 1$ , то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Корпус НШ10.001» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»

### 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 [23]:

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

де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;

$Z_{дод}$  – додаткова заробітна плата розробників, грн.;

$Z_n$  – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

$B_{буд}$  – вартість будівлі, що її займає дільниця, грн.;

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

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

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

$B_{инв}$  – вартість виробничого та господарчого інвентарю, грн.;

$B_{пу}$  – вартість програм управління, грн.;

$B_{не}$  – передвиробничі витрати, грн.;  $B_{оз}$  – вартість оборотних засобів, грн.

### 5.2.2 Основна заробітна плата розробників

Витрати на основну заробітну плату розробників ( $Z_o$ ) розраховують за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p} \text{ [грн.]}, \quad (5.8)$$

де  $k$  – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;

$t_i$  – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p = 22$  дні.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	9500	431,82	10	4318,2
Інженер-технолог	8500	386,36	8	3090,1
Інженер-конструктор	8500	386,36	3	3090,1
Економіст	8500	386,36	2	772,72
Всього $Z_o$				11271,12

### 5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_o \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 11271,12 = 1127,11 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок розробників  $Z_n$  розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{\text{zn}} \text{ [грн.]}, \quad (5.10)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$Z_n = (11271,12 + 1127,11) \cdot 0,22 = 2727,61 \text{ (грн.)}$$

### 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:

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

де  $C_{пл}$  – приблизна вартість переобладнання 1 м<sup>2</sup> власних приміщень ( $C_{пл} \approx 200 \dots 1000$  грн./м<sup>2</sup>);

$S_{заг}$  – загальна площа виробничої ділянки, м<sup>2</sup>.

$$B_{буд.} = 600 \cdot 175 = 105000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

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

де  $C_i$  – ціна придбання одиниці обладнання даного виду, марки, грн.;

$C_{пр.i}$  – прийнята кількість одиниць обладнання відповідного найменування, які встановлені на ділянці, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що ураховує доставку, монтаж, налагодження обладнання тощо, ( $K_i = 1,10 \dots 1,12$ ; для промислових робіт  $K_i = 1,3 \dots 1,5$ );

$k$  – кількість найменувань обладнання встановленого на ділянці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	$K_i$	Вартість, грн.
1	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	450000	6	1,1	2970000
2	Алмазно-розточувальний верстат 2706	440000	1	1,1	484000
Всього					3454000

Придбані верстати були у використанні.

Верстат 6P13Б є на ділянці, тому кошти на нього не витрачаються.

Реалізуємо верстати, що були на базовій ділянці:

- 3 верстати 16K20 –  $3 \cdot 75000 = 225000$  (грн.);
- 4 верстати 6P13 –  $4 \cdot 70000 = 280000$  (грн.);
- 2 верстати 2H135 –  $2 \cdot 50000 = 100000$  (грн.);
- 1 верстат 1K62 – 60000 грн.;
- 1 верстат БТ-01 – 50000 грн.;
- 1 верстат 16E16КП – 80000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 795000 грн. Отже, витрати на обладнання

$$O = 3454000 - 795000 = 2659000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

Для організації технологічного процесу додаткові транспортні засоби не плануються, тому їх вартість розраховувати не будемо.

### 5.2.8 Початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів

При укрупнених розрахунках витрати на інструмент і інше технологічне оснащення приймаються у відсотках від вартості основного технологічного обладнання і складають у серійному виробництві загального машинобудування – 10...15%.



Вартість інструментів і технологічного оснащення ( $B_{то}$ ) розраховують за формулою:

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

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

$K_n$  – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{то} = 2659000 \cdot 0,10 = 265900 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осв} = 265900 \cdot 0,25 = 66475 \text{ (грн.)}$$

Вартість контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів ( $B_{кнт}$ ), не закріплених за окремими робочими місцями і обслуговуючих одночасно всю ділянку, встановлюють пропорційно вартості інструменту і технологічного оснащення в межах 6...12% та розраховують за формулою:

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

$$B_{кнт} = 0,1 \cdot 265900 = 26590 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осн} = 265900 + 66475 + 26590 = 358965 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

Розрахунки не ведуться адже інвентар залишається той самий що і до удосконалення.

### 5.2.10 Вартість програм керування

Вартість програм керування для обладнання з ЧПК ( $B_{ny}$ ) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

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

$$B_{ny} = 0,1 \cdot 840000 = 84000 \text{ (грн.)}$$

### 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:

$$\begin{aligned} K &= 11271,12 + 1127,11 + 2727,61 + 105000 + 2659000 + 358965 + 265900 = \\ &= 3403990,84 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

### 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 «Корпус НШ10.001» складає 98,74 грн. (див. розділ 2).

#### 5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховують за формулою:

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

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеній  $i$ -й технологічній операції, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на визначеній  $i$ -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії,  $C_e = 5,1$  грн.;

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

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

Проведені розрахунки бажано звести до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК, ЛТ260МФ3	5,5	0,194	5,44
010 Вертикально-фрезерна з ЧПК, ЛТ260МФ3	5,5	0,081	2,27
Алмазно-розточувальна, 2706	4	0,027	0,55
Всього			Σ 8,26

### 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:

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

де  $M_M$  – розмір мінімальної місячної заробітної плати,  $M_M = 6000$  грн. (на 01.01.2021 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;

$t_{zm}$  – тривалість зміни, год.

$$C = (6000 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 69,03 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд робот и	Тарифний коефіцієн т	Погодинн а тарифна ставка, грн.	Величин а оплати, грн.
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК, ЛТ260МФ3	0,194	3	1,35	69,03	13,39
010 Вертикально-фрезерна з ЧПК, ЛТ260МФ3	0,081	3	1,35	69,03	5,59
Алмазно-розточувальна, 2706	0,027	3	1,35	69,03	1,86
Всього					Σ 20,84

#### 5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

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

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 20,84 = 2,08 \text{ (грн.)}$$

#### 5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок робітників  $Z_n$  розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{zn} \text{ [грн.],} \quad (5.22)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$Z_n = (20,84 + 2,08) \cdot 0,22 = 5,04 \text{ (грн.)}$$

#### 5.3.6 Розрахунок загальноновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{\text{заг}} = H_{\text{зв}} \cdot Z_p \text{ [грн.];} \quad (5.23)$$

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 20,84 = 52,1 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	$M$	98,74
Витрати на силову електроенергію, грн.	$B_e$	8,26
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$Z_p$	20,84
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$Z_{\text{дод}}$	2,08
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$Z_{\text{н}}$	5,04
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	52,1
Всього	$S_e$	187,06

#### 5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

##### 5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

$$Ц_{\text{нф}} = S_e \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) \text{ [грн.],} \quad (5.24)$$

де  $Ц_{\text{нф}}$  – нижня межа ціни реалізації виробу, грн.;

$S_e$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

$P$  – нормативний рівень рентабельності, рекомендується приймати  $P = 5...20\%$ ;

$w$  – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2021 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.

$$C_{\text{впр}} = 187,06 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 269,37 \text{ (грн.)}$$

#### 5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ( $C_{\text{впр}}$ ) 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  $C_{\text{впр}} = 269,37$  грн.

#### 5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

$S_s$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

$f$  – зустрічна ставка податку на додану вартість,  $f = 16,67\%$ ;

$h$  – ставка податку на прибуток,  $h = 18\%$ ;

$q$  – норматив, який визначає величину адміністративних витрат, витрат на збут та інші операційні витрати,  $q = 5...10\%$ ;

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

$$\Pi = \left\{ \left[ 269,37 - \frac{(269,37 - 98,74) \cdot 16,67}{100} - 187,06 - \frac{10 \cdot 187,06}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 55000 =$$

$$= 1585715,05 \text{ (грн.)}$$

## 5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

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

### 5.6.1 Розрахунок чистого дисконтованого доходу

Дана модернізація передбачає одноразові капітальні вкладення, тому NPV можна визначити за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.]}, \quad (5.26)$$

де  $\Pi_t$  – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у  $t$ -му році функціонування проекту, грн.;

$K$  – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення (проект), грн.;

$d$  – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції;



$n$  – термін протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

$t$  – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$NPV = \frac{1585715,05}{(1+0,2)^1} + \frac{1585715,05}{(1+0,2)^2} + \frac{1585715,05}{(1+0,2)^3} + \frac{1585715,05}{(1+0,2)^4} - 3403990,84 = 701004,53 \text{ (грн.)}$$

Враховуючи, що  $NPV > 0$ , то проект можна рекомендувати до реалізації.

### 5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

Мінімальне можливе значення внутрішньої норми доходності проекту  $IRR_{MIN}$  розраховується такою формулою:

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (P_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (5.27)$$

де  $P_t$  – 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.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{1585715,05 + 1585715,05 + 1585715,05 + 1585715,05}{3403990,84}} - 1 = 0,17.$$

### 5.6.3 Розрахунок терміну окупності

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

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

де  $K$  – величина капітальних вкладень для розробки нової технології грн.,

$\Delta K$  – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

$П$  – прибуток, отриманий виробником за 1 рік продажу продукції, виробленої з застосуванням нового технологічного процесу, грн.

$$T_o = \frac{3403990,84}{1585715,05} = 2,15 \text{ (року)}.$$

## 5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001», 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 3403990,84 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 1585715,05 грн., термін окупності 2,15 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001» доцільне для впровадження.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ 10.001.» буде відбуватися в приміщенні, яке обладнане спеціальними робочими місцями. На розробника, згідно ГОСТ 12.0.003-74 [25], можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпечного виконання роботи.

### 6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання дослідження

#### 6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Робочі місця повинні відповідати загальним вимогам, затвердженим наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 25 січня 2012 року № 67, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 14 лютого 2012 року за № 226/20539 (НПАОП 0.00-7.11-12). Організація робочих місць повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» та ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам». Параметри мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень, підприємств, закладів, установ повинні відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від

1 грудня 1999 року № 42 (ДСН 3.3.6.042-99). Рівень шуму на робочих місцях повинен відповідати нормам. Загальні вимоги безпеки щодо захисту від шуму на робочих місцях, шумових характеристик машин та механізмів повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.107-85 «ССБТ. Шум. Станки металлорежущие. Допустимые шумовые характеристики». На робочих місцях необхідно здійснювати контроль рівня шуму відповідно до вимог ГОСТ 12.1.050-86 «ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах» та ДСТУ 2867-94 «Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги».

У робочій зоні виробничих приміщень вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати граничнодопустимих концентрацій, встановлених вимогами ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Системи керування устаткуванням повинні відповідати вимогам ГОСТ 9146-79 «Станки. Органы управления. Направление действия», ДСТУ 7248:2011 «Дизайн і ергономіка. Маховики і штурвали керування. Загальні вимоги ергономіки», ДСТУ 7249:2011 «Дизайн і ергономіка. Важелі керування. Загальні вимоги ергономіки», ГОСТ 22269-76 «Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования», ГОСТ 22613-77 «Система «человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования», ГОСТ 22614-77 «Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования», ГОСТ 22615-77 «Система «человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования», ГОСТ 12.4.026-76, ГОСТ 12.4.040-78 «ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Обозначения».

Майданчики для обслуговування, сходи та елементи їх конструкцій повинні відповідати вимогам чинного законодавства.

Оброблення виробів з титану, магнію і їх сплавів необхідно виконувати в окремих приміщеннях, обладнаних загальнообмінною вентиляцією.

Транспортування заготовок і деталей повинно здійснюватися в індивідуальній тарі з відповідними написами.

У приміщеннях, де виконуються роботи з берилієм і його сплавами, повинно проводитися регулярне вологе прибирання [29].

### 6.1.2 Електробезпека приміщення

В приміщенні лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв ПК й устаткування для обслуговування, ремонту й налагодження ПК виконана як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазових, нульових робочих і нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення електроприймачів.

Нульовий захисний провідник прокладається від стійки групового розподільного щита, розподільного пункту до розеток електроживлення. Не допускається підключати на щиті до одного контактного затискача нульовий робочий та нульовий захисний провідники. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі має бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники відповідають номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту.

Периферійні пристрої, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники), електропроводи та кабелі за виконанням і ступенем захисту відповідають класу зони, мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів. Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, застосовувати негорючу ізоляцію.

Приміщення, в якому відбуватиметься дослідження за класом електробезпеки – це приміщення без підвищеної небезпеки, оскільки фактори підвищеної та особливої небезпеки на робочому місці відсутні [28].

Покриття плит підлоги гладке, міцне, антистатичне, зручним для очищення пилососом та для проведення вологого прибирання. Необхідно забезпечувати відвід статичних зарядів з покриття підлоги. Для протирання підлоги застосовують рідини, пари яких не утворить вибухо- та пожеженобезпечних сумішей з повітрям і не викликає корозії контактів електричних сполук [29].

Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом таким чином, щоб уникнути заплутування проводів у конструкціях машин, приладів і меблів.

## 6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 6.2.1 Мікроклімат

Робота дослідника за енерговитратами відноситься до категорії 1а [24].

Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а 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 підтримки оптимального рівня мікроклімату в приміщенні передбачено систему кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури, систему центрального опалення та систематичне вологе прибирання приміщення.

### 6.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється розробка, можливими шкідливими речовинами у повітрі є фенол, пил, озон та вуглекислий газ. Джерелами цих

речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, згідно ДСН 3.3.6.042-99 [31] які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4
Вуглекислий газ	3	1	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup>	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

### 6.2.3 Виробниче освітлення

Виробничі приміщення, повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 [27].

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні (згідно ДБН В.2.5-28-2006 [27]) зазначені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, $e_n$ , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Штучне освітлення в приміщенні здійснюється системою загального рівномірного освітлення. У разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення). Зазначення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк. Якщо ці значення освітленості неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення. При цьому світильники місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати відблисків на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300 лк. Як джерела світла в разі штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Для забезпечення достатнього освітлення слід максимально використовувати бічне природного освітлення, систематично очищувати скло від бруду та систематично замінювати перегорілі лампи.

#### 6.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму під час розробки методів підвищення пропускної здатності телекомунікаційних систем передавання є працююча техніка та транспорт, який рухається ззовні приміщення.



Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [30].

Таблиця 6.5 – Рівень звукового тиску

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 зниження шуму в приміщенні, необхідно:

– безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі та стін;

– для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори;

– встановити металопластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

#### 6.2.5 Виробничі випромінювання

Робоче місце розробника спектрально-просторових методів виявлення та оцінювання параметрів радіосигналів. передавання обладнане ПК, який є джерелом електромагнітного випромінювання.

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань від ПК на організм працівника залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму.

Електромагнітні випромінювання, випромінювані відеодисплейним терміналом, мають широкий діапазон частот. Відповідно до стандартів, електромагнітне випромінювання повинне бути виміряне в діапазоні частот від 5 Гц до 400 кГц. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля для працівника становлять наведені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатистичного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії, Вт/кв.м
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/м	
Напруженість електромагнітного поля 60 кГц до 3 мГц	50	5	
Напруженість електромагнітного поля 3 кГц до 30 мГц	20		
Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 50 мГц	10	0,3	
Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 300 мГц	5		
Напруженість електромагнітного поля 300 кГц до 300 гГц			10 Вт/кв.м
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-С (220 — 280 нм)			0,001
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-В (280 — 320 нм)			0,01
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-А (320 — 400 нм)			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в видимій частині спектру 400 — 760 нм			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в інфрачервоній частині спектру 0,76 — 10,0 мкм			35,0 — 70,0
Напруженість електричного поля відеодисплейного терміналу			20 кВ/м

Для обмеження впливу ЕМП на розробника слід використовувати лише якісну техніку із сертифікатом якості і дотримуватися встановленого часу роботи за ПК.

### 6.2.6 Напруженість праці

Основними показниками напруженості праці є: тривалість зосередження уваги або щільність сигналів, ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб або ступінь відповідальності за життя інших осіб, змінність при роботі виключно в нічну зміну.

Гігієнічна оцінка важкості та напруженості праці проводиться шляхом додавання відношень вимірних або розрахованих показників до їх допустимих рівнів, помножених на коефіцієнт значимості показника (1,0 – для основних показників, 0,15 – для допоміжних).

Клас та ступінь важкості й напруженості праці визначаються відповідно до розрахованих балів (сума відношень основних та допоміжних показників до їх нормативних рівнів, помножених на відповідний коефіцієнт) згідно з таблицею 6.7

Найвищі клас та ступінь за факторами «важкість» або «напруженість» трудового процесу – 3 клас, 3 ступінь (особливо важка або особливо напружена праця) [29].

Таблиця 6.7 – Класи умов праці за показниками напруженості праці

№ з/п	Показники напруженості трудового процесу	Класи умов праці			
		оптимальний (напруженість праці легкого ступеня)	допустимий (напруженість праці середнього ступеня)	шкідливий (напружена праця)	
		1	2	3.1	3.2
1	2	3	4	5	6
1*	Інтелектуальні навантаження				
1.1	Зміст роботи	Відсутня необхідність прийняття рішення	Рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією	Рішення складних завдань з вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій)	Евристична (творча) діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму; особисте керівництво в складних ситуаціях

Продовження таблиці 6.7

1	2	3	4	5	6
1.2	Сприймання сигналів (інформації) та їх оцінка	Сприймання сигналів, але немає потреби в корекції дій	Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій	Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів	Сприймання сигналів з наступною комплексною оцінкою взаємопов'язаних параметрів. Комплексна оцінка всієї виробничої діяльності
1.3	Розподіл функцій за ступенем складності завдання	Обробка та виконання завдання	Обробка, виконання завдання та його перевірка	Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання	Контроль та попередня робота з розподілу завдань іншим особам
1.4	Характер виконуваної роботи	Робота за індивідуальним планом	Робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності	Робота в умовах дефіциту часу	Робота в умовах дефіциту часу та інформації з підвищеною відповідальністю за кінцевий результат
2	Сенсорні навантаження	-	-	-	-
2.1	Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	До 50	51-75	Більше 75	-
2.2	Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за 1 годину роботи	До 150	151-300	Більше 300	-
2.3	Навантаження на зоровий аналізатор	-	-	-	-
2.3.1	Розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни	Більше 5 мм 100% часу	5,0-1,1 мм більше 50% часу; 1,0-0,3 мм до 50% часу; менше 0,3 мм до 25% часу	1,0-0,3 мм більше 50% часу; менше 0,3 мм 25-50% часу	Менше 0,3 мм більше 50% часу, у тому числі з використанням оптичних приладів
2.3.2	Спостереження за екранами відеотерміналів, годин на зміну	До 2	До 4	> 4,1-6	Більше 6

Продовження таблиці 6.7

1	2	3	4	5	6
2.4	Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів)	Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%	Розбірливість слів та сигналів від 90% до 70%	Розбірливість слів та сигналів від 50% до 70%	Розбірливість слів та сигналів менше 50%
2.5	Навантаження на голосовий апарат, сумарна кількість годин, з напруженням голосового апарату протягом тижня	До 16	Від 16 до 20	Від 20 до 25	Більше 25
3	Емоційне навантаження	-	-	-	-
3.1	Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки	Є відповідальним за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника	Є відповідальним за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстра тощо)	Є відповідальним за функціональну якість основної роботи (завдання). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади тощо)	Є відповідальним за функціональну якість кінцевої продукції, роботи, завдання. Неправильні рішення можуть призвести до пошкодження обладнання, зупинки технологічного процесу, можливої небезпеки для життя
3.2	Ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб	Виключений	-	-	Вірогідний
3.3	Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб	Виключений	-	Є відповідальним за безпеку	-
4	Монотонність навантажень	-	-	-	-
4.1	Кількість елементів (приймів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово	Більше 10	10-6	5-2	-

Продовження таблиці 6.7

1	2	3	4	5	6
4.2	Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються, с	Більше 100	100-25	24-2	-
4.3	Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни	Менше 75	76-90	91-95	-
5	Режим праці	-	-	-	-
5.1	Тривалість робочого дня, год.	6 або 7	8	Більше 8	-
5.2	Змінність роботи	Однозмінна робота (без нічної зміни)	Двозмінна робота (без нічної зміни)	Тризмінна робота (з роботою в нічну зміну)	Нерегулярна змінність з роботою в нічний час, робота виключно в нічну зміну**

Згідно з наведеними даними таблиці 6.7 при плануванні розпорядку робочого дня і навантаження на працівника потрібно враховувати всі умови оптимальних умов праці.

### 6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Оцінка безпеки роботи апаратної частини ЧПК верстата ЛТ260МФ3 дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус НШ10.001» в умовах дії небезпечних чинників надзвичайних ситуацій.

#### 6.3.1 Дія іонізуючих та електромагнітних випромінювань на електронні та електричні системи

Дію іонізуючих випромінювань на матеріали та вироби можливо розділити на імпульсну (протікає дуже короткий час) і безперервну (тривалий час). Між впливом імпульсної радіації, що виникає в результаті ядерного вибуху, і

безперервної радіації, що діє на об'єктах з ядерними енергетичними установками і космічні об'єкти, існує велика різниця. Вплив безперервної проникаючої радіації призводить до поступової необоротної зміни електричних параметрів виробів електронної техніки, що викликається в основному зсувами атомів, тобто порушеннями в структурі матеріалу, а також незначною зміною хімічного складу (активацією). Імпульсна радіація, яка діє короткий час ( $10^{-7} - 10^{-3}$  с.) разом з незворотною зміною електричних параметрів виробів електронної техніки аналогічно впливу безперервної проникаючої радіації, створює дуже велику щільність іонізації як в самих опромінюваних виробках, так і навколо виробів (іонізація повітря). Це, як правило, призводить до оборотної зміни електричних параметрів виробів. Тому в умовах впливу іонізуючого випромінювання виникатимуть незворотні зміни електричних параметрів матеріалів і виробів електронної техніки, що залежать від інтегрального потоку частинок або дози опромінення та зворотні, що залежать від щільності потоку або потужності дози.

Суттєвий вплив на роботу електронних систем та обладнання має електромагнітне випромінювання.

Для зниження інтенсивності впливу цих випромінювань на різні системи можна вжити інженерно-технічні захисні заходи, що будуються на використанні явища екранування електромагнітних полів безпосередньо в місцях розташування обладнання або на заходах щодо обмеження емісійних параметрів джерела поля. Цей вид випромінювання має високу проникну здатність.

Для захисту обладнання, що розташоване в відкритих приміщеннях здійснюється екранування оглядових вікон, вікон приміщень, перегородок застосовується металізованим склом, що володіє екрануючими властивостями. Така властивість склу додає тонка прозора плівка з оксидів металів, частіше за все олово, або металів - мідь, нікель, срібло і їх поєднання. Плівка володіє достатньою оптичною прозорістю і хімічною стійкістю. Будучи нанесеною на одну сторону поверхні скла вона ослабляє інтенсивність випромінювання в діапазоні 0,8 - 150 см на 30 Дб (у 1000 разів). При нанесенні плівки на обидві поверхні скла ослаблення досягає 40 Дб (у 10000 разів). Для захисту обладнання від дії

електромагнітних випромінювань в будівельних конструкціях, як захисні екрани можуть застосовуватися металева сітка, металевий лист або будь-яке інше провідне покриття, у тому числі і спеціально розроблені будівельні матеріали. У ряді випадків достатньо використання заземленої металевої сітки, що поміщається під облицювальний або штукатурний шар. Як екрани можуть застосовуватися також різні плівкові і тканинні ізоляції з металізованим покриттям. Останніми роками як екрануючі матеріали широко використовуються металізовані тканини на основі синтетичних волокон. Їх отримують методом хімічної металізації (з розчинів) тканин різної структури і щільності. Існуючі методи отримання дозволяє регулювати кількість металу, що наноситься, в діапазоні від сотих доль до одиниць мкм і змінювати поверхневий питомий опір тканин від десятків до доль Ом.

6.3.2 Оцінка безпеки роботи апаратної частини ЧПК верстата ЛТ260МФ3 дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус НШ10.001» в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що визначає безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань є максимальне значення потужності дози в умовах експлуатації, яка може зумовити виникнення зміни параметрів елементів системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Перелік елементів, що входять до складу електричних схем блоків системи ЧПК, та граничні значення експозиційних доз іонізуючого випромінювання для них наведені в табл. 6.8.

Згідно даних таблиці 6.8 граничне значення дози гамма-випромінювання для системи ЧПК складає  $D_{гр}=10^4$  Р.

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання для системи визначається за формулою

$$P_{сп.мин} = \frac{D_{гр} \cdot K_{нос}}{2(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})},$$



де  $t_n=1$ ,  $t_k=5$  років  $=43800$  год – відповідно, час початку і кінця опромінення системи ЧПК, що визначається її експлуатаційним терміном;

$K_{noc} = 1$  – коефіцієнт послаблення радіації.

Таблиця 6.8 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для апаратної частини ЧПК верстатного обладнання

Елементи і матеріали системи ЧПК	Гранична доза гамма-випромінювання для елементів системи ЧПК, $D_{гр.i}, P$	Гранична доза гамма-випромінювання для системи ЧПК в цілому, $D_{гр}, P$
Інтегральні схеми	$10^5$	$10^4$
Конденсатори	$10^7 \dots 10^9$	
Резистори	$10^7 \dots 10^9$	
Діелектричні матеріали	$10^{10}$	
Напівпровідники	$10^5 \dots 10^6$	
Магнітні матеріали	$10^{10}$	
Мікропроцесори	$10^4$	
Транзистори, діоди	$10^4$	

Тоді

$$P_{гр.min} = \frac{D_{гр} \cdot K_{noc}}{2(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})} = \frac{10^4 \cdot 1}{2(\sqrt{46800} - \sqrt{1})} = 23,11 \text{ P/год.}$$

Згідно з проведеним розрахунком робота системи ЧПК верстата ЛТ260МФ3 в умовах постійної дії іонізуючих випромінювань буде безпечною за умови, що потужність іонізуючих випромінювань не перевищуватиме 23,11 P/год.

6.3.3 Оцінка безпеки роботи апаратної частини ЧПК верстата ЛТ260МФ3 дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус НШ10.001» в умовах дії електромагнітних випромінювань

Критерієм, що за яким оцінюється безпека роботи системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань є коефіцієнт безпеки

$$K_B = 20 \lg \frac{U_D}{U_{B(\Gamma)}},$$

де  $U_D$  – допустиме коливання напруги живлення, В;  $U_{B(\Gamma)}$  – напруга наведена електромагнітними випромінюваннями, відповідно, у вертикальних чи горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК, В.

Оскільки стійкою, а отже безпечною, робота системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань вважатиметься коли  $K_B \geq 40$  дБ, розрахунок гранично допустимого значення вертикальної складової напруженості електричного поля здійснюється за умови, що  $K_{B\min} = 40$  дБ.

Допустиме коливання напруги живлення

$$U_D = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N = 24 + \frac{24}{100} \cdot 2 = 28,8 \text{ В},$$

де  $U_{ж} = 24 \text{ В}$  – максимальна напруга живлення елементів системи ЧПК;  $N = 2\%$  – допустимі відхилення напруги.

Максимальна довжина струмопровідних частин в горизонтальній площині  $l_{\Gamma} = 0,35 \text{ м}$ .

Максимально допустиме значення наведеної електромагнітним полем напруги в горизонтальних струмопровідних частинах визначається з рівняння

$$K_{B\Gamma} = 20 \lg \frac{U_D}{U_{\Gamma}},$$

тоді

$$40 = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}},$$

$$\frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}} = 10^{\frac{40}{20}},$$

$$U_{\text{г}} = \frac{U_{\text{д}}}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{28,8}{100} = 0,288 \text{ В},$$

а вертикальна складова напруженості електричного поля

$$E_{\text{в}} = \frac{U_{\text{г}}}{l_{\text{г}}} = \frac{0,288}{0,35} \approx 0,82 \text{ В/м}.$$

Система ЧПК верстатів, що використовуються в технологічному процесі розміщена в захисних корпусах товщина яких складає в середньому  $t = 0,1$  см і вище.

Використання сталевого екрана такої товщини забезпечує перехідне гасіння енергії електричного поля

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} = 5,2 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{15000} = 63,7 \text{ Дб}.$$

де  $f = 15000$  – власна частота екрана(корпуса).

Оскільки перехідне гасіння енергії електричного поля також можна розрахувати, як

$$A = 20 \log \frac{E_{\text{ввх}}}{E_{\text{в}}} \text{ Дб},$$

де  $E_{\text{ввх}}$  – вертикальна складова напруження електричного полі на вході в екран, то

$$E_{\text{Вих}} = E_B \cdot 10^{\frac{A}{20}} = 0,82 \cdot 10^{\frac{63,7}{20}} = 1255,5 \text{ В} \approx 1,25 \text{ кВ.}$$

Безпечна робота системи ЧПК верстата ЛТ260МФ3 в умовах дії електромагнітних випромінювань буде забезпечена в разі, коли вертикальна складова напруженості електричного поля в зоні роботи верстата не перевищуватиме 1,25 кВ/м.

Висновок. Робота апаратної частини ЧПК верстата ЛТ260МФ3 дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус НШ10.001» в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань згідно проведених розрахунків буде безпечною якщо інтенсивність випромінювань не перевищуватиме, відповідно, потужність іонізуючих випромінювань – 23,11 Р/год і вертикальна складова напруженості електричного поля – 1,25 кВ/м.

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001». При виконанні роботи поставлено і виконано такі завдання.

1. В розділі огляду технології виготовлення деталі типу «Корпус» проведено аналіз типових технологічних процесів, базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001», проаналізовано їх позитивні сторони, внесені пропозиції щодо удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001».

2. Для виготовлення заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001» запропоновано два способи лиття – в кокіль та піщано-глинисті форми. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку литтям в кокіль, оскільки вартість заготовки складає 98,74 грн., що менше у порівнянні з литтям в піщано-глинисті форми – 147,83 грн.

3. Спроектовано варіанти удосконаленого ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001» з використанням верстатів з ЧПК. Їх порівняння за мінімумом приведених витрат дозволило вибрати дешевший варіант. Виконано розмірно-точнісне моделювання ТП, розрахунки припусків, режимів різання, норм часу по операціям.

4. Розроблено комп'ютерну програму «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі», яка призначена для автоматизованого розрахунку втрат тиску в трубопроводі по довжині та в місцевих гідравлічних опорах за заданими початковими даними витрати, густини та кінематичної в'язкості рідини, діаметра та довжини трубопроводу, типу трубопроводу та сумарного коефіцієнта місцевого гідравлічного опору з врахуванням залежності коефіцієнта гідравлічного тертя від режиму руху рідини та рекомендаційних норм. Програма має зручний інтерфейс, містить набір довідникових даних і може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків у сфері «Гідравліки, гідродинаміки та гідроприводу»;

5. Для удосконаленого ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001» спроектовано дільницю; встановлено приведену програму ( $N_{прив} = 55000$  шт.) для роботи в великосерійному виробництві; розраховано необхідну кількість верстатів – 7 верстатів; кількість основних робітників – 7 чоловік, всіх працівників – 13 чоловік.

6. Проведено економічні розрахунки доцільності впровадження запропонованих рішень, визначено капітальні вкладення – 3403990,84 грн., одержаний прибуток – 1570102,83 грн., термін окупності вкладень – 2,17 року.

7. Розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001».

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
2. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – М. : ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
3. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
4. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 148 с.
5. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач. – К. : Вища школа, 1991. – 247 с.
6. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.
7. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. – [Чинний від 1987-07-01] М. : Изд-во стандартов, 1987. – 53 с.
8. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.
9. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
10. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2. Практикум : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.

11. Гусев А. А. Технология машиностроения (специальная часть) / А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
14. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть I. Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 206 с.
15. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 473 с.
16. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов [и др.]. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.
17. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика : підручник / В. О. Федорець, М. Н. Педченко, В. Б. Струтинський [та ін.] ; за редакцією В. О. Федорця. – К. : Вища шк. 1995. – 463 с.
18. Вакина В. В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. / В. В. Вакина, И. Д. Денисенко, А. Л. Столяров. – К. : Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 208 с.
19. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Курсове проектування для студентів напрямів підготовки 6.050502 – «Інженерна механіка», 6.050503 – «Машинобудування» : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, В. П. Пурдик, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 238 с.



20. Комп'ютерна програма «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі» / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68763 // С. В. Репінський, В. А. Подоляк. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Зареєстр. 24.11.2016.

21. Аналіз систем керування приводом барабана автобетонозмішувача [Електронний ресурс] / С. В. Репінський, В. Ю. Губницький, А. О. Подолян, О. Ю. Ткачук // Матеріали І науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2021), Вінниця, 10-12 березня 2021 р. – Електрон. текст. дані. – 2021. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12720>.

22. Мельников Г. Н. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Г. Н. Мельников, В. П. Вороненко ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

23. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

24. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу – [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14\\_nakazy\\_ta\\_rozpor\\_183575/248+58074-detail.html](http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html).

25. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_12000374\\_SSBT\\_Opasnye\\_i\\_v.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_12000374_SSBT_Opasnye_i_v.html).

26. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. рабочее место при выполнении работ сидя. общие эргономические требования - [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http://www.yondi.ru/inner\\_c\\_article\\_id\\_1140.phtm](http://www.yondi.ru/inner_c_article_id_1140.phtm).

27. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>.

28. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dnop.com.ua/dnaop/act3167.htm>.

29. Наказ №749 від 16.10.2013 Про затвердження Правил охорони праці під час холодного оброблення металів – [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1871-13#Text>.

30. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

31. Конституція України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР.

32. Про охорону праці Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

## ДОДАТОК А

(обов'язковий)

### ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус НШ10.001»

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 Буренніков Юрій Анатолійович, к.т.н., професор

(прізвище, ініціали, посада)

#### Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	<b>83,9</b>
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	<b>16,1</b>

#### 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)

Ткачук О.Ю.

(прізвище, ініціали)

#### Опис прийнятого рішення

Робота може бути допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Сердюк О.В.

(прізвище, ініціали)

Експерт \_\_\_\_\_

(підпис)

д.т.н., проф. зав.кафедри Козлов Л.Г.

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б  
(обов'язковий)

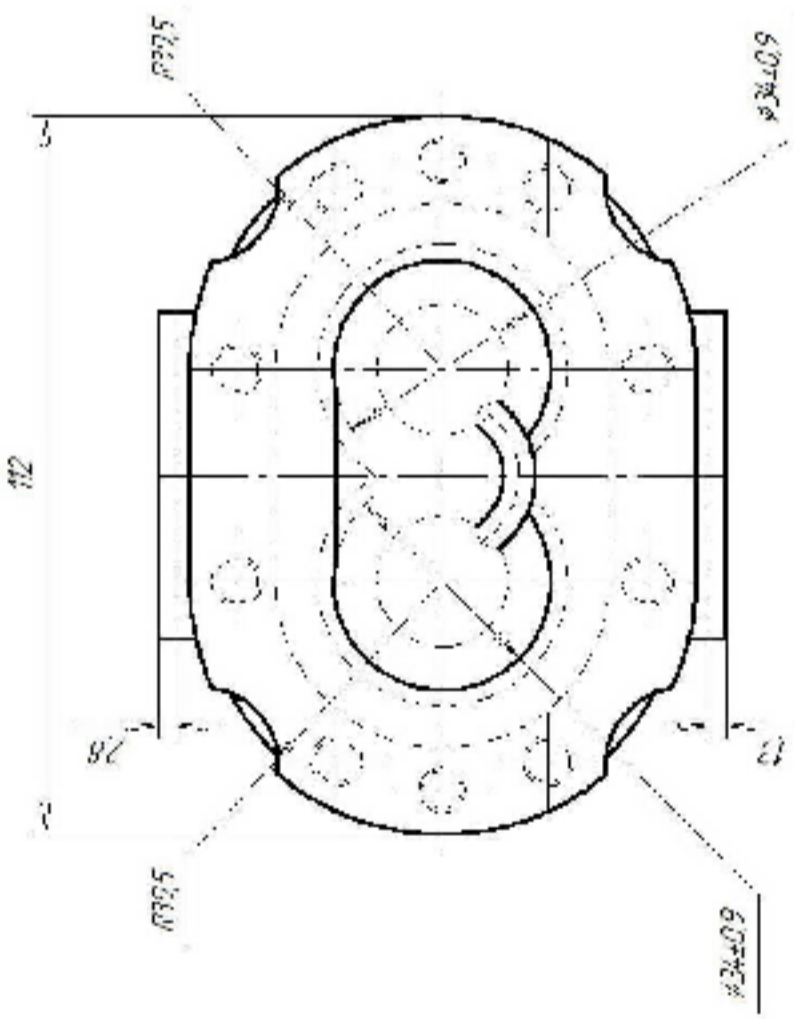
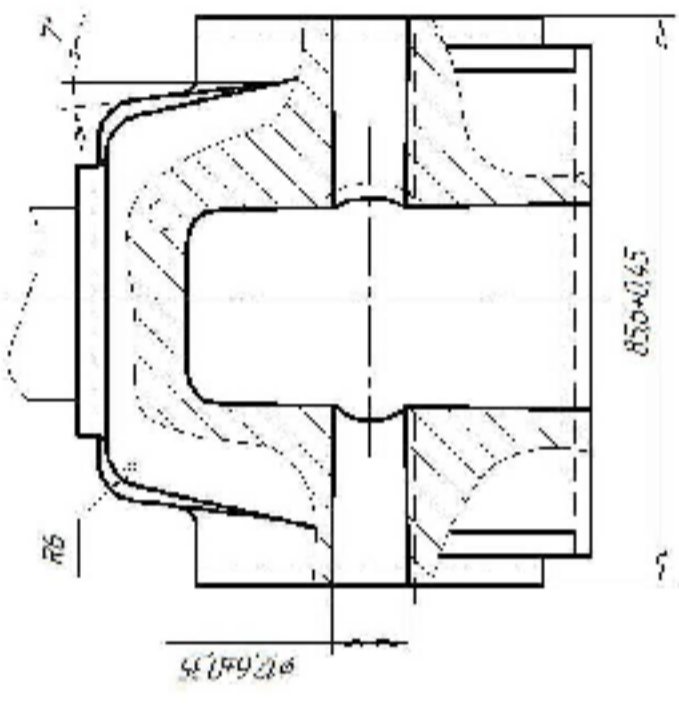
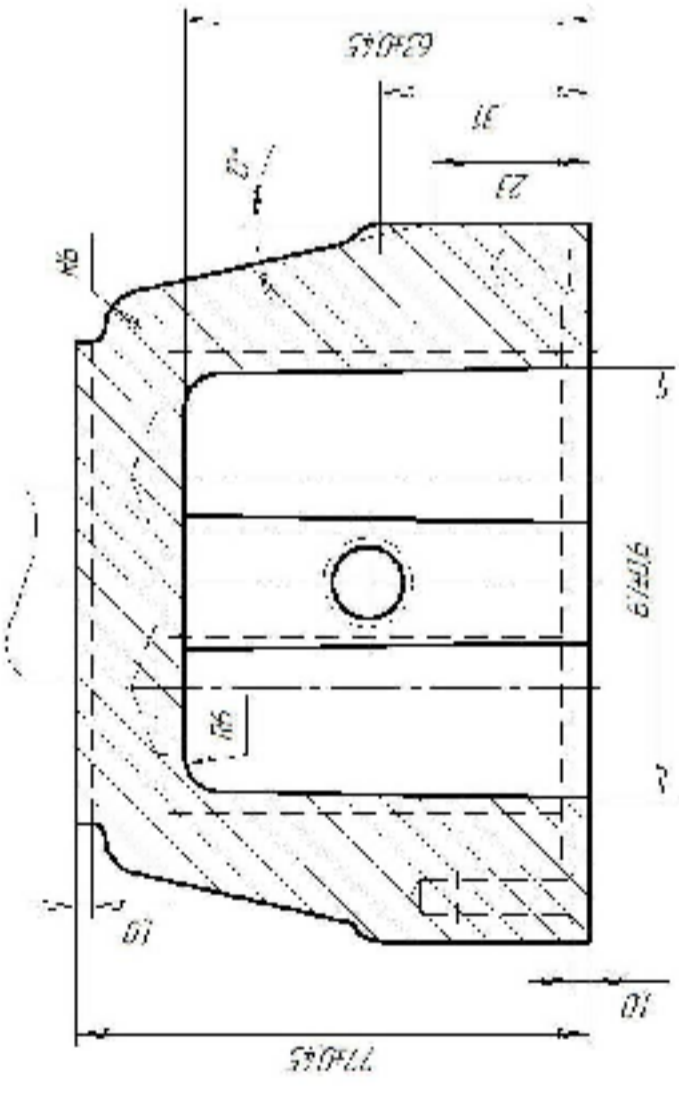
**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ  
ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС НШ10.001»



08-26.МКР.010.00.002

Ra 6,3 (✓)



1. Ісчисність деталей 1м-4-6-1м зм.0,64 10Л1 26645-85.
2. Маса 0,81-0,21-0,105-1,125 10Л1 26645-85.
3. Нейкілітні лінійні розміри R3,5 мм, іншіми 3° відлітки.
4. 85...107 НВ
5. На поверхнях заготовки раковини і задійки не допускаються.

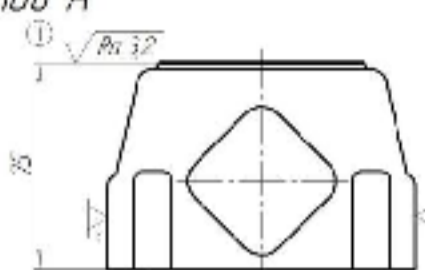
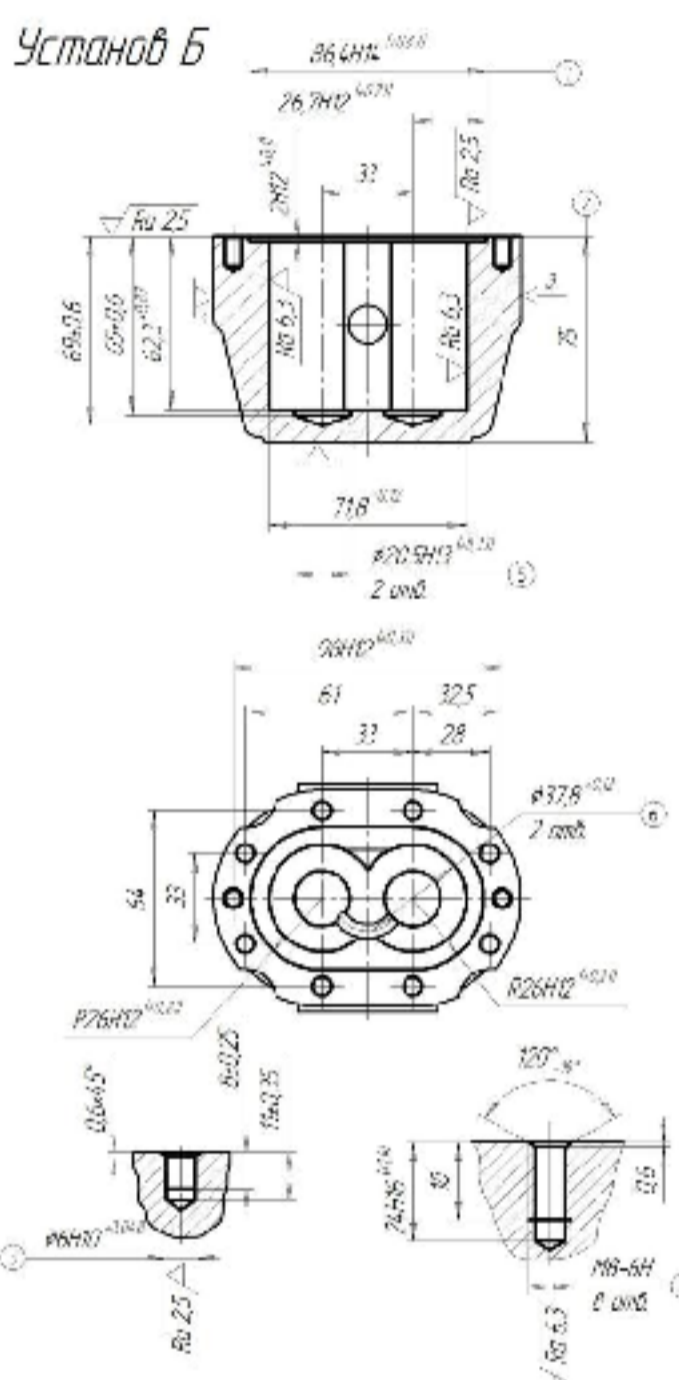
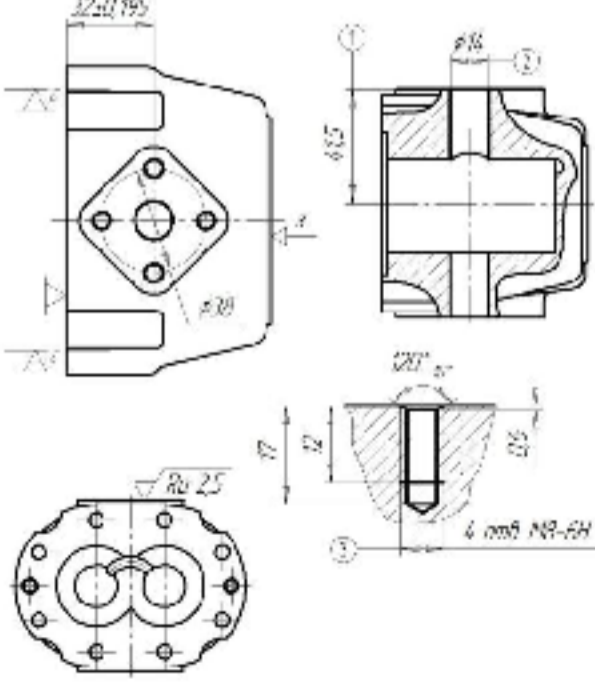
08-26.МКР.010.00.002		Корпус (вилубок)		1125	11
№ п/п	№ документа	Дата	Вид	Лист	Всього
1	08-26.МКР.010.00.002		МКР	1	1
Склад: О.В. Коваленко			ВНУ		
Місце: Київ			ГП «ІПМ ДІМ»		

Корпус

Формат А3

№ п/п	Ім'я і прізвище	Посл. ім'я	№ п/п	Ім'я і прізвище

## Маршрут механічної обробки деталі "Корпус НШ10.001"

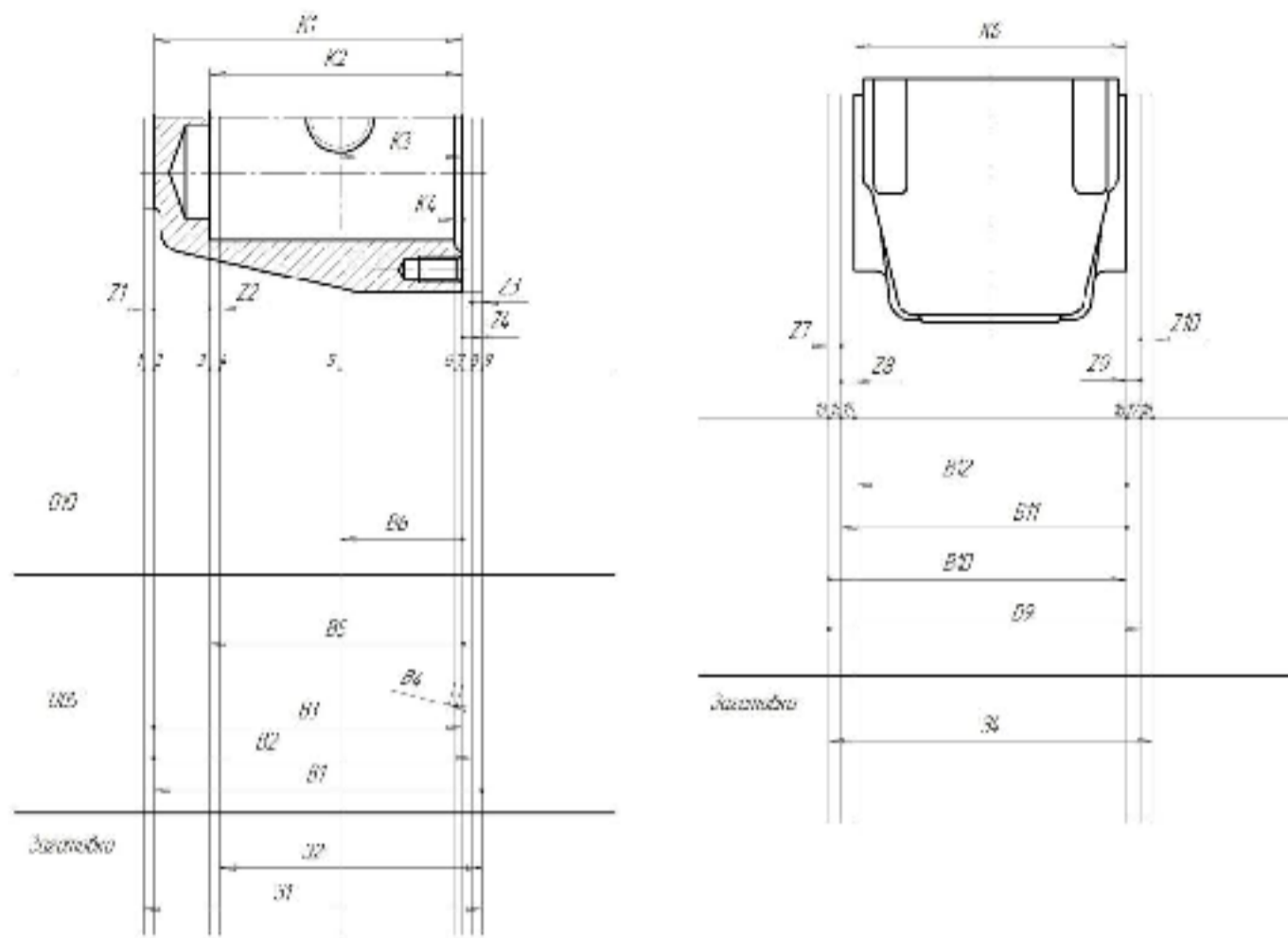
№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема установки та ескіз обробки	Обладнання
005	<p style="text-align: center;"><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <p><b>Установ А</b>                      1. Встановити і закріпити заготовку.                      2. Фрезерувати пов-ню 1 однократно.                      3. Зняти заготовку.</p> <p><b>Установ Б</b>                      4. Переустановити заготовку.                      5. Фрезерувати пов-ню 2 попередньо.                      6. Фрезерувати пов-ню 2 остаточно.                      7. Центрувати 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.                      8. Центрувати 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.                      9. Свердлити 2 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 5,8</math>; <math>l=11\pm 0,35</math>.                      10. Свердлити 8 отв. 4 витримуючи розміри <math>\phi 6,8</math>; <math>l=24H16^{(+1,4)}</math>.                      11. Нарізати різь в 8 отв. 4 витримуючи розміри згідно ескіза.                      12. Розвернути 2 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.                      13. Свердлити 2 отв. 5 однократно в розмір згідно ескізу.                      14. Розточити 2 отв. 6 попередньо.                      15. Розточити 2 отв. 6 остаточно витримуючи розміри згідно ескізу.                      16. Фрезерувати виточку 7 однократно витримуючи розміри згідно ескізу.                      17. Зняти деталь</p>	<p><b>Установ А</b></p>  <p><b>Установ Б</b></p> 	Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФЗ
010	<p style="text-align: center;"><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <p>1. Встановити заготовку.                      2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.                      3. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.                      4. Фрезерувати поверхню 4 попередньо.                      5. Фрезерувати поверхню 4 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.                      6. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.                      7. Фрезерувати поверхню 1 остаточно витримуючи розміри згідно ескіза.                      8. Зенкерувати отв. 2 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.                      9. Повернути поворотний стіл на <math>180^\circ</math>.</p>		

## Маршрут механічної обробки деталі "Корпус" (продовження)

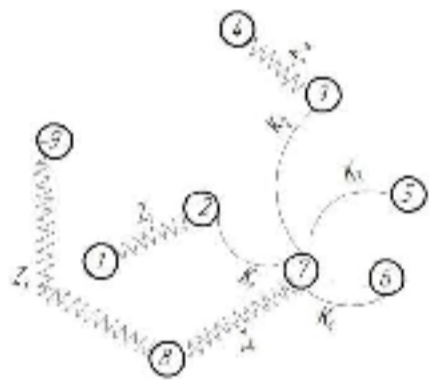
№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
	<p>10.Зенкерувати отв. 5 однократно витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>11.Центрувати 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>12.Повернути поворотний стіл на 180°.</p> <p>13.Центрувати 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>14.Свердлити 4 отв. 3 витримуючи розміри <math>\phi 6,8, l=17</math>.</p> <p>15.Повернути поворотний стіл на 180°.</p> <p>16.Свердлити 4 отв. 6 витримуючи розміри <math>\phi 6,8, l=17</math>.</p> <p>17.Нарізати різь в 4 отв. 6 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>18.Повернути поворотний стіл на 180°.</p> <p>19.Нарізати різь в 4 отв. 3 витримуючи розміри згідно ескіза.</p> <p>20. Зняти деталь</p>		<p>Вертикально-фрезерно-розточувальний з ЧПК ЛТ260МФЗ з поворотним столом</p>
015	<p style="text-align: center;"><u>Алмазно-розточувальна</u></p> <p>1. Встановити заготовку</p> <p>2.Розточити 2 отв. 1 витримуючи розміри згідно ескіза</p> <p>3.Зняти деталь.</p>		<p>Алмазно-розточувальний верстат 2706</p>



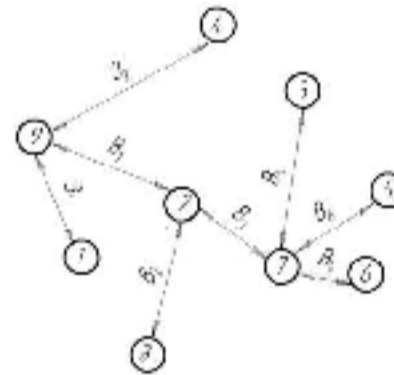
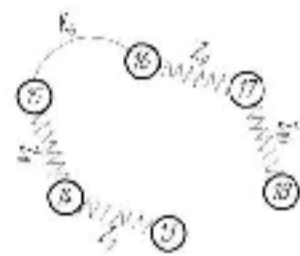
# Розмірний аналіз технологічного процесу



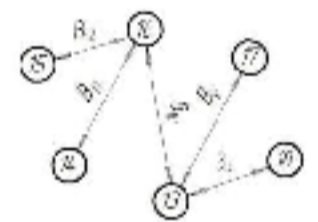
Розмірна схема технологічного процесу



Вихідний граф-дерево

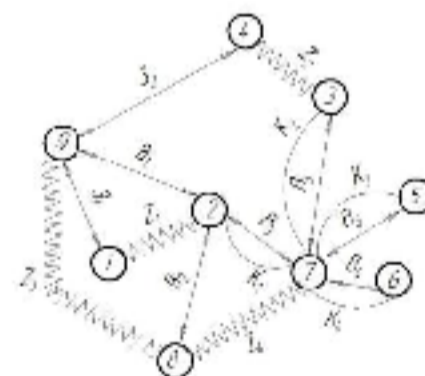


Похідний граф-дерево

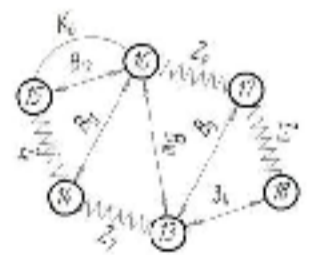


Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідомий розмір
1	$-K_5 - B_4 = 0$	$K_5 = B_4$	$B_4$
2	$-K_2 - B_6 = 0$	$K_2 = B_6$	$B_6$
3	$-K_1 - B_7 = 0$	$K_1 = B_7$	$B_7$
4	$-K_4 - B_3 = 0$	$K_4 = B_3$	$B_3$
5	$-B_2 + B_2 - Z_4 = 0$	$B_2 - B_2 = Z_4$	$B_2$
6	$-B_2 + B_1 - Z_3 = 0$	$B_1 - B_2 = Z_3$	$B_1$
7	$-Z_1 + Z_1 + B_1 = 0$	$Z_1 = B_1 + Z_1$	$Z_1$
8	$Z_2 - Z_2 - B_1 - B_7 - B_4 = 0$	$Z_2 - B_1 - B_7 + B_4 = Z_2$	$Z_2$
9	$-K_6 + B_{12} = 0$	$K_6 = B_{12}$	$B_{12}$
10	$-B_{11} + B_{12} + Z_3 = 0$	$B_{11} - B_{12} = Z_3$	$B_{11}$
11	$-B_{10} + B_{11} + Z_7 = 0$	$B_{10} - B_{11} = Z_7$	$B_{10}$
12	$-B_9 + B_{10} + Z_5 = 0$	$B_9 - B_{10} = Z_5$	$B_9$
13	$-Z_4 + B_9 + Z_{10} = 0$	$Z_4 - B_9 + Z_{10} = 0$	$Z_4$



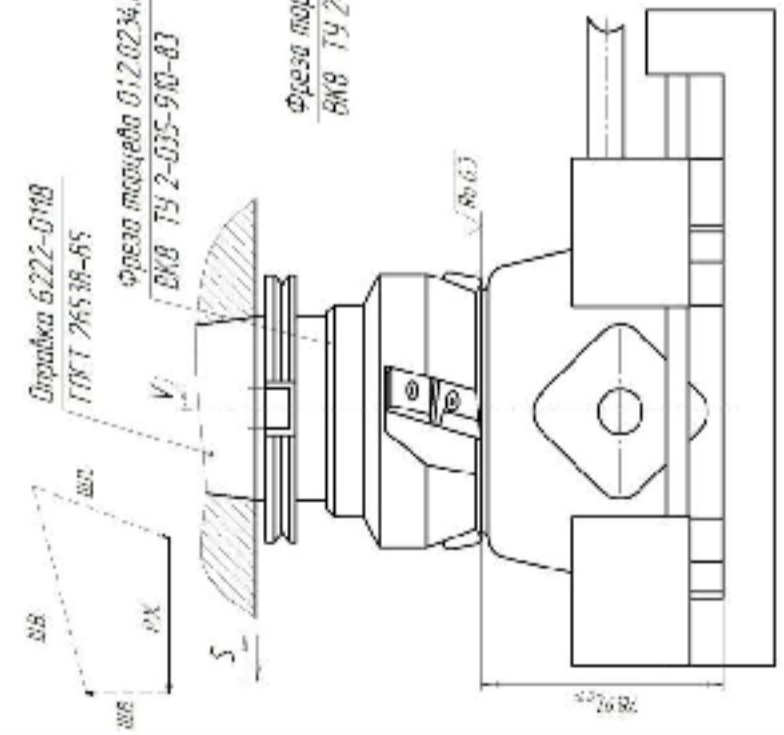
Суміщений граф



Розрахункові припущення

Припущення	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$	$Z_{10}$	
Граничні значення	$Z_{min}$	2,0	1,8	0,7	0,7	1,8	0,7	0,7	1,8
	$Z_{max}$	6,6	4,44	1,74	2,18	2,45	1,8	1,35	4,3

### Перехід 1



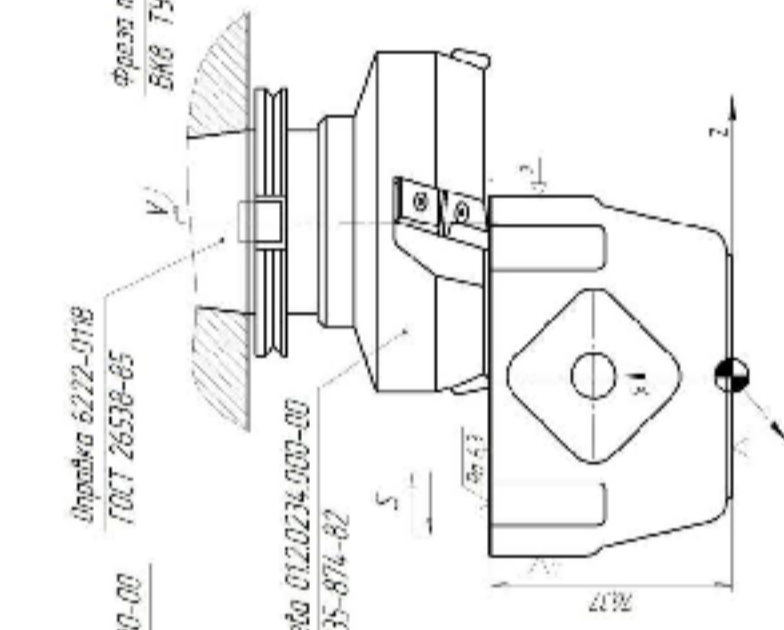
Детальна 6222-0118  
ГОСТ 26538-85

Фреза поцієна 012.0234.000-00  
ВКВ ТУ 2-035-910-83

Детальна 6222-0118  
ГОСТ 26538-85

Фреза поцієна 012.0234.000-00  
ВКВ ТУ 2-035-874-82

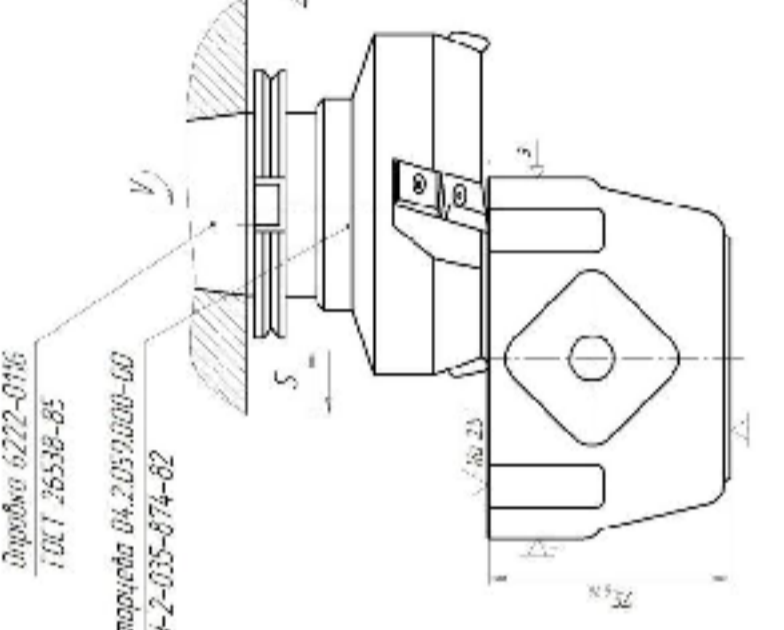
### Перехід 2



Детальна 6222-0118  
ГОСТ 26538-85

Фреза поцієна 04.2.05.91000-60  
ВКВ ТУ 2-035-874-82

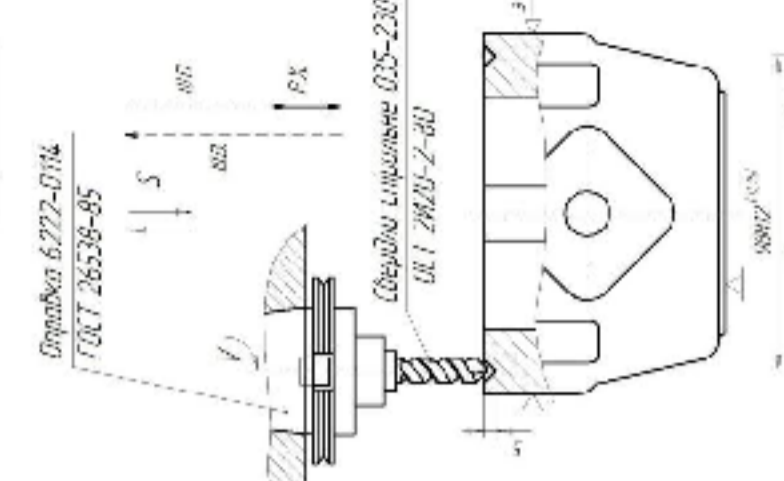
### Перехід 3



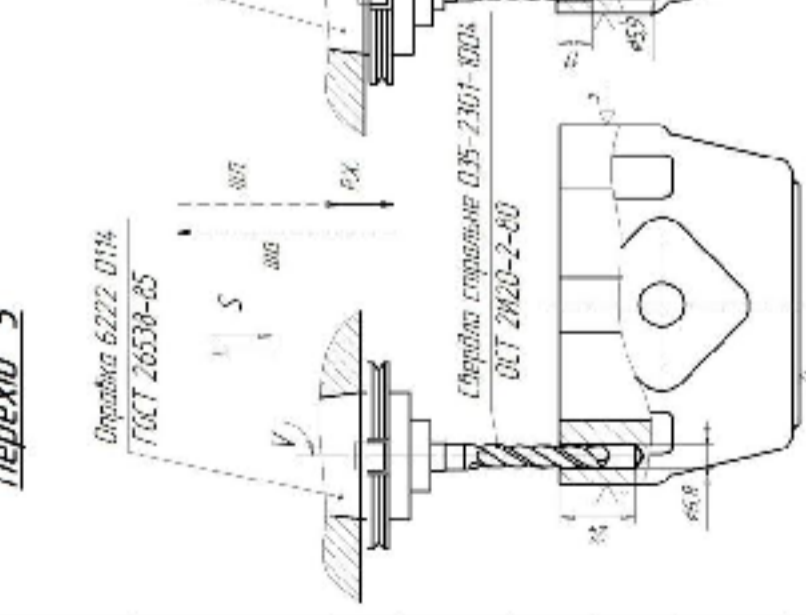
Детальна 6272-0114  
ГОСТ 26538-85

Свердло спиральне 035-2301-10166  
ГОСТ 23820-2-80

### Перехід 4



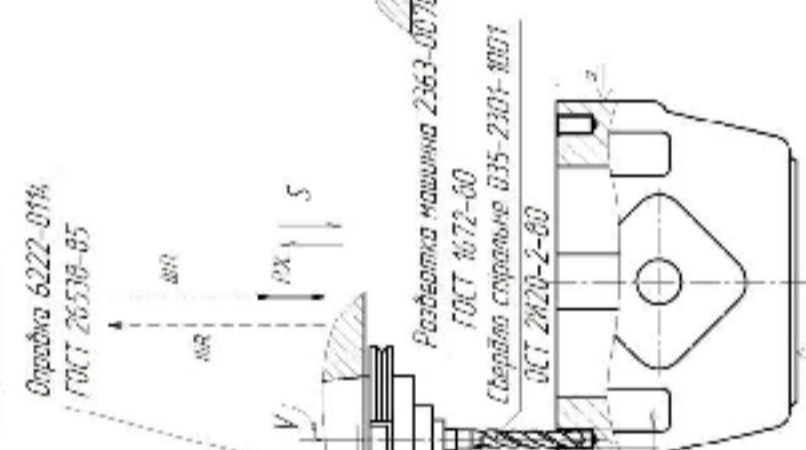
### Перехід 5



Детальна 6222-0118  
ГОСТ 26538-85

Свердло спиральне 035-2301-10166  
ГОСТ 23820-2-80

### Перехід 6

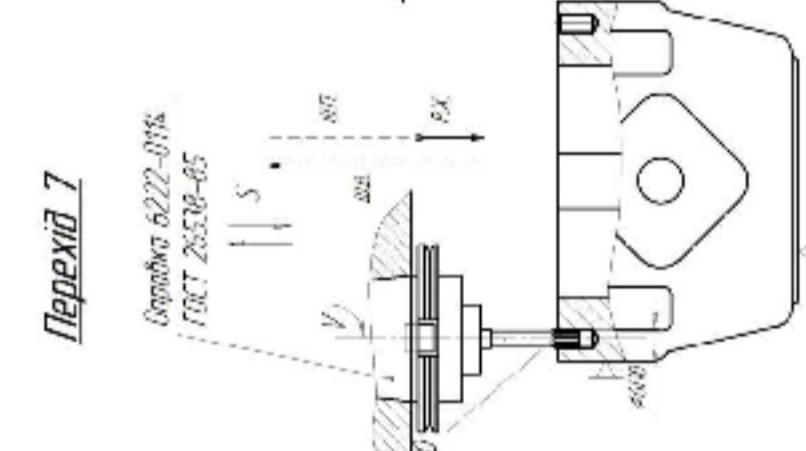


Детальна 6222-0118  
ГОСТ 26538-85

Розбісатка машина 2363-0070  
ГОСТ 1672-60

Свердло спиральне 035-2301-10166  
ГОСТ 23820-2-80

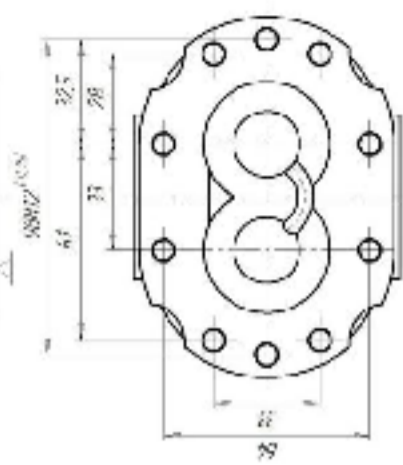
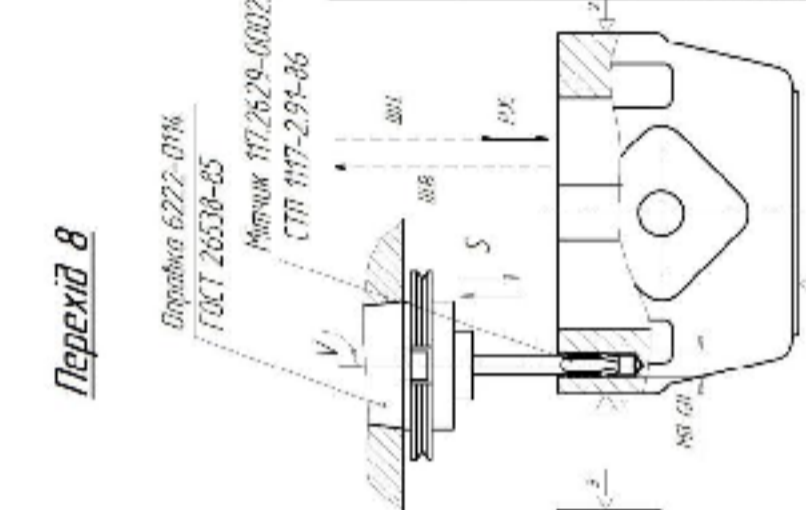
### Перехід 7



Детальна 6272-0114  
ГОСТ 26538-85

Метчик М17.2629-00023  
СТН М17-2.91-86

### Перехід 8



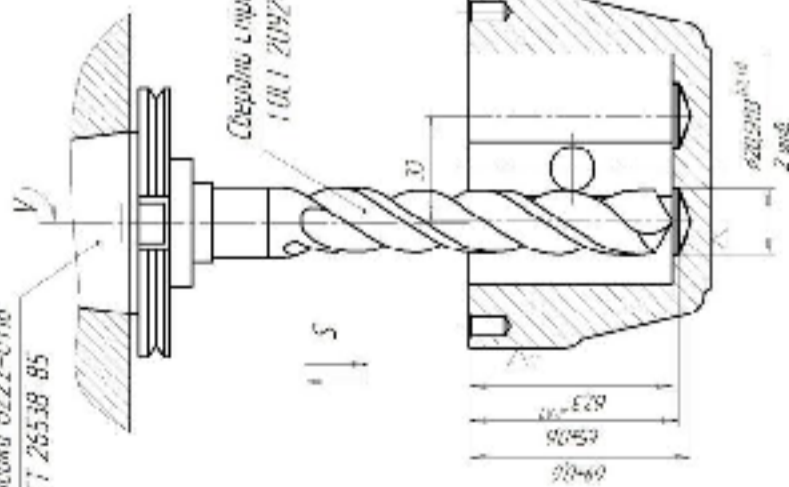
1	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	1	Метчик М17.2629-00023	СТН М17-2.91-86
2	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	2	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
3	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	3	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
4	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	4	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
5	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	5	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
6	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	6	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
7	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	7	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
8	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	8	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
9	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	9	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
10	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	10	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
11	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	11	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
12	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	12	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
13	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	13	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
14	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	14	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
15	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	15	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
16	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	16	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
17	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	17	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
18	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	18	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
19	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	19	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80
20	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80	20	Свердло спиральне 035-2301-10166	ГОСТ 23820-2-80

Корпус насоса

08-26 МКР 010.00.300

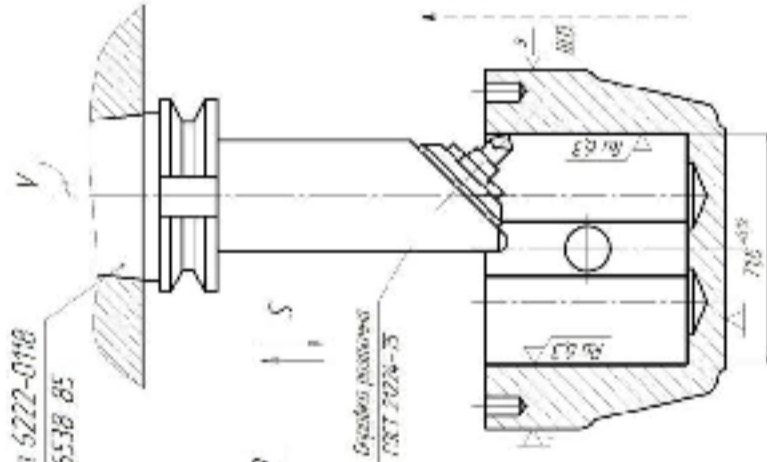
Перехід 9

Свердло 6222-0118  
ГОСТ 26538-85



Свердло Лунинське 2304-4059  
ГОСТ 2092-77

Свердло 6222-0118  
ГОСТ 26538-85

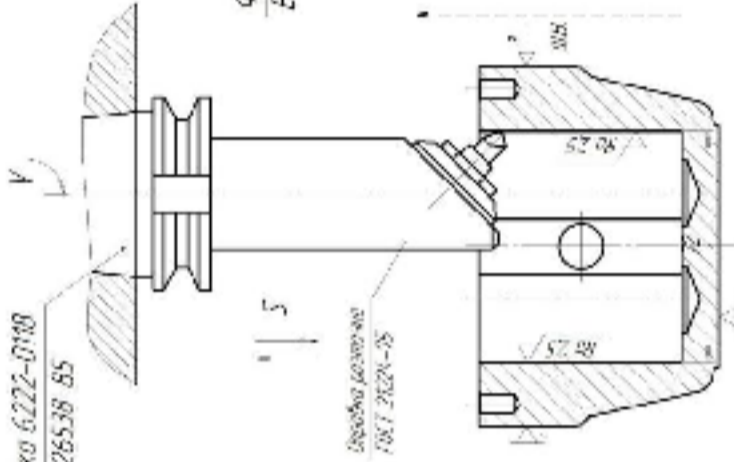


Свердло Лунинське  
ГОСТ 2092-77

Перехід 10

Перехід 11

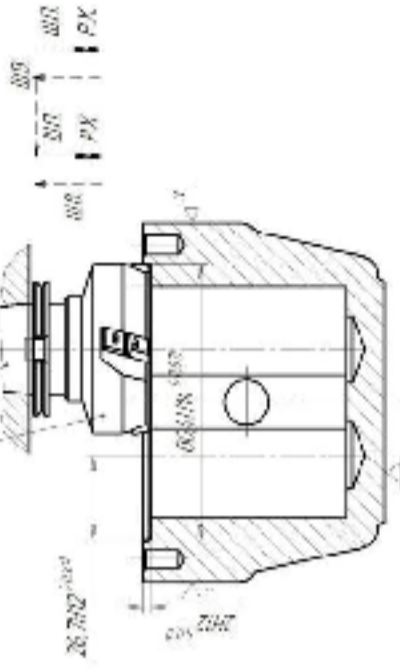
Свердло 6222-0118  
ГОСТ 26538-85



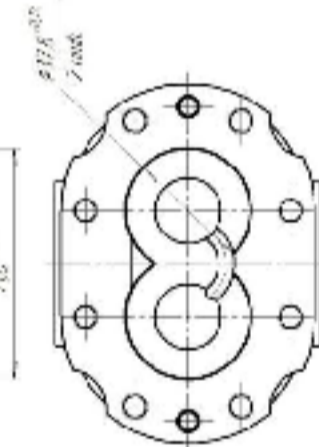
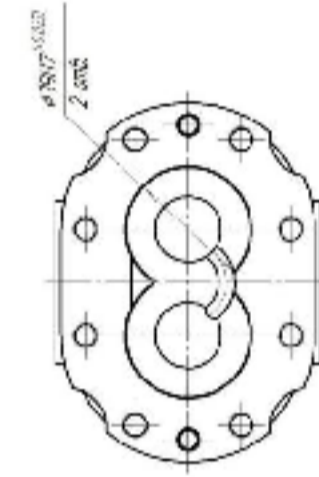
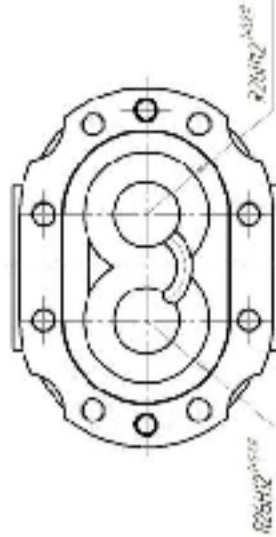
Свердло Лунинське  
ГОСТ 2092-77

Свердло 6222-0114  
ГОСТ 26538-85

Фреза торцева 012.0234.000-00  
8V8 ТУ 2-035-874-82



Свердло Лунинське  
ГОСТ 2092-77



## АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ

Проектується дільниця механічної обробки на якій планується обробляти крім заданої деталі «Корпус НШ10.001» ряд інших деталей типу «Корпус» для різних типорозмірів шестеренних насосів. Технічні характеристики і параметри шестеренних насосів представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики і параметри насосів

Параметр шестеренного насоса	Технічні характеристики									
	НШ10		НШ16		НШ32		НШ50		НШ100	
Обертання приводного валу	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве	праве / ліве
Робочий об'єм, см <sup>3</sup>	10	15,6	32	50	100					
Тиск на виході, МПа	16; 20	16	20; 16	20; 16	20; 16					20; 16
Подача, л/хв.	21	34,4	68,8			113,7; 107,2				173,4
Номінальна потужність, кВт	7	13,8	33,2; 26,6	51,9; 41,5	80,1; 66,4					
Номінальна частота обертання, об/хв.	ном	1500; 2400	2400	2400	2400					1920
	мах	2400; 3600	-	-	-					-
t робочої рідини, °C	мін	0	0	0	0					0
	мах	+80	+80	+80	+80					+80
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	мін	55; 30	55	30; 55	30; 55					30; 55
	мах	70; 40	70	40; 70	40; 70					40; 70
Маса, кг	3	2,9	7			4,1; 8; 7,1; 3,94				17

Рух в'язкої рідини в гідроприводі супроводжується втратами напору, обумовленими гідравлічними опорами. Визначення втрат напору одна із головних питань практично будь-якого гідравлічного розрахунку [16-21].

**Мета роботи** – розробка алгоритму та прикладної комп'ютерної програми для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі, що дозволяє автоматизувати процес розрахунку та скоротити його час.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

З точки зору розрахунку **втрати напору** при русі в'язкої рідини зручно розділити на два види: *втрати на тертя по довжині*  $h_{\text{тр}}$  і *втрати в місцевих опорах*  $h_{\text{л}}$  – коротких ділянках трубопроводів, в яких відбувається зміна швидкості за величиною або за напрямом [16-19]:

$$h_{\text{л}} = h_{\text{тр}} + \sum h_{\text{л}} \quad [\text{М}]. \quad (1)$$

**Втрати напору по довжині** (на тертя) визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{М}], \quad (2)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині, або коефіцієнт Дарсі;  $\ell$  – довжина трубопроводу;  $d$  – його діаметр;  $v$  – середня швидкість течії рідини.

Втрати напору по довжині істотно залежать від режиму руху рідини, який можна встановити за допомогою **числа Рейнольдса**:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3)$$

де  $\nu$  – середня швидкість і  $\nu$  – кінематична в'язкість рідини.

Розраховане згідно формули (3) число Рейнольдса  $\text{Re}$  слід порівнювати з нижнім критичним числом Рейнольдса  $\text{Re}_{\text{кр}} = 2300$ . Якщо отримане число Рейнольдса  $\text{Re} \leq 2300$ , то всі гідравлічні розрахунки виконуються, як для **ламінарного режиму руху** рідини в круглій трубі, а якщо отримане  $\text{Re} > 2300$ , то всі гідравлічні розрахунки виконуються як для **турбулентного режиму**.

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

**Ламінарна течія** (ламінарний потік) – впорядкований рух рідини або газу, за якого рідина рухається шарами, паралельними до напрямку течії. При цьому перемішування між сусідніми шарами рідини відсутнє.

Для ламінарного режиму руху рідини теоретичне значення коефіцієнта Дарсі

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (4)$$

**Турбулентна течія** характеризується перемішуванням рідини, пульсаціями швидкостей і тисків. Модель турбулентного потоку показана на рис. 2.

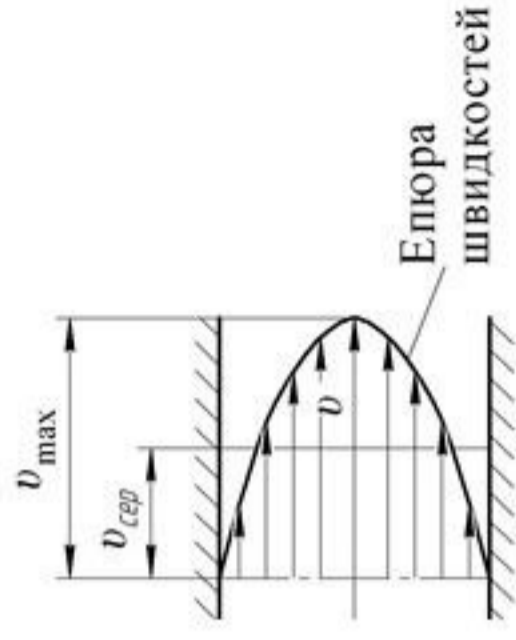


Рисунок 1 – Розподіл швидкостей для ламінарного потоку ( $v_{\text{cer}} = 0,5v_{\text{max}}$ )

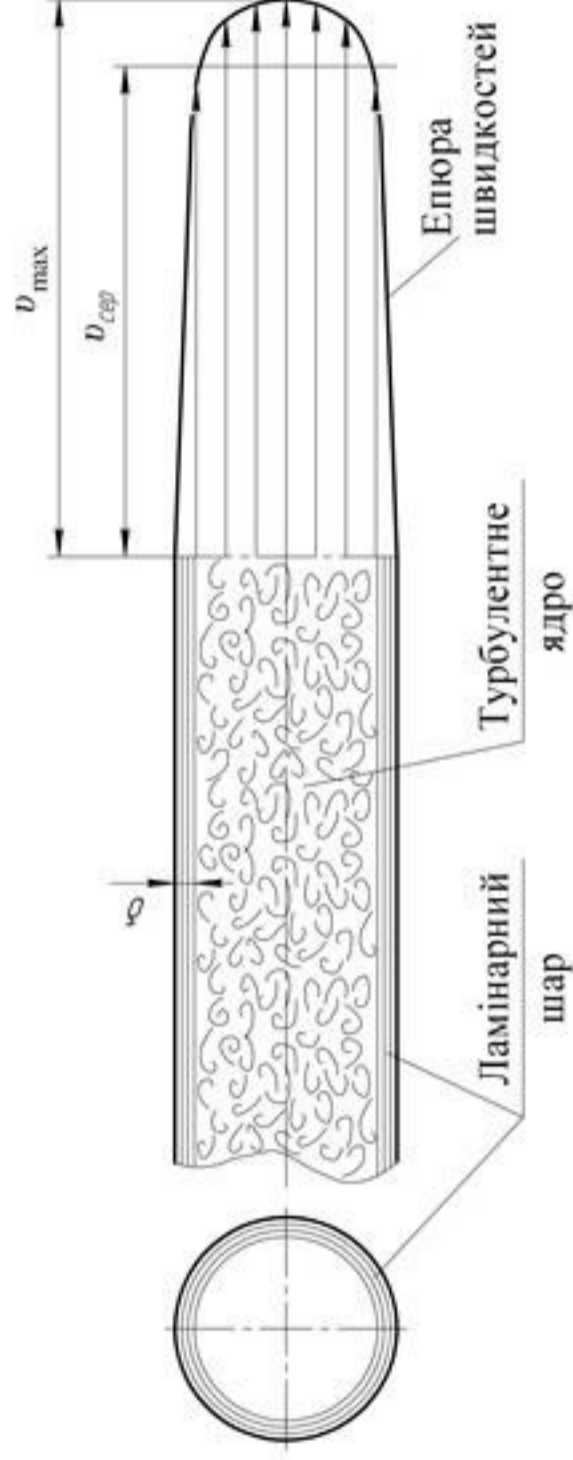


Рисунок 2 – Модель турбулентного потоку ( $v_{\text{cer}} = (0,75 \dots 0,90) \cdot v_{\text{max}}$ )

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

При турбулентному режимі руху виділяють три області.

1. **Область гідравлічно гладких труб** ( $3000 < Re < 20d/\Delta$ , де  $\Delta$  – еквівалентна шорсткість труби,  $\delta \gg \Delta$ ).

Коефіцієнт  $\lambda$  визначається за формулою Коначова

$$\lambda = \frac{1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2}, \quad (5)$$

або по формулі Блазіуса 
$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (6)$$

2. У **перехідній області** ( $20d/\Delta < Re < 500d/\Delta$ ,  $\delta \approx \Delta$ ). Коефіцієнт  $\lambda$  можна визначити за формулою Кольбрука-Уайта

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7d} \right), \quad (7)$$

або за універсальною (застосовується для всіх областей) формулою Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (8)$$

3. **Квадратична область опору** (область гідравлічно шорстких труб) ( $Re > 500d/\Delta$ ,  $\delta \ll \Delta$ ). Коефіцієнт  $\lambda$  може бути знайдений за формулою Нікурадзе

$$\lambda = \frac{1}{(2 \lg d/\Delta + 1,14)^2}, \quad (9)$$

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}.$$

або за формулою Шифрінсона

$$(10)$$

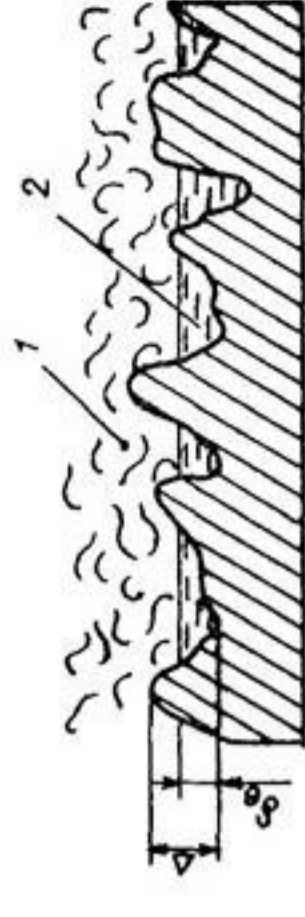
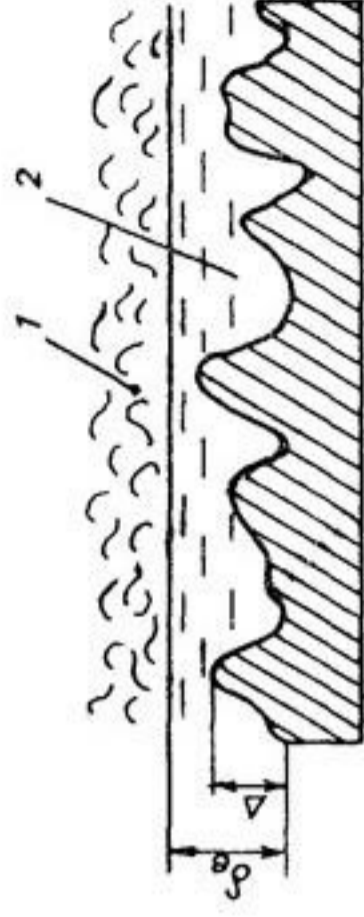


Рисунок 3 – Область гідравлічно гладких труб (а); область гідравлічно шорстких труб (б)  
1 – турбулентне ядро; 2 – ламінарний шар

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

Втрати напору у місцевих опорах визначаються за формулою Вейсбаха

$$h_{\text{м}} = \zeta \frac{v_2^2}{2g} \quad [\text{М}], \quad (11)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт місцевого опору;  $v_2$  – швидкість після місцевого опору.

Сумарні втрати тиску по довжині і в місцевих опорах

$$\Delta p_{\text{сум}} = \Delta p_{\text{тр}} + \sum \Delta p_{\text{м}} \quad [\text{Па}] \quad (12)$$

або

$$\Delta p_{\text{сум}} = \rho g h_{\text{н}} \quad [\text{Па}]. \quad (13)$$

де  $\Delta p_{\text{тр}}$  – втрати тиску по довжині;

$\sum \Delta p_{\text{м}}$  – сума усіх місцевих втрат тиску.

В гідроприводах сумарні втрати тиску по довжині і в місцевих опорах зазвичай не перевищують 5-10% від тиску, що розвивається насосом, в окремих випадках допускається, щоб втрати досягали 30%.

У відповідності з приведеним алгоритмом розроблено блок-схему проведення розрахунків (рис. 4).

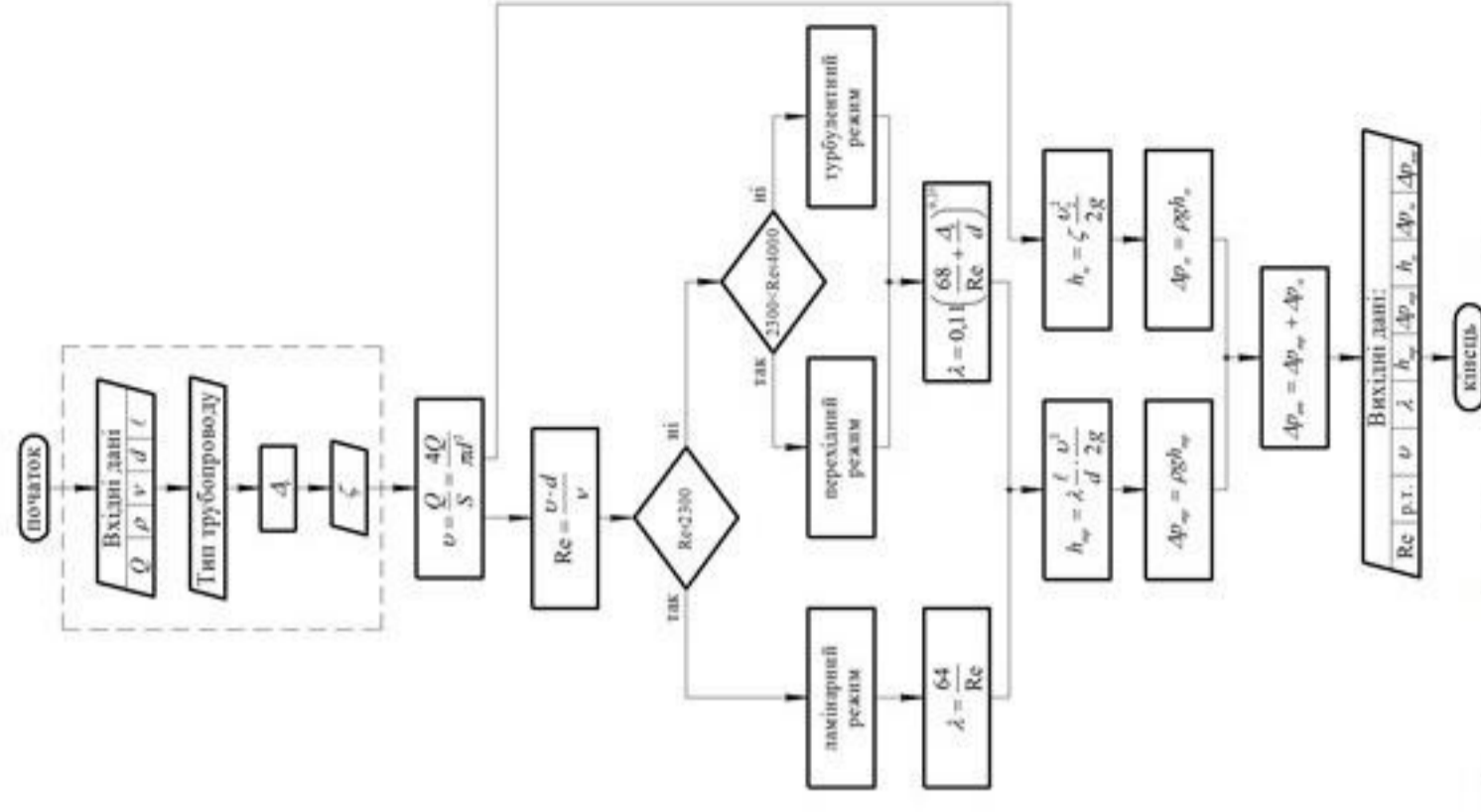


Рисунок 4 – Блок-схема гідралічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі



## АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (ПРОДОВЖЕННЯ)

Розроблено комп'ютерну програму для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі, інтерфейс якої показано на рис. 5.

**Вхідні дані**

Введіть витрату рідини ( Q )	68.8	л/хв
Введіть густину рідини ( ρ )	890	кг/м <sup>3</sup>
Введіть кінематичну в'язкість рідини ( ν )	50	× 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с
Введіть діаметр трубопроводу ( d )	0.032	м
Введіть довжину трубопроводу ( L )	2.5	м

Виберіть тип трубопроводу  
Еквівалентна шорсткість стінок трубопроводу ( Δε )

Рукави та шланги гумові	0.02	мм
-------------------------	------	----

Врахувати втрати енергії на подолання місцевих опорів

Введіть сумарний коефіцієнт місцевого гідравлічного опору ( ζ )

	10
--	----

**Вихідні дані**

Число Рейнольдса ( Re )	912.951	
Режим течії	Ламінарний	
Швидкість руху рідини в трубопроводі ( v )	1.426	м/с
Коефіцієнт гідравлічного тертя ( λ )	0.070102	
Втрати напору по довжині ( h <sub>тр</sub> )	0.568013	м
Втрати тиску по довжині ( Δp <sub>тр</sub> )	4964.323748	Па
Втрати напору на подолання місцевих гідравлічних опорів ( h <sub>м</sub> )	1.037137	м
Втрати тиску на подолання місцевих гідравлічних опорів ( Δp <sub>м</sub> )	9055.139805	Па
Сумарні втрати тиску в трубопроводі ( Δp <sub>вг</sub> )	14019.463553	Па

Рисунок 5 – Інтерфейс комп'ютерної програми для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

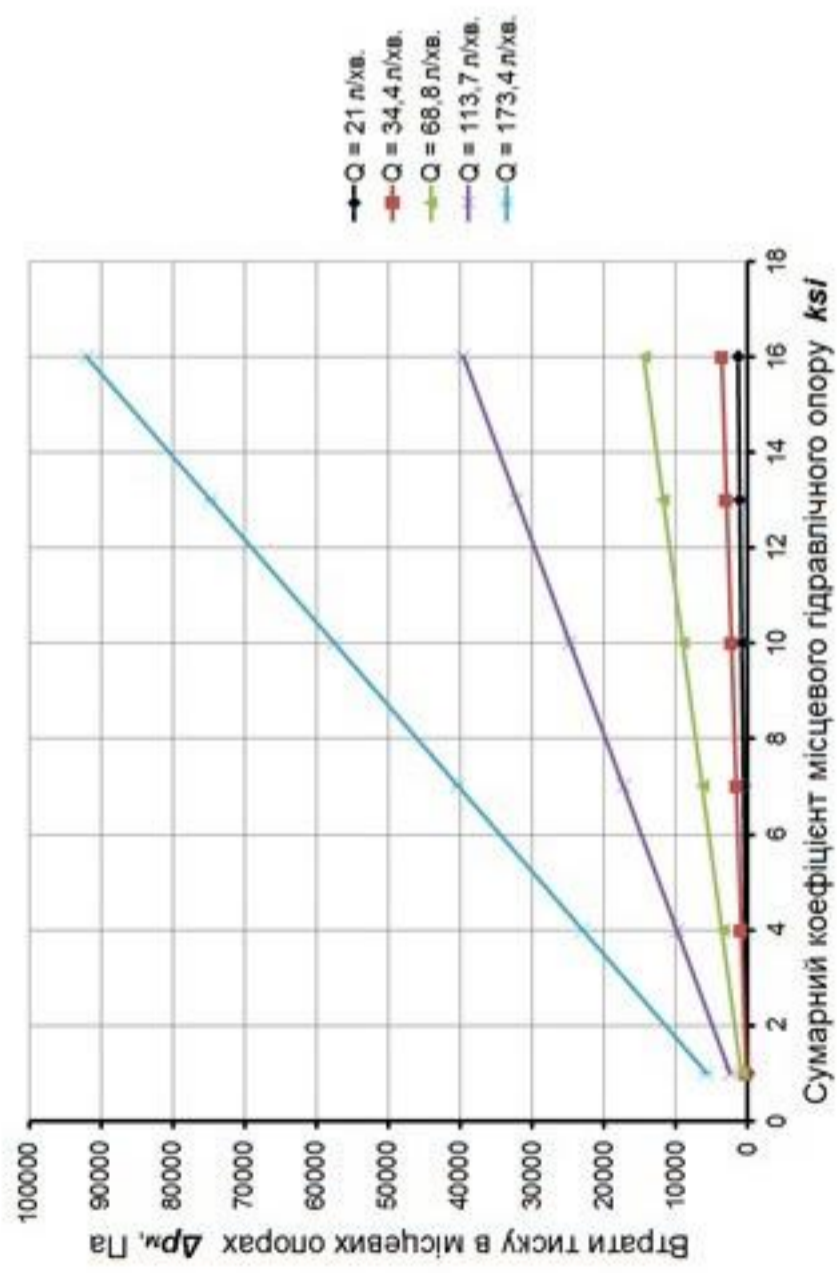


Рисунок 6 – Залежності втрат тиску в місцевих опорах  $\Delta p_m$  від сумарного коефіцієнту місцевого гідравлічного опору  $\zeta$  для різних витрат  $Q$  в трубопроводі

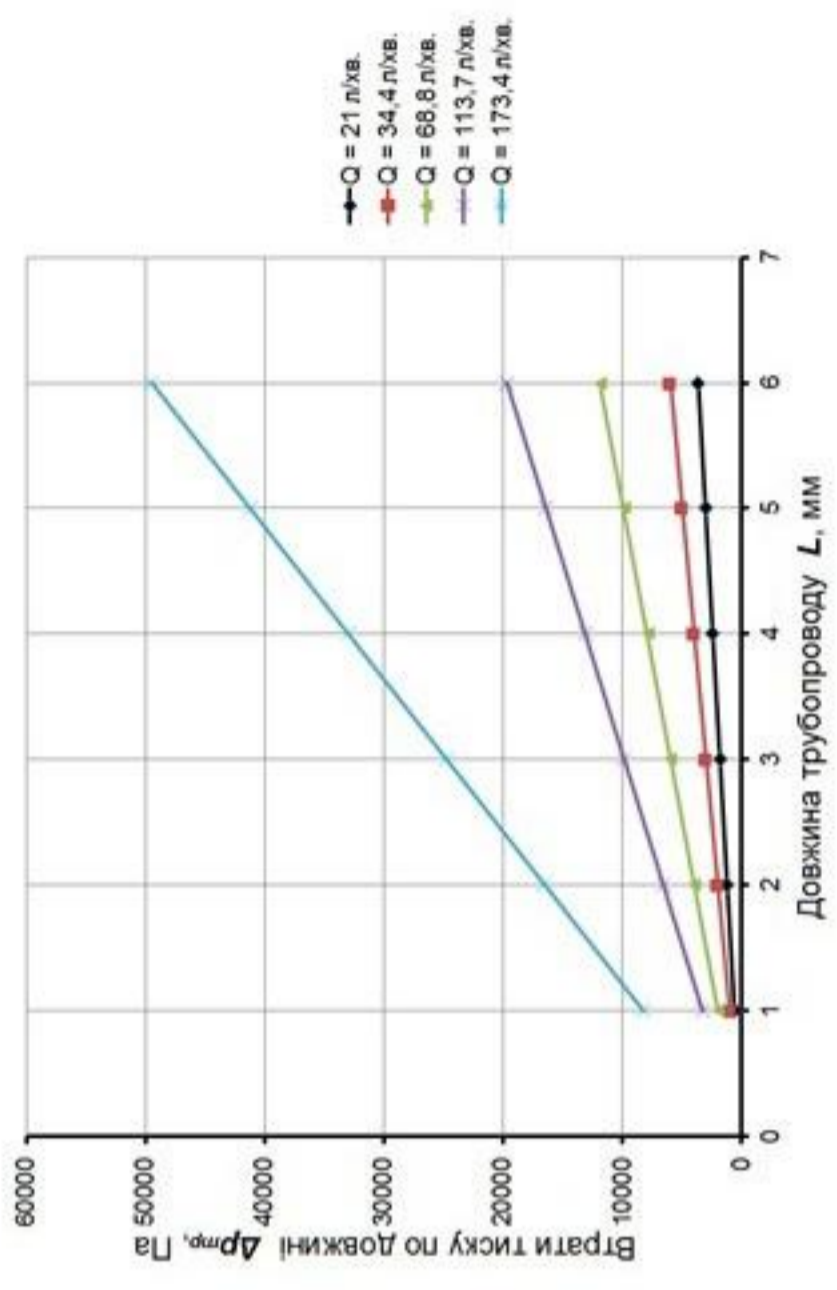


Рисунок 7 – Залежності втрат тиску по довжині  $\Delta p_{mp}$  від довжини  $l$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

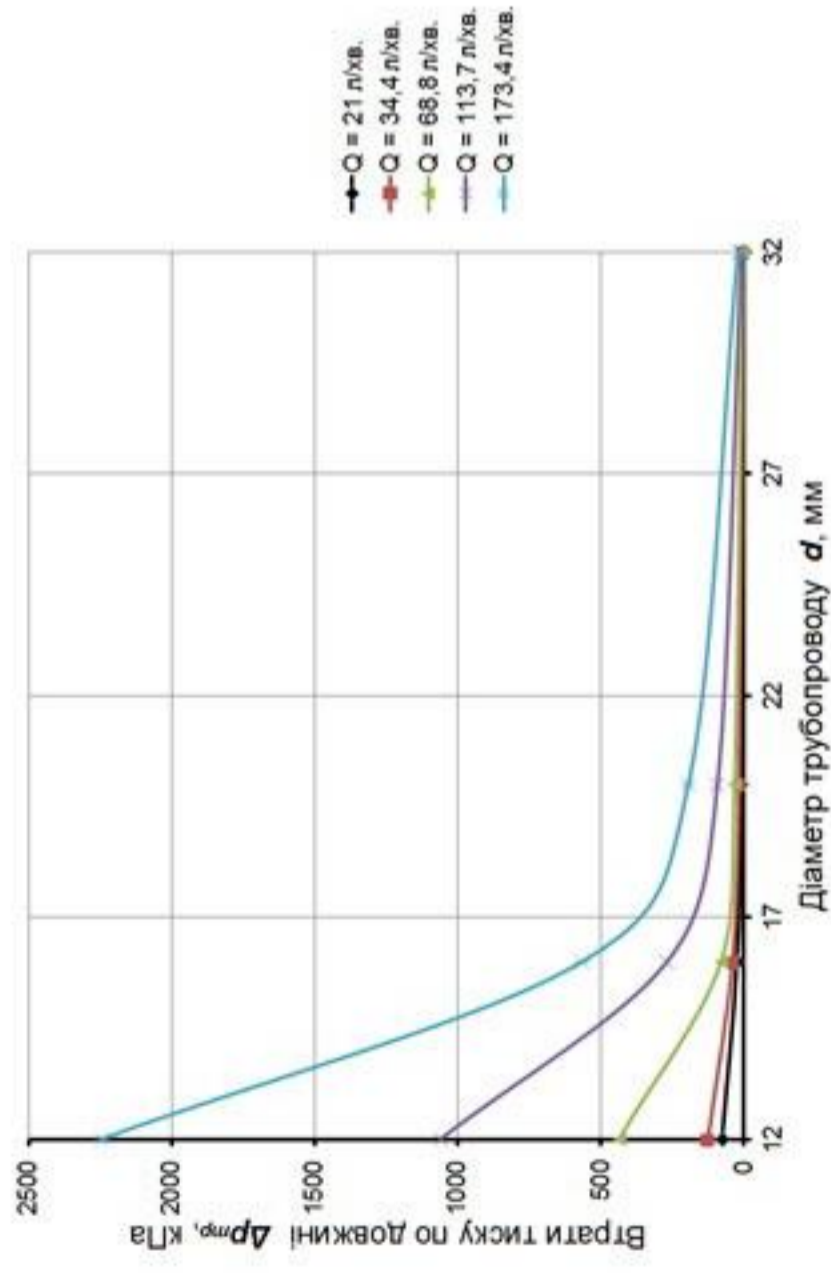


Рисунок 8 – Залежності втрат тиску по довжині  $\Delta P_{гр}$  від діаметра  $d$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі (при  $d = 12 \dots 32$  мм)

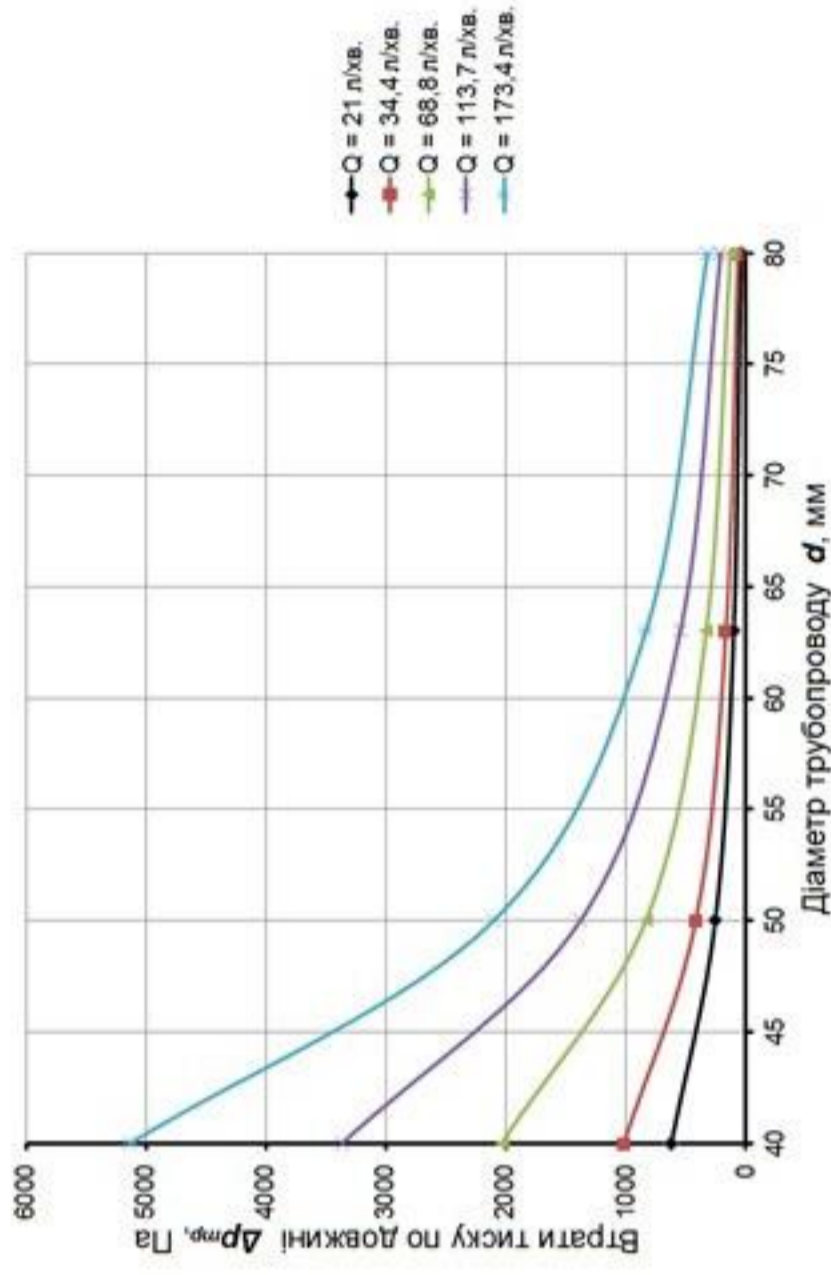


Рисунок 9 – Залежності втрат тиску по довжині  $\Delta P_{гр}$  від діаметра  $d$  трубопроводу для різних витрат  $Q$  в трубопроводі (при  $d = 40 \dots 80$  мм)

## Висновки

1. Розроблено алгоритм та блок-схему гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі.
2. Розроблено комп'ютерну програму «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі», яка призначена для швидкого і точного розрахунку втрат тиску рідини по довжині трубопроводу при русі рідини в трубопроводі, а також розрахунку втрат тиску на подолання місцевих гідравлічних опорів. Програма може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків у сфері «Гідравліки, гідродинаміки та гідроприводу».

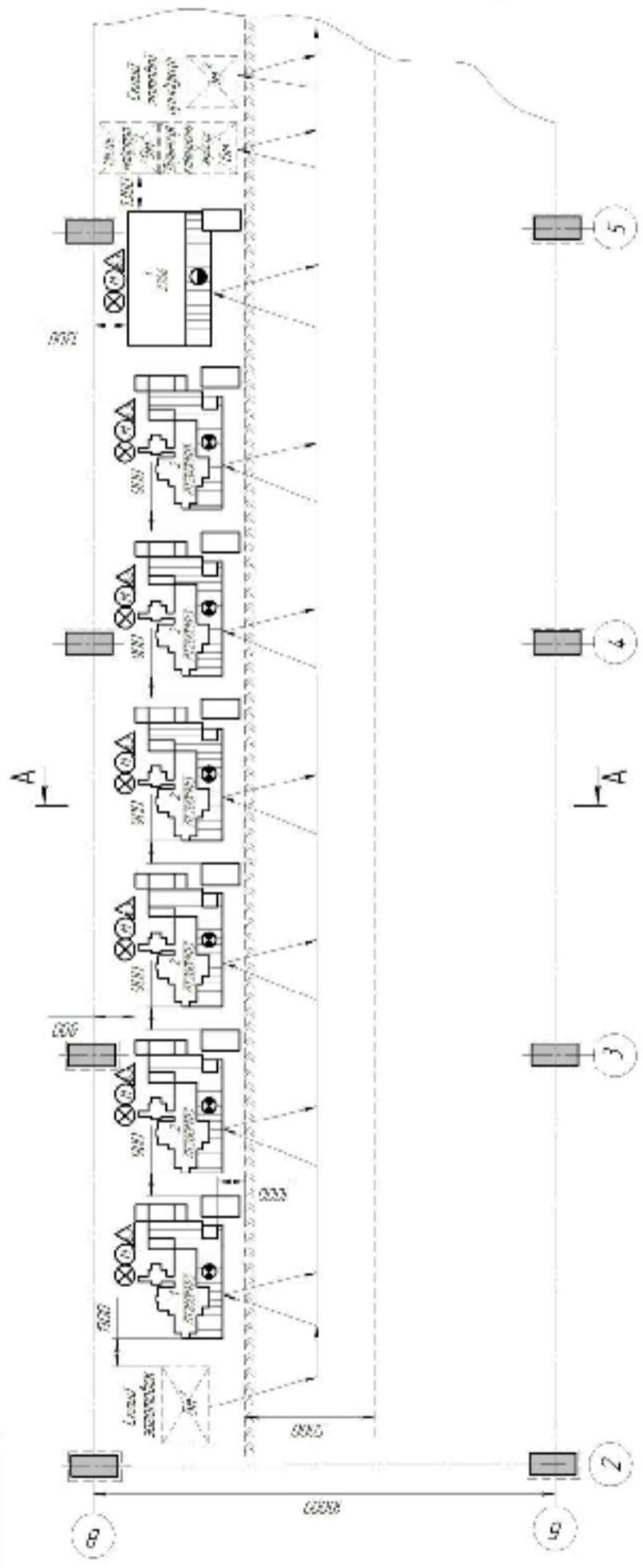


График  
Амплитудная таблица по осевым осям

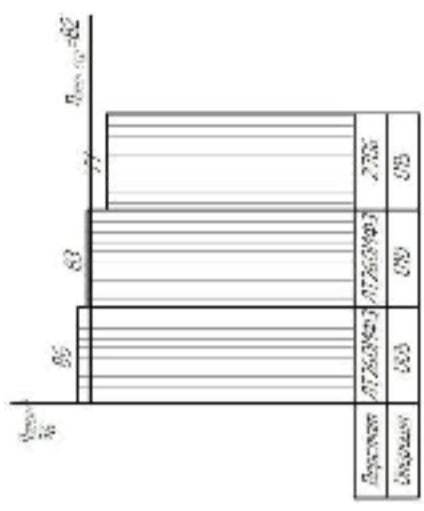
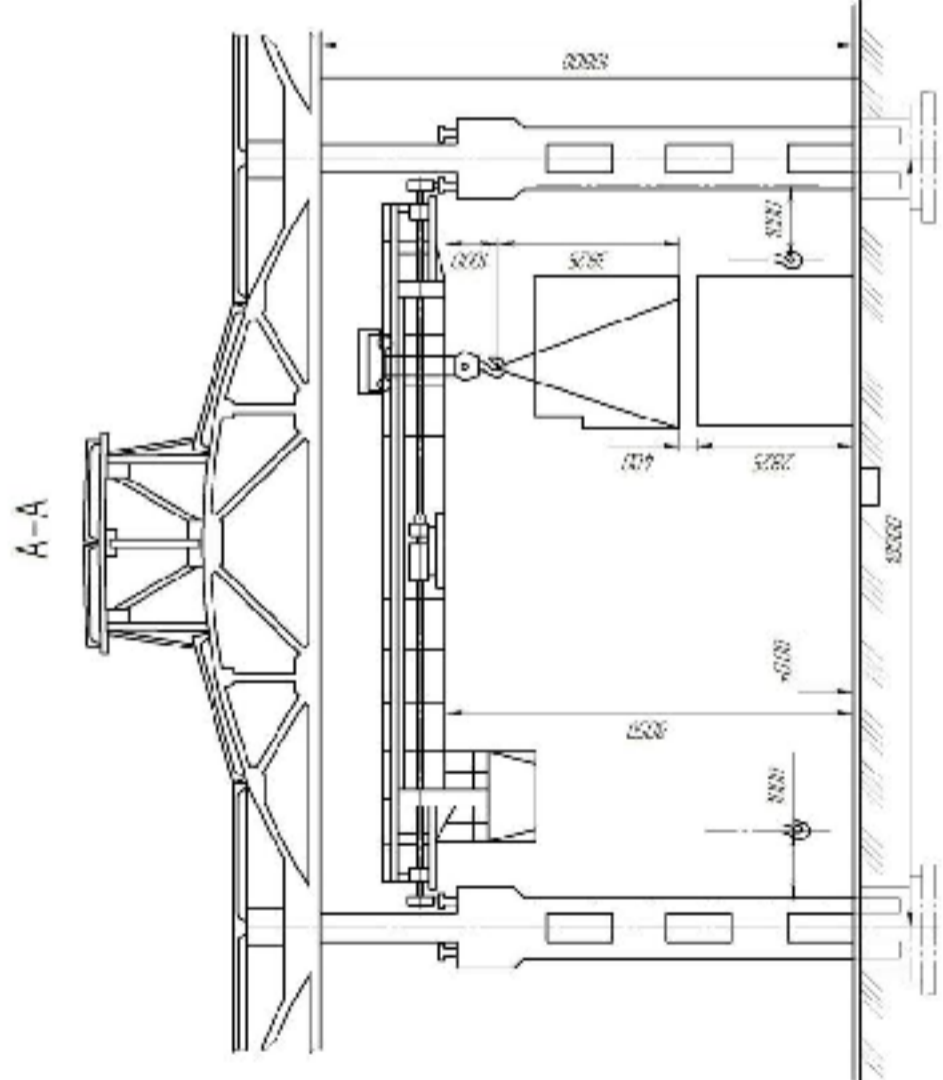
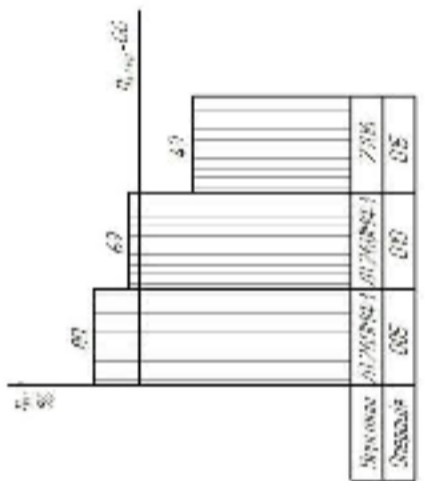


График  
Амплитудная таблица



- Техническое задание на проектирование
1. Площадь здания:
    - здание - 220 м<sup>2</sup>
    - входная - 175 м<sup>2</sup>
    - дополнительная - 45 м<sup>2</sup>
  2. Количество помещений:
    - рабочих помещений - 7
    - дополнительных - 2
    - ИП - 2
    - МОП - 1
    - служебный - 1
  3. Верстак, шт. - 7

09-26-МР/0.00.00.500.02	
План здания	1:50
Масштаб: 1:50	1:50
Исполнитель: [Signature]	Проверено: [Signature]
Дата: [Date]	Лист: [Page]

*Техніко-економічне порівняння технологічних процесів механічної обробки*

<i>Показники</i>	<i>Базовий технологічний процес</i>	<i>Удосконалений технологічний процес</i>
<i>Приведена програма випуску, шт.</i>	<i>55000</i>	<i>55000</i>
<i>Маса деталі, кг</i>	<i>0,81</i>	<i>0,81</i>
<i>Маса заготовки, кг</i>	<i>1,246</i>	<i>1,125</i>
<i>Коефіцієнт використання матеріалу</i>	<i>0,65</i>	<i>0,72</i>
<i>Собівартість виготовлення заготовки, грн.</i>	<i>147,83</i>	<i>98,74</i>
<i>Кількість операцій механічної обробки</i>	<i>12</i>	<i>3</i>
<i>Кількість верстатів, шт.</i>	<i>12</i>	<i>7</i>
<i>Кількість основних працюючих, чол.</i>	<i>14</i>	<i>7</i>
<i>Основний час обробки, хв.</i>	<i>21,3</i>	<i>18,14</i>
<i>Штучно-калькуляційний час обробки, хв.</i>	<i>30,46</i>	<i>21,44</i>
<i>Виробнича площа ділянки механічної обробки, м<sup>2</sup></i>	<i>260</i>	<i>175</i>
<i>Собівартість виготовлення деталі, грн.</i>	<i>269,37</i>	<i>187,06</i>
<i>Капітальні вкладення, грн.</i>	<i>–</i>	<i>3403990,84</i>
<i>Економічний ефект, грн./рік</i>	<i>–</i>	<i>1585715,05</i>
<i>Термін окупності, р.</i>	<i>–</i>	<i>2,15</i>