

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))

Бакалаврська дипломна робота

на тему:

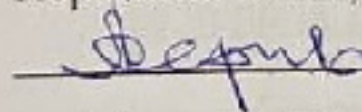
«ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ “КОРПУС
ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА” ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ВТРАТ
ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ ГІДРОПРИВОДУ З ТАКИМ НАСОСОМ»

Виконав: студент 4 курсу, групи 1ПМ-206
спеціальності 131 – Прикладна механіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Артем ЛЕВІЩЕНКО

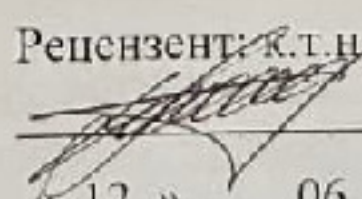
Керівник: к.т.н., доц., професор каф. ТАМ



Олександр ДЕРІБО

« 06 » 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц., зав. каф. АТМ

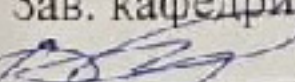


Сергій ЦИМБАЛ

« 12 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри ТАМ

 д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ

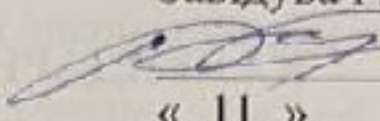
« 07 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, факультету)
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри)
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань - 13 Механічна інженерія
(шифр і назва)
Спеціальність - 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)
Освітньо-професійна програма -
Комп'ютеризовані технології та механотронні системи в машинобудуванні
(назва освітньо-професійної програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

 д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ
« 11 » 03 2024 р.

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Левіщенку Артему Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Технологія виготовлення деталі типу «Корпус шестеренного насоса» та автоматизація розрахунку втрат тиску в трубопроводі гідроприводу з таким насосом

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

затверджені наказом ВНТУ від « 11 » березня 2024 року № 80.

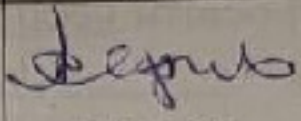
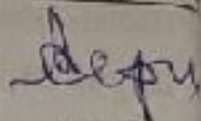
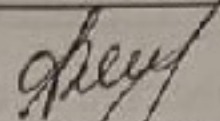
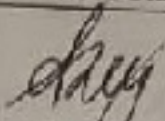
2. Термін подання студентом роботи: 14 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Корпус шестеренного насоса»; річна програма випуску 5 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; розробка технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус шестеренного насоса»; автоматизація гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі; розрахунок елементів ділянки механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус шестеренного насоса»; охорона праці; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Деталь «Корпус шестеренного насоса» (А3); 3D-модель деталі (А1); корпус шестеренного насоса (виливок) (А3); 3D-модель заготовки (А1); маршрут механічної обробки (А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); автоматизація гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі (5А1); графіки завантаження обладнання (А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконано прийняв
Спеціальна частина	Олександр ДЕРІБО, професор кафедри ТАМ	 11.03.24 р.	 06.06.24
Охорона праці	Інна ВІШТАК, доцент кафедри БЖД ПБ	 27.05.24 р.	 06.06.24

7. Дата видачі завдання « 11 » 03 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

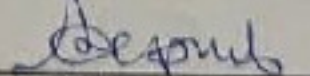
№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Прим.
		початок	закінчення	
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.24 р.	20.03.24 р.	Вик.
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	23.04.24 р.	26.04.24 р.	Вик.
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	27.05.24 р.	29.05.24 р.	Вик.
4	Виконання розділу «Охорона праці»	27.05.24 р.	06.06.24 р.	Вик.
5	Перевірка на антиплагіат	06.06.24 р.	07.06.24 р.	Вик.
6	Нормоконтроль БДР	06.06.24 р.	07.06.24 р.	Вик.
7	Попередній захист БДР	10.06.24 р.	11.06.24 р.	Вик.
8	Рецензування БДР	11.06.24 р.	12.06.24 р.	Вик.
9	Захист БДР	18.06.24 р.	21.06.24 р.	Вик.

Студент


(підпис)

Артем ЛЕВІЩЕНКО

Керівник роботи


(підпис)

Олександр ДЕРІБО

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 95 сторінок формату А4, на яких є 23 рисунків, 32 таблиць, список використаних джерел містить 32 найменувань.

Метою роботи є розробка технології виготовлення деталі типу «Корпус шестеренного насоса» та автоматизація розрахунку втрат тиску в трубопроводі гідроприводу з таким насосом.

У загальній частині роботи виконано огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус», проведено аналіз технологічності конструкції деталі, вибраний спосіб виготовлення заготовки з урахуванням техніко-економічного порівняння варіантів, спроектований технологічний процес, виконано розмірний аналіз технологічного процесу, проведені розрахунки припусків на обробку, режимів різання та технічних норм часу.

В роботі також представлено алгоритм гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі за заданими початковими даними та розроблено комп'ютерну програму для виконання цього розрахунку.

В розділі розрахунку елементів ділянки механічної обробки визначено приведену програму, розраховано кількість верстатів, коефіцієнти завантаження та кількість працюючих на ділянці.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні, наведені рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, деталь, режими різання, норми часу, ділянка механічної обробки.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 95 A4 pages, which have 23 figures, 32 tables, the list of sources used contains 32 items.

The purpose of the work is to develop a technology for manufacturing a part of the «Gear Pump Housing» type and to automate the calculation of pressure losses in the pipeline of a hydraulic drive with such a pump.

In the general part of the work, a review of the technology for manufacturing a part of the «Corps » type was carried out, an analysis of the manufacturability of the design of the part was carried out, a method for manufacturing a workpiece was selected taking into account the technical and economic comparison of options, a technological process was designed, a dimensional analysis of the technological process was performed, calculations of processing tolerances, cutting modes were carried out and technical standards.

The paper also presents an algorithm for hydraulic calculation of pressure losses in the pipeline based on given initial data and developed a computer program for performing this calculation.

In the section for calculating the elements of the machining section, the given program is defined, the number of machines, load factors and the number of workers on the site are calculated.

In the labor protection section, such issues as the causes of occurrence, the effect on the human body and the regulation of harmful and dangerous production factors in the production room are worked out, recommendations are given for improving working conditions, and fire safety standards are considered.

Keywords: technological process, machining, workpiece, part, cutting conditions, time standards, machining section.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»	7
1.1 Визначення типу виробництва і форми організації роботи	7
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»	12
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «КОРПУС ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА»	15
2.1 Аналіз конструкції і технологічності деталі	15
2.2 Вибір способу виготовлення заготовки	20
2.2.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки	20
2.2.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення	20
2.2.3 Оформлення ескізів двох варіантів заготовки	30
2.2.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси двох варіантів заготовки	31
2.2.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого	32
2.3 Розробка маршруту механічної обробки	34
2.3.1 Вибір (з обґрунтуванням) способів механічної обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності, визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні $\varnothing 46H8^{(+0,039)}$	34
2.3.2 Вибір (з обґрунтуванням) чистових і чорнових технологічних баз	36
2.3.3 Розробка маршруту механічної обробки	38
2.3.4 Розмірний аналіз технологічного процесу	40
2.3.5 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь	45
2.3.6 Визначення режимів різання	50
2.3.7 Визначення технічних норм часу	55

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ	59
3.1 Вступ та постановка мети роботи	59
3.2 Алгоритм гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі	60
3.3 Комп'ютерна програма для гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі	66
3.4 Розрахунок втрат тиску в трубопроводі	68
3.5 Висновки	71
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА»	72
4.1 Розрахунок приведеної програми	72
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	78
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	80
4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці	82
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	84
5.1 Аналіз умов праці	84
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	85
5.3 Технічні рішення з пожежної безпеки	89
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
ДОДАТКИ	96
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	96
Додаток Б (обов'язковий). Графічна частина	97

ВСТУП

Актуальність. Сучасний розвиток технологій обробки металів різанням зазнає значних змін. Інтенсифікація технологічних процесів завдяки впровадженню ріжучих інструментів з новітніх матеріалів, розширення застосування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), створення роботизованих верстатних комплексів та гнучких виробничих систем з комп'ютерним управлінням – усе це сприяє підвищенню розмірної та геометричної точності обробки. Важливими напрямками розвитку технології механічної обробки в машинобудуванні є підвищення ефективності та якості виробничих процесів. Ці зміни не тільки забезпечують високу точність виготовлення деталей, але й дозволяють знизити виробничі витрати та покращити загальну продуктивність підприємств.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – проектування технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус шестеренного насоса» та автоматизація розрахунку втрат тиску в трубопроводі гідроприводу з таким насосом.

Завдання, що вирішуються в роботі:

- проведення огляду технології виготовлення деталі типу «Корпус»;
- встановлення типу виробництва та форми організації роботи;
- якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- проектування технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус шестеренного насоса»;
- розмірний аналіз технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу технологічного процесу механічної обробки;
- автоматизація гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі;
- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на проектуємій ділянці;
- виконання розділу з охорони праці.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»

1.1 Визначення типу виробництва і форми організації роботи

Коефіцієнт закріплення операцій [1, 2]:

$$K_{\text{зк}} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P}, \quad (1.1)$$

де ΣO – сумарна кількість операцій, що виконується на даному робочому місці.

ΣP – сумарна кількість робочих місць для виконання операцій.

Визначаємо 8 найбільш характерних переходів механічної обробки виключивши дрібні і трудомісткі. Розраховуємо основний та штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шк}} = T_o \cdot \phi_k, [\text{хв.}] \quad (1.2)$$

де T_o – основний час,

ϕ_k – коефіцієнт, що вибирається в залежності від типу верстата.

Визначення прийнятої кількості робочих місць. Заокруглюємо кількості верстатів до найбільшого більшого цілого числа.

$$\begin{array}{llll} 1) P_1 = C_P = 1, & 2) P_2 = C_P = 1, & 3) P_3 = C_P = 1, & 4) P_3 = C_P = 1, \\ 5) P_4 = C_P = 1, & 6) P_5 = C_P = 1, & 7) P_6 = C_P = 1, & 8) P_3 = C_P = 1. \end{array}$$

Розраховуємо фактичний коефіцієнт завантаження.

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{C_p}{P}, \quad (1.4)$$

де C_p – розрахункова кількість верстатів,

P – прийнята кількість робочих місць.

$$1) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,0042}{1} = 0,0042 ,$$

$$5) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,031}{1} = 0,049 ,$$

$$2) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,0042}{1} = 0,0042 ,$$

$$6) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,031}{1} = 0,049 ,$$

$$3) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,0042}{1} = 0,0042 ,$$

$$7) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,031}{1} = 0,049 ,$$

$$4) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,0058}{1} = 0,0058 ,$$

$$8) \eta_{\text{зв}} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,005}{1} = 0,005 .$$

Таблиця 1.1 – Основний та штучно-калькуляційний час

№	Переходи	$T_0 \cdot 10^{-3}$, хв.	T_0 , хв.	φ_k	$T_{\text{шк}}$, хв.
1	Фрезерувати поверхню 94 попередньо.	71	$7 \cdot 122 \cdot 10^{-3} = 0,854$	1,84	1,57
2	Фрезерувати поверхню 94 попередньо.	71	$7 \cdot 122 \cdot 10^{-3} = 0,854$	1,84	1,57
3	Фрезерувати поверхню 94 попередньо.	71	$7 \cdot 122 \cdot 10^{-3} = 0,854$	1,84	1,57
4	Свердлити 10 отв. $\varnothing 8$ однократно	$10 \cdot 0,52 \text{dl}$	$10 \cdot 0,52 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 1,248$	1,72	2,146
5	Розточити 2 отвори $\varnothing 46$ попередньо	$2 \cdot 0,2 \text{dl}$	$2 \cdot 0,2 \cdot 46 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,552$	3,25	1,794
6	Розточити 2 отвори $\varnothing 46$ попередньо	$2 \cdot 0,2 \text{dl}$	$2 \cdot 0,2 \cdot 46 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,552$	3,25	1,794
7	Розточити 2 отвори $\varnothing 46$ остаточно	$2 \cdot 0,2 \text{dl}$	$2 \cdot 0,2 \cdot 46 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,552$	3,25	1,794
8	Фрезерувати поверхню 38 однократно	61	$6 \cdot 17 \cdot 10^{-3} = 0,102$	1,84	0,187

Розрахунок кількості верстатів:

$$C_p = \frac{N_{\text{зв}} \cdot T_{\text{зв}}}{60 \cdot F_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{зв}}} , \quad (1.3)$$

де F_d – дійсний річний фонд (4060 год.);

η_{zn} – нормативний коефіцієнт завантаження (одиничне та дрібносерійне 0,8-0,9, серійне 0,75-0,85, великосерійне, масове 0,65-0,75).

$$1) C_p = \frac{5000 \cdot 1.57}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.042,$$

$$2) C_p = \frac{5000 \cdot 1.57}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.042,$$

$$3) C_p = \frac{5000 \cdot 1.57}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.042,$$

$$4) C_p = \frac{5000 \cdot 2.146}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.058,$$

$$5) C_p = \frac{5000 \cdot 1.794}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.049,$$

$$6) C_p = \frac{5000 \cdot 1.794}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.049 ,$$

$$7) C_p = \frac{5000 \cdot 1.794}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.049 ,$$

$$8) C_p = \frac{5000 \cdot 0.187}{60 \cdot 4060 \cdot 0.75} = 0.005 .$$

Визначаємо кількість операції, що виконуються на одному робочому місці.

$$O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}}, \quad (1.5)$$

де η_{zn} – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ($\eta_{zn} = 0.75$ – для серійного типу виробництва).

$$1) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.042} = 18 ,$$

$$5) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.049} = 16 ,$$

$$2) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.042} = 18 ,$$

$$6) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.049} = 16 ,$$

$$3) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.042} = 18 ,$$

$$7) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.049} = 16 ,$$

$$4) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.058} = 13 ,$$

$$8) O = \frac{\eta_{zw}}{\eta_{zf}} = \frac{0.75}{0.005} = 150 .$$

Якщо при нормуванні штучного часу з'являються значення, які суттєво відрізняються, то такі значення потрібно відкинути як нехарактерні. В даному випадку нехарактерним є $O=150$.

$$K_{\text{ш}} = \frac{18 + 18 + 18 + 13 + 16 + 16 + 16}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = \frac{139}{7} = 16,42.$$

Отже виробництво серійне.

Таблиця 1.2 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

№ п/п	Зміст технологіч- них переходів	Формула для розрахунку $T_{\text{очн}} \cdot 10^{-3}$ ХВ	Параметри обробки, мм	$T_{\text{очн}}$, ХВ	φ_k	$T_{\text{шт.к.}}$, ХВ	C_p	P	$\eta_{\text{з.ф.}}$	O	$K_{\text{з.о.}}$
1	Фрезерувати поверхню 94 попередньо	7l	l=122;	0,854	1,84	1,57	0,042	1	0,042	18	16,42
2	Фрезерувати поверхню 94 попередньо	7l	l=122;	0,854	1,84	1,57	0,042	1	0,042	18	
3	Фрезерувати поверхню 94 остаточно	7l	l=122;	0,854	1,84	1,57	0,042	1	0,042	18	
4	Свердлити 10 отв. Ø8 однократно	$10 \cdot 0,52$ dl	d=8; l=30;	1,248	1,72	2,146	0,058	1	0,058	13	
5	Розточити 2 отвори Ø46 попередньо	$2 \cdot 0,2dl$	d=46; l=30;	0,552	3,25	1,794	0,049	1	0,049	16	
6	Розточити 2 отвори Ø46 попередньо	$2 \cdot 0,2dl$	d=46; l=30;	0,552	3,25	1,794	0,049	1	0,049	16	
7	Фрезерувати поверхню 38 однократно	$2 \cdot 0,2dl$	d=46; l=30;	0,552	3,25	1,794	0,049	1	0,049	16	

Визначення форми виробництва.

Потрібний добовий випуск виробів:

$$N_{\partial} = \frac{N_{p. np.}}{254} \text{ [шт.]}, \quad (1.6)$$

де $N_{p. np.}$ – річна програма випуску деталей;

254 – кількість робочих днів у році.

$$N_{\partial} = \frac{5000}{254} = 19,68.$$

Розрахунковий випуск виробів:

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{\text{сер.шт-к}}} \cdot \eta_z \text{ [шт.]}, \quad (1.7)$$

де F_{∂} – дійсний фонд часу обладнання;

$T_{\text{сер.шт-к}}$ – середній штучно-калькуляційний час.

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{\sum T_{\text{шт-к}}}{n} = \frac{1,57 + 1,57 + 1,57 + 2,146 + 1,794 + 1,794 + 1,794}{7} = 1,74 \text{ (хв.)}$$

$$Q_{\partial} = \frac{4060}{1,74} \cdot 0,75 = 2333,33 \text{ (шт.)}$$

Виходячи з умови $N_{\partial} < Q_{\partial} = 19,68 < 2333,33$ – використовуємо групову лінію.

Кількість деталей в партії:

$$n = \frac{N_{np} \cdot a}{254}, \quad (1.8)$$

де a – періодичність запуску деталей на обробку ($a = 3, 6, 12, 24$).

$$n = \frac{5000 \cdot 6}{254} = 118,11 \approx 119 \text{ (шт.)}$$

Розрахункове число змін:

$$c = \frac{T_{\text{зм} - \text{к.сп}} \cdot n}{476 \cdot 0,8}, \quad (1.9)$$

$$c = \frac{1,74 \cdot 119}{476 \cdot 0,8} = 0,54 \approx 1.$$

Визначаємо кількість деталей у партії

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,54 \cdot c_{\text{пр}}}{T_{\text{зм} - \text{к.сп}}}, \quad (1.10)$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,54 \cdot 1}{1,74} = 147,7 \approx 148 \text{ (шт.)}.$$

Приймаємо кількість деталей у партії 148 шт.

Висновок: тип виробництва – середньосерійний, форма організації роботи – групова.

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

Задану деталь «Корпус шестеренного насосу» відноситься до класу корпусних [1-7]. Типовий маршрут механічної обробки подібної деталі показано в таблиці 1.2.

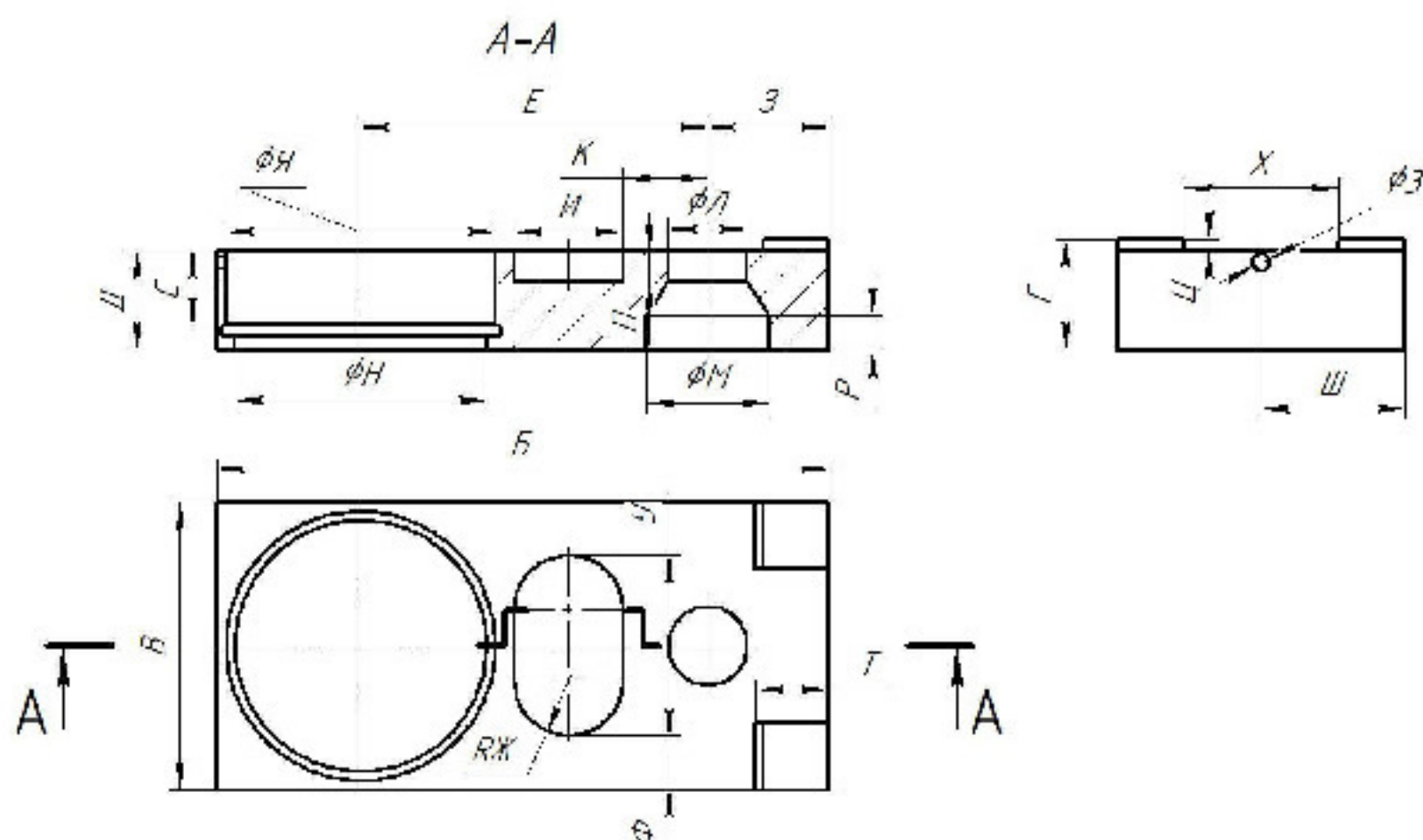


Рисунок 1.1 – Типова деталь в умовах даного типу виробництва

Таблиця 1.3 – Маршрут механічної обробки типової деталі

Операція	Назва та зміст операції	Верстат, пристосування	Оснащення
1	2	3	4
005	Відрізати заготовку від полоси	Абразивно-відрізний автомат 8В262	Тіски
010	Фрезерувати 2 широкі поверхні в розмір $D+0,3$ під шліфування і дві поверхні в розмір B остаточно	Вертикально-фрезерний 6Т12	Гідротіски
015	Зачистити заусениці після фрезерування	Машина для зняття заусениць	
020	Шліфувати дві широкі широкі поверхні в розмір D остаточно	Плоскошліфувальний 3П722ДВ	Магнітна плита
025	Фрезерувати два платика в розмір $T \times X$ остаточно. Свердли, розточити і розвернути один отвір $\varnothing Я/\varnothing Н$ остаточно. Фрезерувати паз $I \times П$ остаточно, свердли і зенкувати один отвір $\varnothing Л/\varnothing М$ остаточно	Розточно-свердлильно-фрезерний з ЧПК і інструментальним магазином 2254ВМФ4	Наладка УСПО двохпозиційна

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
030	Свердлити один отвір ØЭ	Вертикально-свердильний 2Н125-1	Кондуктор
035	Зачистити заусениці	Вібраційна машина ВМПВ-100	
040	Промити деталь	Миюча машина	
045	Технічний контроль		
050	Хімічне оксидування		
055	Нанесення антикорозійного покриття		

Даний тех. процес є подібним до обробки деталі «Корпус шестеренного насосу».

Подібність конструкції:

- дана і типова деталі мають лінійні та циліндричні поверхні;
- у типовій деталі немає кріпильних отворів, а у даної деталі вони є.
- у даної деталі верхня і нижня поверхня є плоскими, а в типової нижня та верхня плоскі, але на верхній існують невеликі виступи;
- обидві деталі мають наскрізні отвори, що розточуються;
- у типової деталі існує ще одна поверхня що фрезерується;
- у даній деталі існує 2 отвори з різьбою, чого немає в типовій.

Можливість використання обладнання: процес виготовлення заготовки проводиться в цеху, що є типовим для серійного виробництва. Обладнання, що використане на перших операціях для виготовлення типової деталі недоцільно використовувати в процесі механічної обробки даної деталі тому доцільнішим є використання універсальних фрезерних верстатів та верстатів з ЧПК.

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «КОРПУС ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА»

2.1 Аналіз конструкції і технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз

Деталь «Корпус шестеренного насоса» служить для розміщення в ній елементів складального вузла. Деталь сприймає незначні статичні і динамічні навантаження, тому матеріалом вибраний чавун СЧ20 ГОСТ 1215-79.

Деталь корпус виготовляється із сірого чавуну СЧ 20, має ряд отворів. В деяких отворах нарізана різь, інші мають досить високу точність 7-8 квалітет.

Конструкторські бази площина і отвори $\varnothing 46\text{H}8$, $\varnothing 8\text{H}7$, вільна поверхня – торці, на яких відсутні отвори.

У відповідності із призначенням поверхонь до них ставляться вимоги: найбільш точними є поверхні $\varnothing 46\text{H}8$, $\varnothing 8\text{H}7$ та площини із шорсткістю 1,6 мкм.

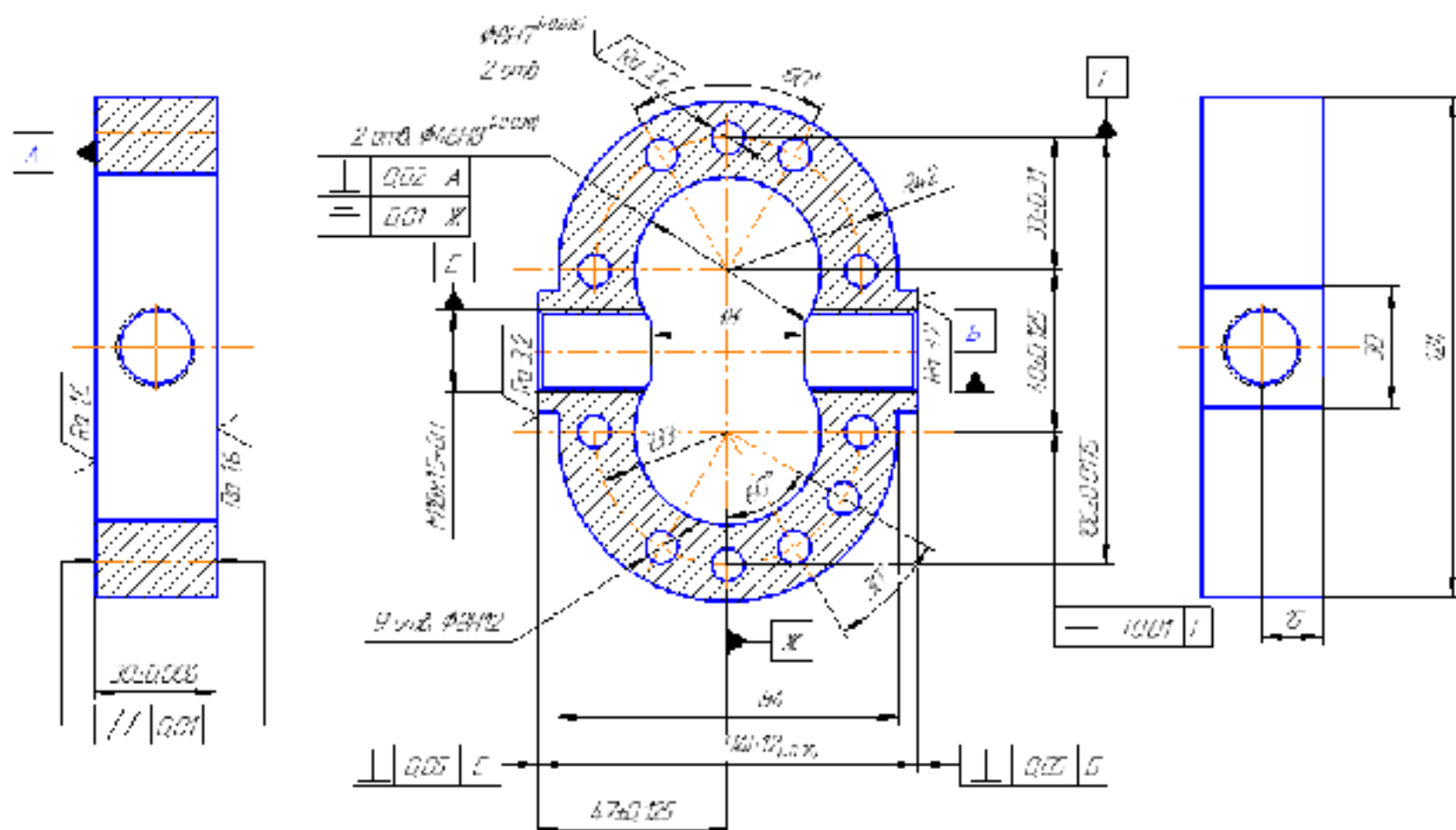


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі «Корпус шестеренного насоса»

- Проаналізувавши умови роботи вузла та річну програму випуску, а також існуючу конструкцію можна зробити висновок, проте що дана деталь має не складну конфігурацію тому необхідності у спрощенні конструкції немає.

- Оскільки заготовка отримана методом лиття, а поверхні, що потребують механічної обробки, мають достатню продуктивність для даної програми випуску, тому запровадження нових високопродуктивних методів обробки може не принести бажаного покращення якості та зменшення собівартості даного виробу.

- У конструкції виробу присутні наступні конструктивні елементи – торці корпусу, на якому розміщені отвори, конфігурація деталі середньої складності.

- Проаналізувавши конструкцію деталі та технологічний процес можна зробити висновок, що при обробці всіх поверхонь виконується принцип співпадання вимірювальної та технологічної баз, та обробка з одного установа. За рахунок виконання цієї умови забезпечується необхідна точність відповідальних поверхонь виробу.

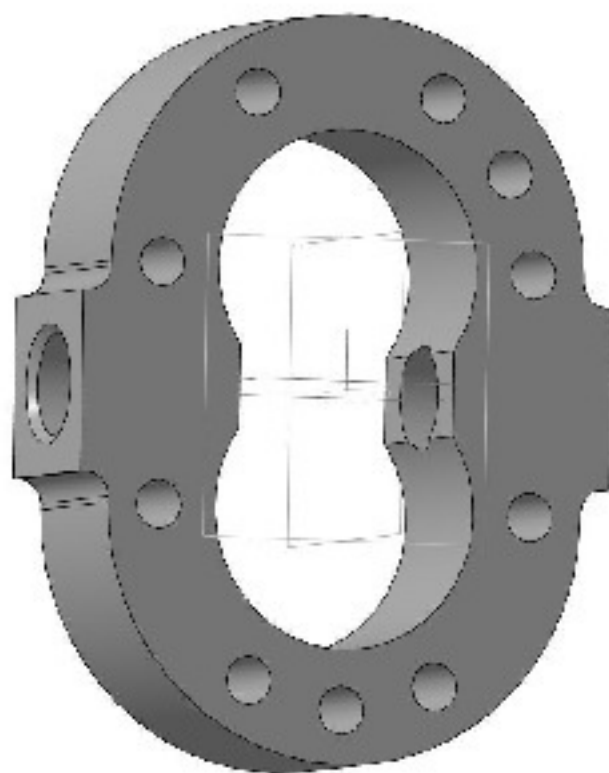


Рисунок 2.2 – 3D-модель деталі «Корпус шестеренного насоса»

- Під час аналізу креслення та перевірки залежності допустимих відхилень, шорсткостей від відхилень геометричної форми та взаємного розміщення поверхонь можна зробити висновок, що залежності відповідають вимогам.

Таблиця 2.2 – Діаметральні розміри

Діаметральні розміри	Ø8(10пов)	Ø 46x2H8 ^{+0,039}	Ø 33x2	R42x2
Уніфіковані розміри	Ø8(10пов)	—	—	R42x2
Кількість розмірів – 16				
Кількість уніфікованих розмірів – 12				

Таблиця 2.3 – Кутові розміри

Кутові розміри	30°	60°x2
Уніфіковані розміри	30°	60°x2
Кількість розмірів – 3		
Кількість уніфікованих розмірів – 3		

Таблиця 2.4 – Різьбові розміри

Різьбові розміри	M17x2
Уніфіковані розміри	—
Кількість розмірів – 1	
Кількість уніфікованих розмірів – 0	

Таблиця 2.5 – Уніфіковані і не уніфіковані елементи деталі

Лінійні розміри		Діаметральні розміри		Кутові розміри		Різьбові розміри	
уніфік.	неуніф.	уніфік.	неуніф.	уніфік.	неуніф.	уніфік.	неуніф.
6	1	12	4	3	0	0	1

$$K_y = 21/27 = 0,78.$$

При $K_y > 0,6$ деталі відносяться до технологічних.

Коефіцієнт точності:

$$K_{\tau} = 1 - \frac{I}{T_{\varphi}}, \quad (2.2)$$

де T_{cp} – середній квалітет точності.

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

де T_i – квалітет точності поверхні,

n_s – кількість розмірів певного квалітету точності,

n_i – загальна кількість розмірів.

$$T_{\text{ср}} = \frac{360}{27} = 13,33,$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{13,33} = 0,924.$$

Таблиця 2.6 – Квалітети точності поверхонь деталі

Квалітет	Розміри	Кількість пов.	Розрахунок
8	Ø46	2	2x8 = 16
10	30	1	1x10 = 10
12	94	1	1x12 = 12
14	23(R42x2, 30, 15, 38, 40, 1,5x2, R33, M17x2, Ø8x10, 30°, 60°x2)	23	14x23 = 322
Всього		27	360

При $K_T \geq 0,8$ деталь відноситься до технологічних

Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}}, \quad (2.4)$$

де $\text{Ш}_{\text{ср}}$ – середня шорсткість.

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum \text{Ш}_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.5)$$

де Ш_i – шорсткість поверхні,

n_s – кількість розмірів певної шорсткості,

n_i – загальна кількість розмірів.

Таблиця 2.7 – Параметри шорсткості поверхонь

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6	Ø46x2, 30x2	4x1,6 = 6,4
3,2	M17x2, 94x2	4x3,2 = 12,8
6,3	Ø8x10	10x6,3 = 63
16	R42x2, 30, 15, 38, 40, 1,5x2, R33	9x16 = 144
Всього	27	226,2

$$Ш_{\text{ср}} = \frac{226,2}{27} = 8,37,$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{Ш_{\text{ср}}} = \frac{1}{8,37} = 0,12.$$

При $K_{\text{ш}} \leq 0,32$ деталі відносяться до технологічних.

Отже, з виконаних розрахунків можна зробити висновок, що дана деталь відповідає усім вимогам технологічності.

2.2 Вибір способу виготовлення заготовки

2.2.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Оскільки матеріал заготовки – чавун, СЧ20 за ГОСТ 1412-85, що має досить гарні ливарні властивості, тому метод виготовлення заготовки обираємо лиття [8-12].

Проаналізувавши всі можливі способи лиття, ми обираємо лише два найоптимальніші з них. В даному випадку це буде лиття в оболонкові форми та лиття в облицьований кокіль. Тому що у нас виробництво серійне і необхідна відносно висока точність виливка. Ці 2 варіанта по показникам коефіцієнта використання матеріалу, шорсткості, точності найбільше підходять.

2.2.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох варіантів її виготовлення

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

Результат визначення необхідних параметрів заносимо у таблицю 2.8 та 2.9, відповідно для операцій лиття в оболонкові форми та в облицьований кокіль.

Проаналізувавши конструкцію деталі, можна зпроектувати ескіз конфігурації виливка, який буде ідентичний для двох способів лиття (рис. 2.3).

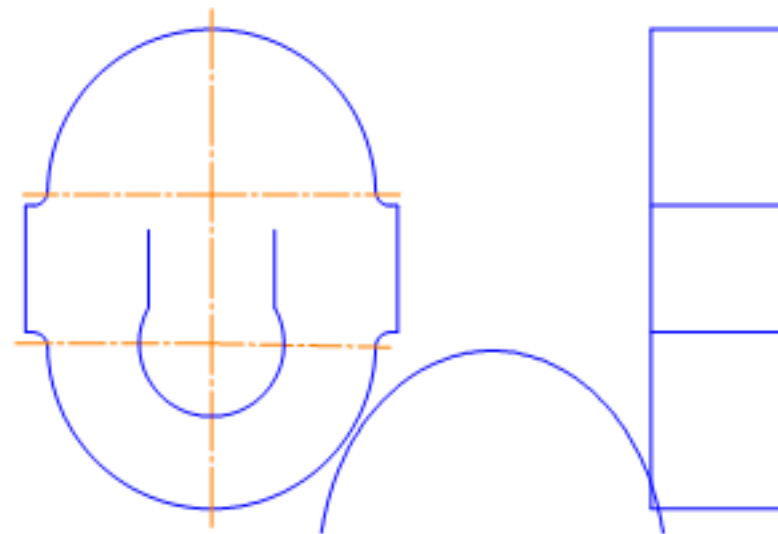


Рисунок 2.3 – Конфігурація виливка

Послідовність заповнення числових даних у вище наведених таблицях здійснювалась таким чином:

1) Клас розмірної точності.

В залежності від технологічного процесу, найбільшого габаритного розміру деталі та типу сплаву обираємо діапазон значень, із яких визначатимемо відповідне оптимальне число. Враховуючи, що тип виробництва – середньосерійне, то серед рекомендованих за ГОСТ 26645-85 значень обираємо середні із них. Отже, результуючим значенням буде 10 для лиття в оболонкові форми і 9 для лиття в облицьований кокіль.

2) Ступінь жолоблення елементів виливка.

Обираємо в залежності від співвідношення найменшого розміру елемента виливка до найбільшого, типу ливарних форм та наявної термічної обробки. Оскільки ми маємо відповідні розміри 122 мм – найбільший, 19 мм – найменший, то їх співвідношення становитиме $19/122=0,015$. І якщо на робочому кресленні твердість не вказана, то це значить, що термічна обробка попередньо не відбувалася. Значить отримаємо певний діапазон значень. Оскільки даний

матеріал – сірий чавун, то обираємо більші числа із значень: 6, при литті оболонкові форми, та 4 – при литті в облицьований кокіль.

Таблиця 2.8 – Параметри виливка (лиття в оболонкові форми)

Вихідні дані	Згідно ГОСТ 26645-85		Прийнято	
Клас розмірної точності	8 – 13т		10	
Ступінь жолоблення елементів виливка	4 – 7		6	
Ступінь точності поверхонь виливка	8 – 14		11	
Шорсткість поверхонь виливка	20		20	
Клас точності маси	7 – 14		10	
Ряд припусків	4 – 7		5	
Розрахункові розміри	30h10 _{0.084}	94h12 _{-0.35}	38	Ø46H8 ^{+0.039}
Допуски				
Розмірів	2,2	2,8	2,2	2,4
Форми чи розміщення	0,4	0,4	0,4	0,4
Зміщення по площині роз'ємну	-	2,2	-	-
Зміщення через перекос стержня	-	-	1,8	1,6
Маси	16	16	16	16
Нерівностей	0,5	0,5	0,5	0,5
Загальний допуск	2,4	3,2	2,4	2,4
Припуски				
Мінімальний	0,5	0,5	0,5	0,5
Кількість переходів механічної обробки				
За точністю розмірів	4	2	1	4
За відхиленням форм, взаємним розміщенням поверхонь	4	1	-	4
Прийнята кількість переходів	4	2	1	4
Загальний припуск	3,4	3,4	1,9	3,4
Розміри заготовки	36,8	100,8	34,2	Ø 39,2

Таблиця 2.9 – Параметри виливка (лиття в облицьований кокіль)

Вихідні дані	Згідно ГОСТ 26645-85		Прийнято	
Клас розмірної точності	7т – 11		9	
Ступінь жолоблення елементів виливка	2 – 5		4	
Ступінь точності поверхонь виливка	8 – 14		10	
Шорсткість поверхонь виливка	16		16	
Клас точності маси	5 – 13т		9	
Ряд припусків	3 – 6		4	
Розрахункові розміри	30h10 _{-0,084}	94h12 _{-0,35}	38	Ø46H8 ^{+0,039}
Допуски				
Розмірів	1,8	2,2	1,8	2,0
Форми чи розміщення	0,24	0,24	0,24	0,24
Зміщення по площині роз'ємну	-	1,8	-	-
Зміщення через перекося стержня	-	-	1,1	1,2
Маси	12	12	12	12
Нерівностей	0,4	0,4	0,4	0,4
Загальний допуск	2,0	2,4	2,0	2,0
Припуски				
Мінімальний	0,4	0,4	0,4	0,4
	Кількість переходів механічної обробки			
За точністю розмірів	4	1	1	4
За відхиленням форм, взаємним розміщенням поверхонь	4	1	-	4
Прийнята кількість переходів	4	1	1	4
Загальний припуск	2,9	1,9	1,5	2,9
Розміри заготовки	35,8	97,8	35	Ø 40,2

3) Ступінь точності поверхонь виливка.

Обираємо у відповідності до технологічного процесу лиття, враховуючи що найбільший габаритний розмір виливка становить 124 мм, тип сплаву – чавун, не відбувалася попередня термічна обробка. Значить в результаті отримаємо значення: 11 і 10 при литті в оболонкові і в кокіль відповідно. Також

важливо зазначити, що середні значення із рекомендованого діапазону обираємо при умовах серійного виробництва.

4) Шорсткість поверхонь виливка.

Обираємо згідно із попередньо визначеним ступенем точності поверхонь. Враховуючи, що даний ступінь точності знаходиться в межах до 18, то призначаємо шорсткість R_a в мкм: 20 та 16 при литті оболонкові та в облицьований кокіль відповідно.

5) Клас точності маси.

Приймаємо в залежності від технологічного способу лиття, враховуючи, що номінальна маса виливка становить 1,17 кг; для лиття в оболонкові форми і 1,33 кг. для лиття в облицьований кокіль. Також враховуємо в залежності від типу сплаву та наявності термічної обробки. Отже, в результаті отримаємо відповідно 10 і 9. Середні значення із рекомендованих приймаємо тому, що тип виробництва – серійне і компактність виливка досить висока.

6) Ряд припусків.

Приймаємо згідно із ступенем точності поверхні. Враховуючи, що матеріал – сірий чавун і температура плавлення досить висока, то приймаємо середні значення: 5 і 4 відповідно.

7) Допуски розмірів виливка.

Вибираємо у відповідності з номінальним розміром деталі та вже отриманих необхідних класів точності. Отже маємо для обраних операцій, що залежать прямопропорційно від класу розмірної точності, оскільки виливок отримується 2-ма напівформами.

8) Допуски форми чи розміщення.

Встановлюємо згідно із отриманими номінальними розмірами та ступенем жолоблення елементів виливка. Зазначимо, що за номінальний розмір нормованої ділянки беремо найбільший з розмірів даної ділянки елемента виливка, для якого регламентується відхилення форми і розташування поверхні.

9) Допуски зміщення по площині роз'єму.

Вибираємо на рівні класу розмірної точності вилівка за номінальним розміром найбільш тонкої із стінок вилівка, що входить на лінію роз'єднання пів форм або перетинаючи її. Для обох операцій площа роз'єднання проходить однаково, на якій найбільш тонка товщина стінки становить 19 мм, допуск складає 2,0 та 1,6мм відповідно.

10) Допуск зміщення через перекіс стержня.

Приймаємо на 2 та 1 класи точніше класу розмірної точності вилівка, за номінальним розміром найбільш тонкої із стінок вилівка, що формується з участю стержня.

11) Допуск маси.

Призначаємо в залежності від маси вилівка та класу точності маси. Оскільки на даному етапі маса вилівка ще невідома, то її визначаємо наближено за масою деталі $Q_{дет}$ та коефіцієнтом використання матеріалу заготовки γ , що для лиття в облицьований кокіль коливається в межах 0,71 – 0,75, приймаємо 0,75 та $Q_{дет}$ при цій операції рівне 1 кг. Тоді $Q_{заг} = 1/0,75 = 1,33 \text{ кг.}$, у випадку із литтям в оболонкові, коефіцієнт використання матеріалу становить досить високе значення, отже: $Q_{заг} = 1/0,85 = 1,17 \text{ кг.}$ У відповідності з цими числами обираємо необхідні нам дані.

12) Допуск нерівностей.

Вибираємо в залежності від ступеня точності поверхонь вилівка, тобто в залежності від вибраної шорсткості.

13) Загальний допуск.

В даному випадку враховуємо сумарний вплив допуску розміру і допусків форми чи розміщення поверхні та приймаємо у відповідності до двох найбільших значень, отриманих із усіх попередніх величин допусків різних параметрів.

14) Мінімальний припуск.

Приймаємо згідно з рядом припусків, що попередньо обрані. Для всіх поверхонь однаковий і призначається для усунення нерівностей, дефектів литої поверхні, зменшення шорсткості у відповідності за ГОСТ 26645-85.

15) Кількість переходів механічної обробки за точністю розмірів.

Приймаємо в залежності від допуску розміру вилівка та співвідношення між допусками розміру деталі і вилівка $T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.}$. При цьому допуск розміру вилівка ми обирали попередньо та заносили значення у таблицю. Допуск розміру деталі знаходимо на робочому кресленні деталі. Отже для лиття в оболонкові форми буде:

$$\begin{aligned} 30h10 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,084/2,2 = 0,038; & \rightarrow 4 \\ 94h12 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,35/2,8 = 0,125; & \rightarrow 2 \\ 38 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,62/2,4 = 0,258; & \rightarrow 1 \\ \varnothing 46H8 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,039/2,4 = 0,0162; & \rightarrow 4 \end{aligned}$$

І також для операції лиття в облицьований кокіль:

$$\begin{aligned} 30h10 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,084/1,8 = 0,046; & \rightarrow 4 \\ 94h12 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,35/2,2 = 0,159; & \rightarrow 1 \\ 38 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,62/1,8 = 0,344; & \rightarrow 1 \\ \varnothing 46H8 - T_{розм.дет.}/T_{розм.вил.} &= 0,039/2,0 = 0,0195; & \rightarrow 4 \end{aligned}$$

16) Кількість переходів механічної обробки за точністю форми і розміщення оброблюваної поверхні деталі.

Приймаємо в залежності від допуску розміру вилівка та співвідношення між допусками форми і розташування оброблюваної поверхні деталі та вилівка: $T_{ф.дет.}/T_{ф.вил.}$. Отже матимемо для лиття в оболонкові:

$$\begin{aligned} 30h10 - T_{ф.дет.}/T_{ф.вил.} &= 0,01/0,4 = 0,025; & \rightarrow 4 \\ 94h12 - T_{ф.дет.}/T_{ф.вил.} &= 0,175/0,4 = 0,437; & \rightarrow 1 \\ 38 - \varnothing 46H8 - T_{ф.дет.}/T_{ф.вил.} &= 0,02/0,4 = 0,05; & \rightarrow 4 \end{aligned}$$

І також для операції лиття в облицьований кокіль:

$$30h10 - T_{ф.дет.}/T_{ф.вил} = 0,01/0,24 = 0,041; \quad \rightarrow 4$$

$$94h12 - T_{ф.дет.}/T_{ф.вил} = 0,175/0,24 = 0,729; \quad \rightarrow 1$$

$$38 - \varnothing 46H8 - T_{ф.дет.}/T_{ф.вил} = 0,02/0,24 = 0,083; \quad \rightarrow 4$$

Із таблиці параметрів числа 1, 2, 3, 4 відповідно означають обробки: чорнова, напівчистова, чистова, тонка.

17) Прийнята остаточна кількість переходів механічної обробки за більшим числом у порівнянні із двома попередніми пунктами.

18) Загальний припуск.

Обираємо в залежності від загального допуску, виду остаточної механічної обробки та ряду припусків. Всі ці показники попередньо визначені і за допомогою вже вказаних параметрів обираємо остаточні результати.

19) Розрахунок розмірів заготовок.

В даному випадку при діаметральних розмірах $\varnothing 84$, та лінійних 30, 30, 94, які пов'язують дві поверхні, що обробляються та одночасно вони є охоплюваними розмірами, то припуск подвоюємо і додаємо до розміру готової деталі. Для розмірів $\varnothing 46$, 38, припуск подвоюємо та віднімаємо від розміру готової деталі, оскільки поверхні є охоплюючими.

За оболонкових форм:

$$\varnothing 30h10: (3,4 \times 2) + 30 = \varnothing 36,8;$$

$$94h12: (3,4 \times 2) + 94 = 100,8;$$

$$38: 38 - (1,9 \times 2) = 34,2;$$

$$\varnothing 46H8: 46 - (3,4 \times 2) = \varnothing 39,2.$$

Для облицьованого кокілю

$$\varnothing 30h10: (2,9 \times 2) + 30 = \varnothing 35,8;$$

$$94h12: (1,9 \times 2) + 94 = 97,8;$$

$$30: (1,6 \times 2) + 30 = 33,2;$$

$$\varnothing 46H8: 46 - (2,9 \times 2) = \varnothing 40,2.$$

Вибір радіусів заокруглень, нахилів, товщини стінок та інших конструктивних елементів заготовок.

Вибираємо радіуси заокруглень.

Після формування контура виливків в місцях переходу від одного елемента до другого призначаємо радіуси заокруглень, які в значній степені визначають якість литої заготовки. Їх величина повинна бути оптимальною. Радіуси заокруглень у спряженнях залежать від матеріалу виливка, товщини спряжених стінок і кута, що утворюється між ними. Вибір здійснюємо по графікам із [8]. Отже, маємо для лиття в оболонкові форми, враховуючи розташування заготовки, визначаємо середню товщину стінки, починаючи відлік від верхнього торця:

$$1) \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{24,65 + 36,8}{2} = 30,725 \text{ (мм)};$$

$$2) \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{6 + 34}{2} = 20 \text{ (мм)}.$$

Їм відповідають наступні радіуси заокруглень для чавуну при діапазоні кутів 75...105°:

$$1) r = 9 \text{ мм}; \quad 2) r = 5 \text{ мм}.$$

Аналогічним методом визначаємо величини радіусів заокруглень для операції лиття в облицьований кокіль. Для початку визначимо товщини стінок, починаючи відлік від верхнього торця:

$$1) \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{23,8 + 35,8}{2} = 29,8 \text{ (мм)};$$

$$2) \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{5 + 33,2}{2} = 19,1 \text{ (мм)}.$$

Їм відповідають наступні радіуси заокруглень для чавуну при діапазоні кутів $75...105^\circ$:

$$1) r = 8,5 \text{ мм}, 2) r = 5 \text{ мм}.$$

Вибираємо нахили модельного комплекту.

Призначаємо на вертикальних стінках поверх припуску на механічну обробку. Необхідні величини нахилів для обраних операцій вибираємо із таблиці нормованих значень [5]. Вибираємо в залежності від висоти формоутворювальної поверхні та способу лиття. Отже, для операції лиття в оболонкові форми, на ділянці 36,8мм нахил складатиме $0^\circ 41'$, також для операції лиття в облицьований кокіль на ділянці 35,8мм нахил складатиме $0^\circ 45'$.

Перевіряємо відповідність товщини стінок допустимим межам.

Мінімальна товщина стінок призначається так, щоб забезпечити необхідну розрахункову міцність і задовольнити потребам технології обраного способу лиття. Найменшу товщину стінок вибираємо по [8], в залежності від приведенного габариту заготовки, який обраховуємо за наступною формулою:

$$N = \frac{2l+b+h}{3} [\text{мм}]. \quad (2.6)$$

Для лиття в оболонкові форми:

$$N = \frac{2 \cdot 128.8 + 100.8 + 36.8}{3} = 131,7 \text{ (мм)},$$

цьому значенню відповідає мінімальна товщина стінки $\delta = 5 \text{ мм}$. Якщо прирівняти дійсну отриману величину, яка становить $\delta = 24,8 \text{ мм}$, то можна зробити висновок про відповідність розмірів мінімальної товщини стінки виливка допустимим.

Для лиття в облицьований кокіль:

$$N = \frac{2 \cdot 127.8 + 97.8 + 35.8}{3} = 129,7 \text{ (мм)},$$

цьому значенню відповідає мінімальна товщина стінки $\delta = 4,9\text{мм}$. Якщо прирівняти дійсну отриману величину, яка становить $\delta = 23,8\text{мм}$, то можна зробити висновок про відповідність розмірів мінімальної товщини стінки виливка допустимим.

2.2.3 Оформлення ескізів двох варіантів заготовки

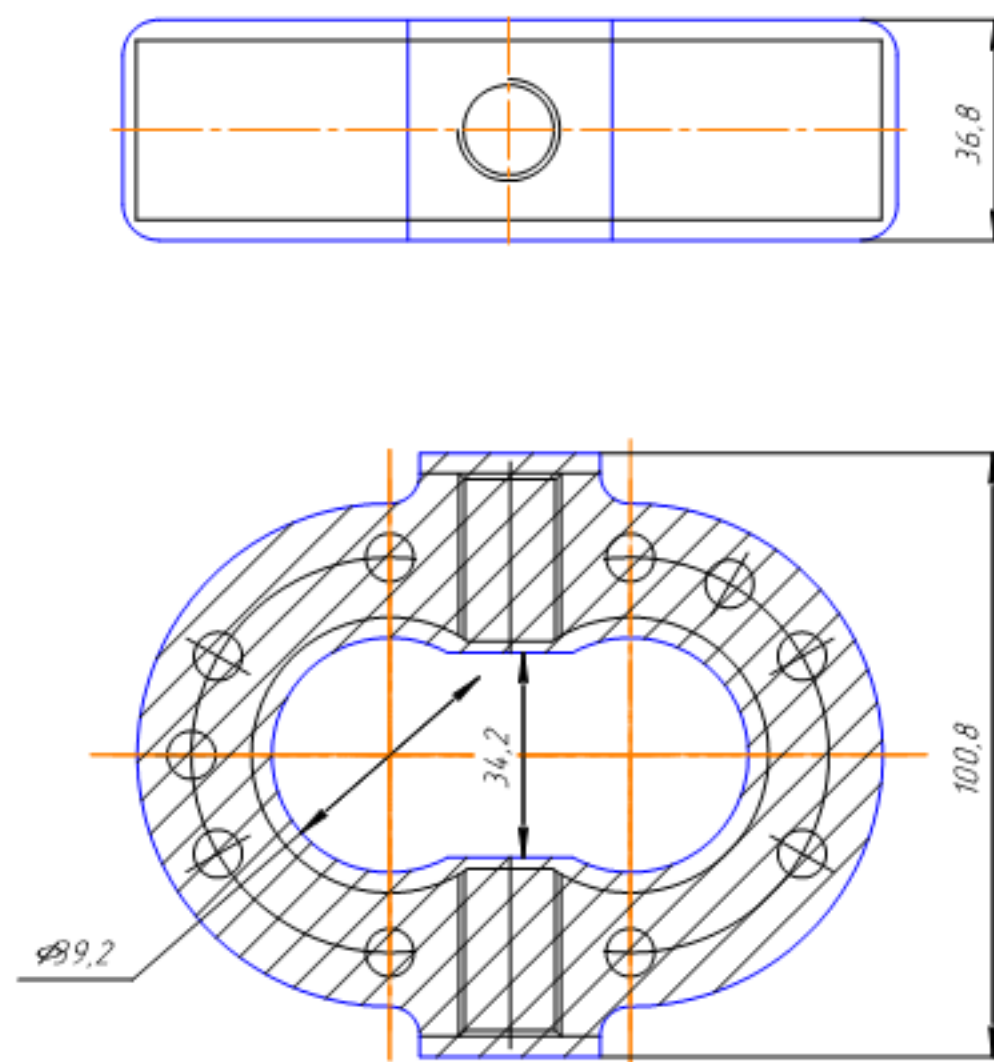


Рисунок 2.4 – Ескіз заготовки при литті в оболонкові форми

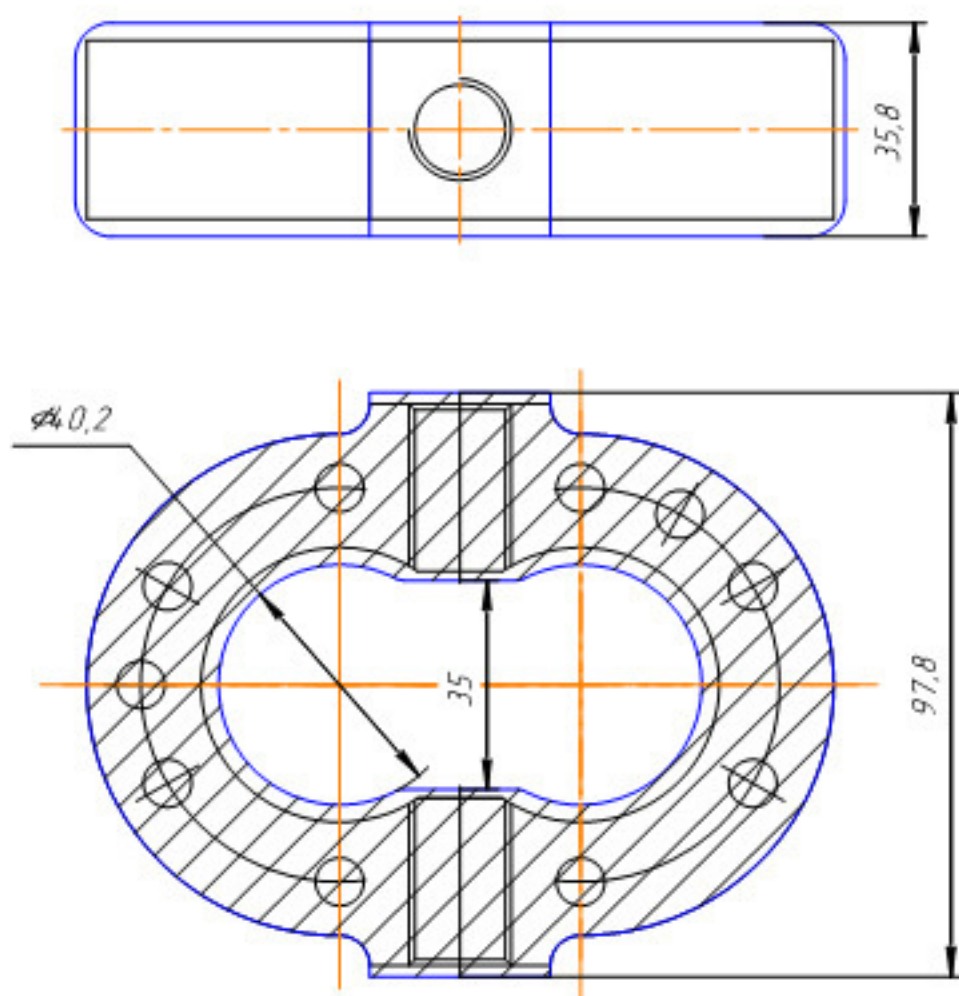


Рисунок 2.5 – Ескіз заготовки при литті в облицьований кокіль

2.2.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси двох варіантів заготовки

Масу заготовок, обчислюємо за допомогою 3D-моделювання за допомогою прикладних комп'ютерних програм (рис. 2.6-2.7).

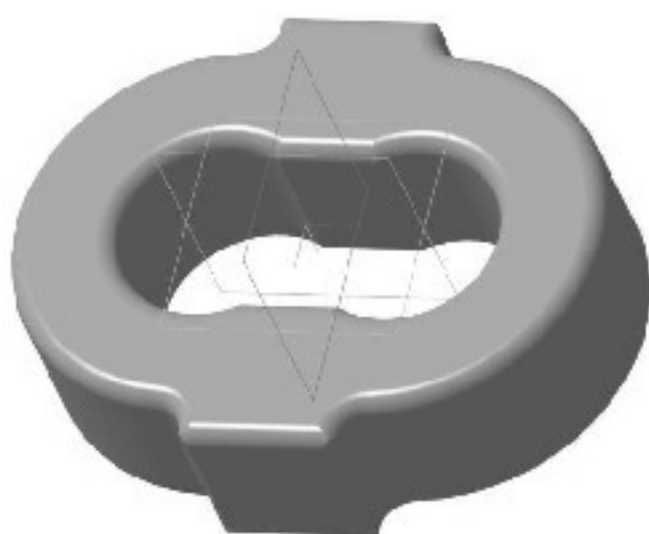


Рисунок 2.6 – 3D-модель заготовки при литті в оболонкові форми

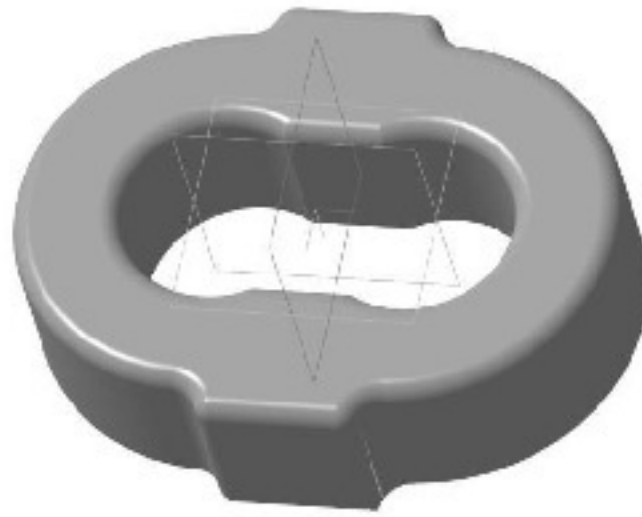


Рисунок 2.7 – 3D-модель заготовки при литті в облицьований кокіль

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки визначається за такою формулою:

$$\gamma = G_{\text{дет}} / G_{\text{заг}}, \quad (2.7)$$

де $G_{\text{дет}}$ – маса деталі,

$G_{\text{заг}}$ – маса заготовки.

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки отриманої литтям в оболонкові форми:

$$\gamma = G_{\text{дет}} / G_{\text{заг}} = 1 / 1,763 = 0,56,$$

Коефіцієнт використання матеріалу для заготовки отриманої литтям в облицьований кокіль:

$$\gamma = G_{\text{дет}} / G_{\text{заг}} = 1 / 1,662 = 0,60.$$

Отже коефіцієнт використання матеріалу при литті в облицьовочний кокіль буде більший. Тому за цим показником цей метод кращий.

2.2.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість заготовок, що одержуються такими способами, як лиття в оболонкові форми та в облицьований кокіль можна визначити за формулою [8]:

$$C_{\text{заг.лит}} = \frac{(Q_{\text{заг}} \cdot C_{\text{л}} \cdot K_m \cdot K_n \cdot K_c \cdot K_g \cdot K_n)}{1000} - \frac{(Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}}) \cdot C_{\text{відх}}}{1000}, [\text{грн.}] \quad (2.8)$$

де $C_{\text{відх}}$ – заготівельні ціни на стружку чорних і кольорових металів по прейскурантах, грн., при матеріалі чавун ця величина становить 24,8 грн.;

$C_{\text{л}}$ – базова вартість 1 т заготовок, грн., для операції лиття в оболонкові форми ця величина становить 25500 грн., а для лиття в облицьований кокіль – 22400 грн.;

K_m, K_n, K_c, K_g, K_n – коефіцієнти, що залежать відповідно від класу точності виливка, марки матеріалу, групи складності, маси і об'єму виробництва заготовок.

Для лиття в оболонкові форми: K_m, K_n, K_c, K_g, K_n відповідно рівні 1,05 – 1,0 – 1,0 – 0,94 – 1,0.

Для лиття в облицьований кокіль: K_m, K_n, K_c, K_g, K_n відповідно рівні 1,0 – 1,0 – 1,0 – 1,0 – 1,0.

Тоді вартість заготовок для заданих операцій 1 – в оболонкові форми, 2 – в облицьований кокіль, матиме наступне значення:

$$C_{\text{заг.лит.об.ф}} = \frac{(1,763 \cdot 25500 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 1)}{1000} - \frac{(1,763 - 1) \cdot 24,8}{1000} = 91,0 \text{ (грн.)};$$

$$C_{\text{заг.лит.обл.к.}} = \frac{(1,662 \cdot 22400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1)}{1000} - \frac{(1,794 - 1) \cdot 24,8}{1000} = 73,8 \text{ (грн.)}$$

Для прийняття остаточного рішення відносно вибору варіанта одержання заготовки крім вартості заготовок, коефіцієнтів використання матеріалу та вагової точності потрібно порівняти маршрути механічної обробки деталі. Якщо є операції, які відрізняються внаслідок різних способів одержання заготовки, то собівартість їх виконання потрібно включити у вартість відповідної заготовки. Тобто, тоді повна собівартість заготовки:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{заг.литт.}} + \sum C_{\text{обр.}}, \quad (2.9)$$

де $\sum C_{\text{обр.}}$ – технологічна собівартість виконання тих операцій, якими відрізняються маршрути механічної обробки деталі внаслідок різних способів одержання заготовки.

Оскільки в даному випадку, порівнюючи виливки при обох способах лиття, маємо однаковість послідууючої механічної обробки, тому ми не розраховуємо додаткові операції.

Враховуючи, що партія заготовок становить $N = 5000$ шт., визначаємо економічний ефект:

$$E = (C_{\text{заг.об.ф.}} - C_{\text{заг.обл.к.}}) \cdot N, [\text{грн.}] \quad (2.10)$$

$$E = (91,0 - 73,8) \cdot 5000 = 86000 \text{ (грн.)}$$

Прирівнюючи коефіцієнт використання матеріалу при обох способах лиття, для лиття в оболонкові форми $\gamma_1 = 0,56$ та для лиття в облицьований кокіль $\gamma_2 = 0,60$. Враховуючи загальну економічну ефективність та масу заготовок, можна сказати, що найбільш раціональний варіант буде лиття в облицьований кокіль. Це дасть змогу зекономити і матеріал і кошти у порівнянні з литтям в оболонкові форми.

2.3 Розробка маршруту механічної обробки

2.3.1 Вибір способів механічної обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності

Визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні $\varnothing 46H8^{(+0,039)}$.

Допуск заготовки – $T_z = 620$ мкм;

Допуск деталі – $T_d = 39$ мкм.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon_z = \frac{T_{\text{заг.}}}{T_{\text{дет.}}}, \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_z = \frac{620}{39} = 15,89.$$

Приймаємо три переходи механічної обробки.

Тоді допуск розміру деталі:

- після першого переходу:

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг.}}}{\varepsilon_1} = \frac{620}{5} = 124 \text{ (мкм) (IT 12)},$$

- після другого переходу:

$$T_2 = \frac{T_{\text{заг.}}}{\varepsilon_2} = \frac{124}{2} = 62 \text{ (мкм) (IT 10)},$$

- після третього переходу:

$$T_3 = \frac{T_{\text{заг.}}}{\varepsilon_3} = \frac{62}{1,59} = 39 \text{ (мкм) (IT 8)}.$$

Водячи з виконаних розрахунків призначаємо способи механічної обробки:

- перший перехід – розточування попереднє;
- другий перехід – розточування попереднє;
- третій перехід – розточування остаточне.

Інші поверхні із підвищеними вимогами точності заносимо до табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

Розмір	Загальне уточнення	Кількість ступенів мех. обробки	Допуск	Квалітет	Вид механічної обробки
$\varnothing 46H8^{+0.039}$	$\varepsilon_{\Sigma} = 15,89$	$\varepsilon_1 = 5$ $\varepsilon_2 = 2$ $\varepsilon_3 = 1,59$	$T_1 = 0,62$ $T_2 = 0,124$ $T_3 = 0,062$	12 10 8	попереднє розточування попереднє розточування остаточне розточування
$30h10_{-0,084}$	$\varepsilon_{\Sigma} = 6,19$	$\varepsilon_1 = 3$ $\varepsilon_2 = 2,1$	$T_1 = 0,173$ $T_2 = 0,84$	12 10	попереднє фрезерування остаточне фрезерування
$94h12_{-0,35}$	$\varepsilon_{\Sigma} = 2,48$	$\varepsilon_1 = 2,5$	$T_1 = 0,348$	12	однократне фрезерування

Оскільки на розмір 30h10 шорсткість складає 1,6, то доцільно буде обробити цю поверхню в три переходи, для забезпечення відповідної точності і шорсткості. Тому приймаємо: попереднє фрезерування; попереднє фрезерування; остаточне фрезерування.

2.3.2 Вибір чистових і чорнових технологічних баз

В якості чорнових баз на перших операції 005 використаємо поверхні $\varnothing 84$ та нижню основу – ця схема базування відповідає установці на плиту і двосторонньому затисненні елементами типу «Призма». При використанні такого комплекту технологічних баз ми можемо обробити наступні поверхні: верхню основу, два отвори $\varnothing 98$, десять отворів $\varnothing 8$.

Схема базування та поверхні, що обробляються зображена рис. 2.9.

Комплект оброблених поверхонь в подальшому буде використовуватись в якості чистових штучних технологічних баз, що забезпечить зняття мінімального припуску з поверхні (це основа та два пальці).

- на операції 010 обробляються верхня основа 1, бокові поверхні 2 та бокові різьбові отвори 4. Схема базування та поверхні, що обробляються зображена рис. 2.8. Така схема базування дозволяє виконати вимогу паралельності, що пред'являється до торців деталі, оскільки при обробці кожного із них інший використовується в якості опорної поверхні базування.

Для забезпечення перпендикулярності 2-ох отворів $\varnothing 46$ відносно бази А (основи) на операції 005 їх обробляємо за один установ.

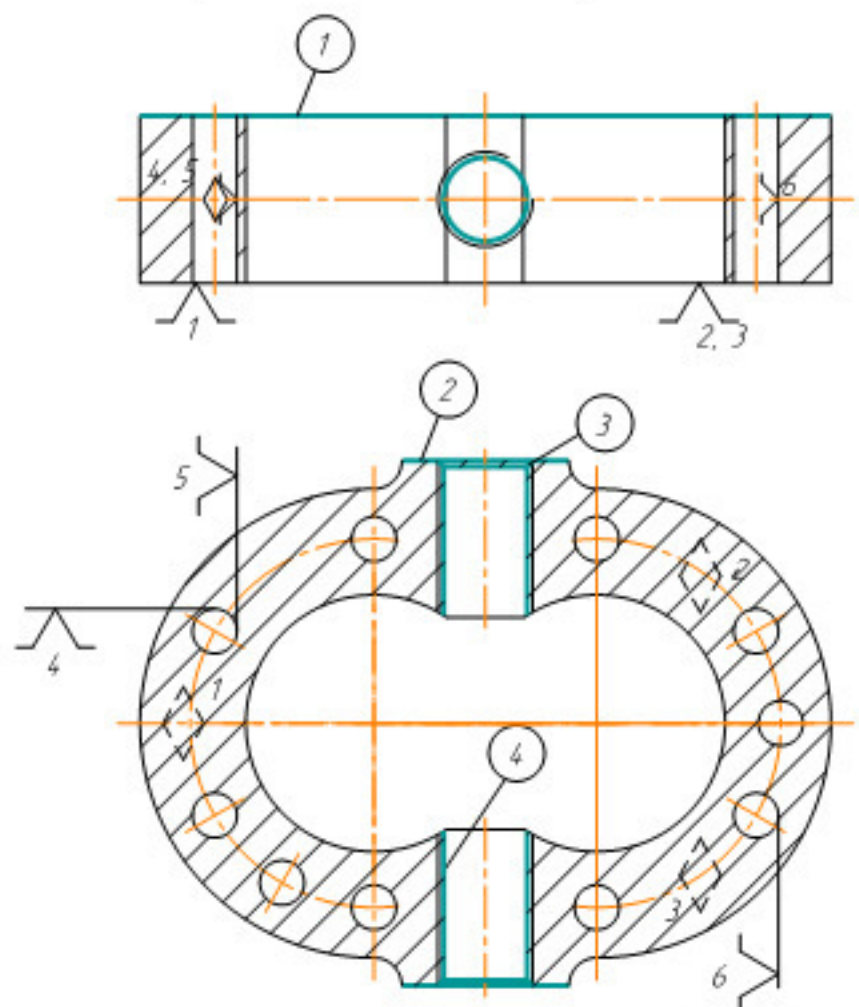


Рисунок 2.8 – Чистові технологічні бази

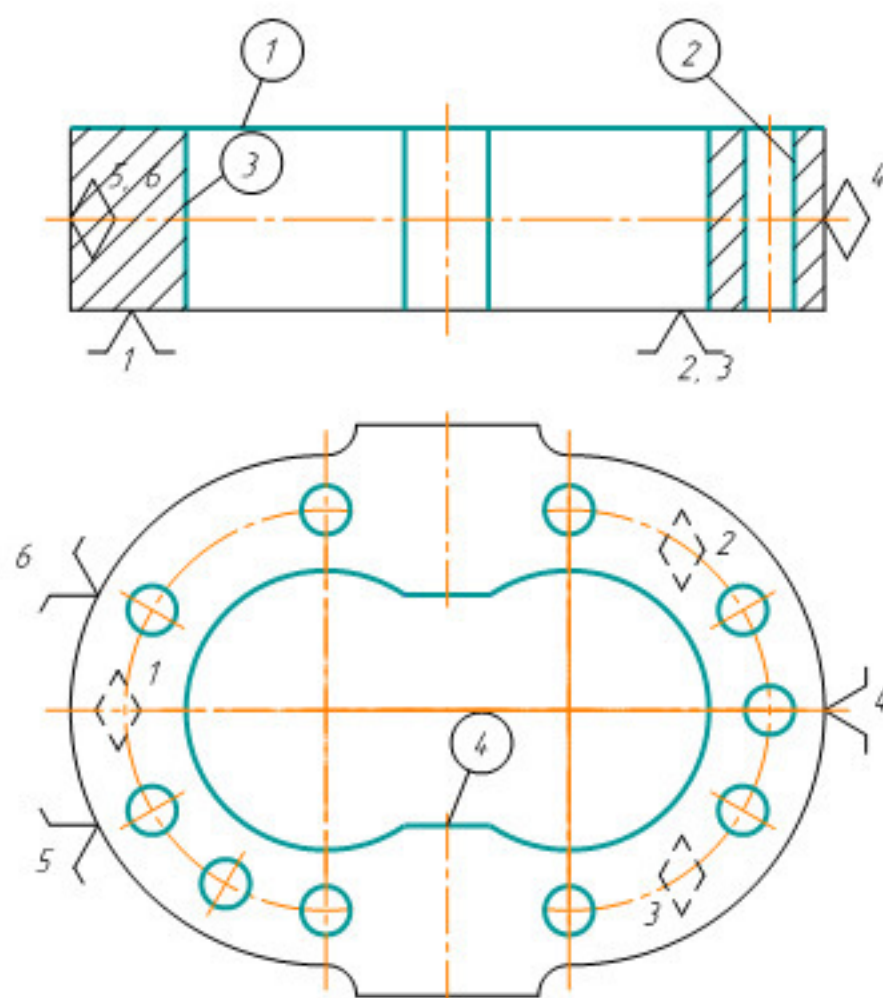


Рисунок 2.9 – Чорнові технологічні бази

Розглянемо похибки базування, що виникають під час обробки:

Операція 005:

$\varepsilon_{\phi 46} = 0$ – діаметральні розміри;

$\varepsilon_{\phi 30} = 0$ – співпадання баз;

$\varepsilon_{\phi 40} = 0$ – обробка за один установ;

$\varepsilon_{\phi \phi 8} = 0$ – обробка мірним інструментом (отвори отримані в результаті свердління та ін.).

Похибка базування на кутові розміри рівна нулю за рахунок обробки за один установ.

Операція 010:

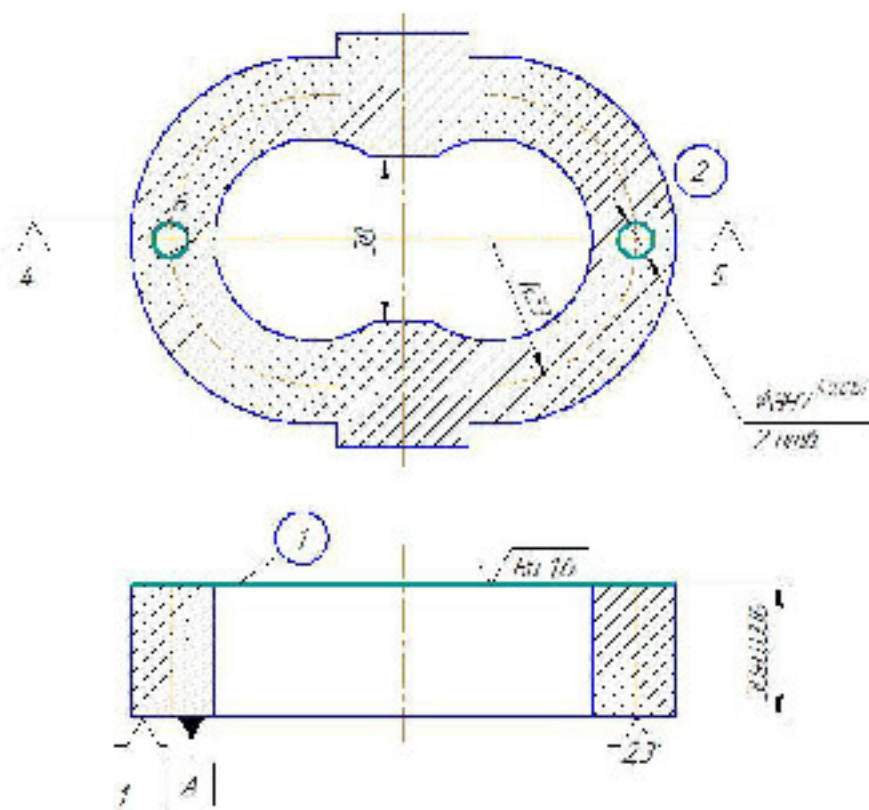
$\varepsilon_{\phi 30, 15} = 0$ – співпадання баз;

$\varepsilon_{\phi 94} = 0$ – обробка за один установ;

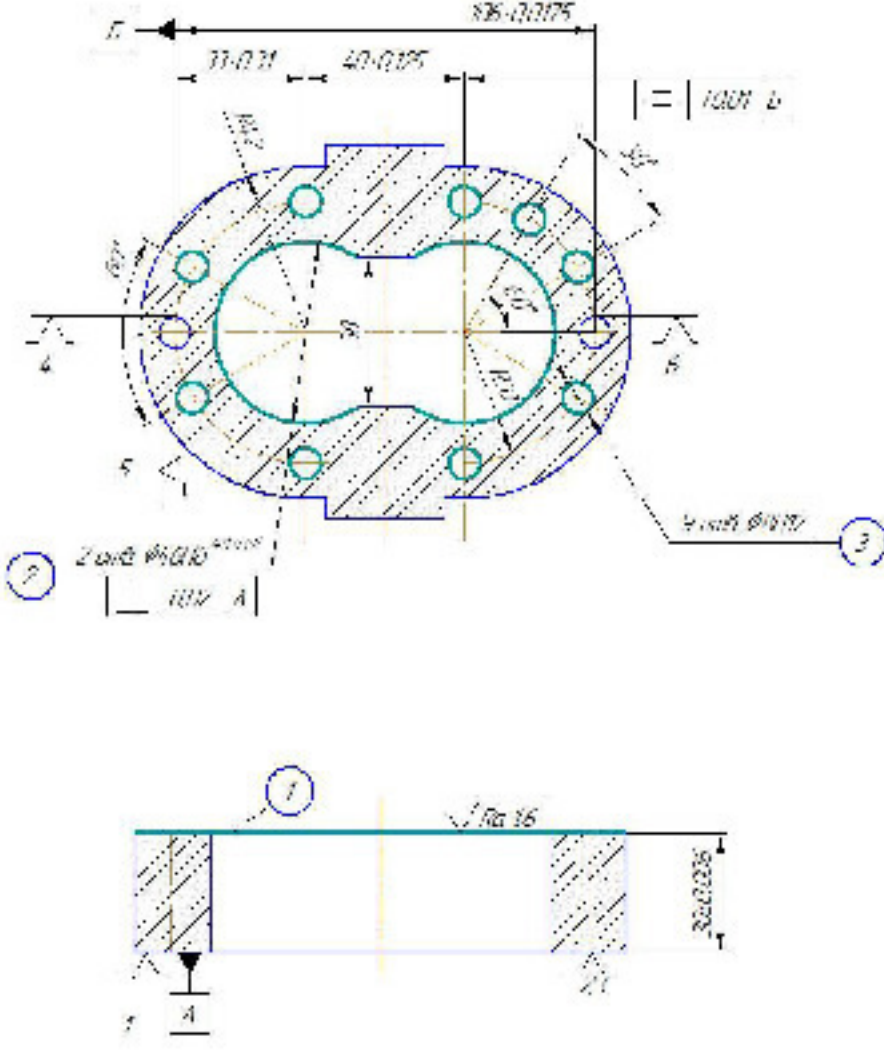
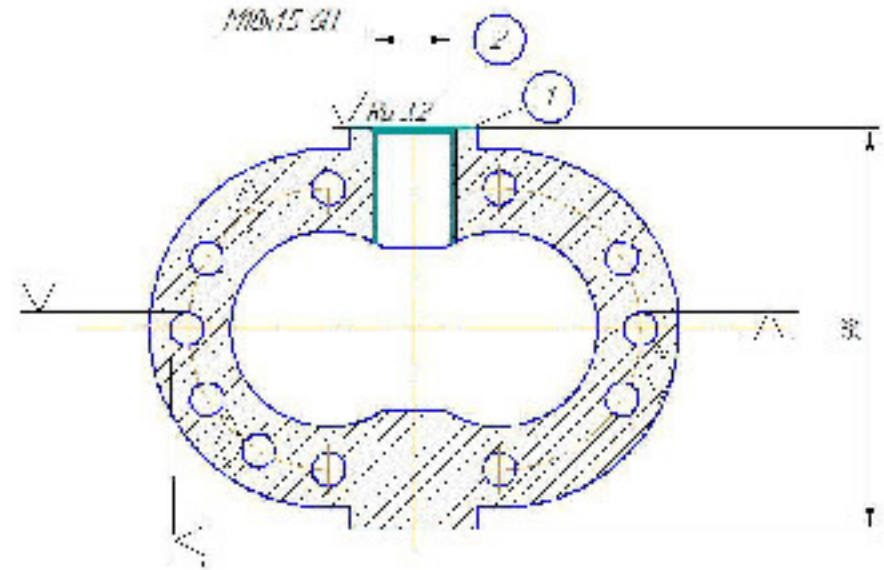
$\varepsilon_{\phi M17} = 0$ – обробка мірним інструментом (отвори отримані в результаті свердління та ін.).

2.3.3 Розробка маршруту механічної обробки

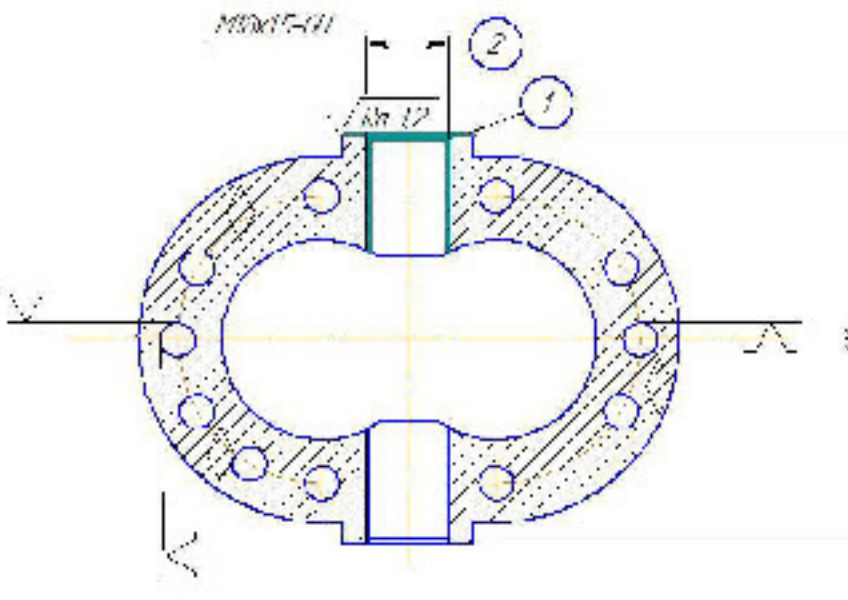
Таблиця 2.11 – Маршрут механічної обробки

№ оп.	Зміст операцій та переходів	Схема базування	Мо- дель вер- стата
1	2	3	4
005	Фрезерна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку. 2 Фрезерувати площину 1 попередньо. 3 Центрувати отвори 2. 4 Свердли 2 отвори 2. 5 Зенкерувати 2 отвори 2. 6 Розвернути 2 отвори 2. 7 Фрезерувати площину 1 остаточно. 8 Зняти заготовку.		Багатоцільовий з ЧПК ЛТ260МФ3

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
010	Фрезерна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку. 2 Фрезерувати торець 1 попередньо. 3 Розточити попередньо 2 отвори 2. 4 Розточити попередньо 2 отвори 2. 5 Розточити остаточно 2 отвори 2. 6 Центрувати 9 отворів 3. 7 Свердлити 9 отворів 3. 8 Фрезерувати остаточно поверхню 1. 9 Зняти заготовку.		Багатоцільовий з ЧПК ЛТ260МФ3
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК <u>Установ 1</u> 1 Встановити і закріпити заготовку. 2 Фрезерувати торець 1 остаточно. 3 Центрувати отвір 2. 4 Свердлити отвір 2. 5 Зенкувати фаску в отворі 2. 7 Нарізати різь в отворі 2. 8 Фрезерувати площину 1 остаточно. 9 Зняти заготовку.	Установ 1 	Багатоцільовий з ЧПК ЛТ260МФ3

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
	<u>Установ 2</u> 1 Встановити і закріпити заготовку. 2 Фрезерувати торець 1 остаточно. 3 Центрувати отвір 2. 4 Свердлити отвір 2. 5 Зенкувати фаску в отворі 2. 7 Нарізати різь в отворі 2. 8 Фрезерувати площину 1 остаточно. 9 Зняти деталь.	Установ 2 	Багатоцільовий з ЧПК ЛТ260МФ3

2.3.4 Розмірний аналіз технологічного процесу

2.3.4.1 Вибір розташування технологічних розмірів [13]

Розташування технологічних розмірів показано на рис. 2.10.

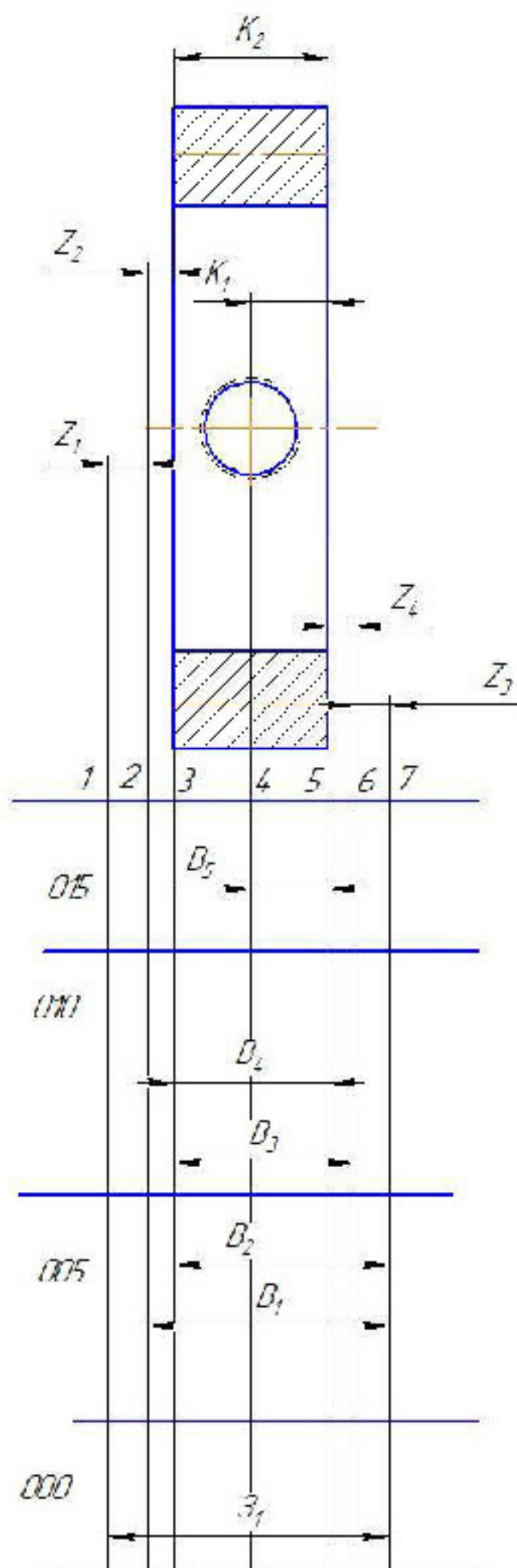
2.3.4.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски технологічних розмірів визначаються виходячи з точності механічної обробки. Таблиці економічної точності на металорізальних верстатах наведені у відповідних таблицях [1, 2]. Згідно цим таблицям середня точність однократної обробки відповідає 12-му квалітету.

Таблиця 2.12 – Допуски технологічних розмірів

Розміри заготовки	З ₁	З ₂	В ₁	В ₂	В ₃	В ₄	В ₅
Попередні значення допусків	0,62	0,25	0,16	0,062	0,039	0,36	0,3

2.3.4.3 Розмірна схема технологічного процесу



Рисунки 2.10 – Розмірна схема першого технологічного процесу

2.3.4.4 Похідний, вихідний граф - дерева, суміщений граф

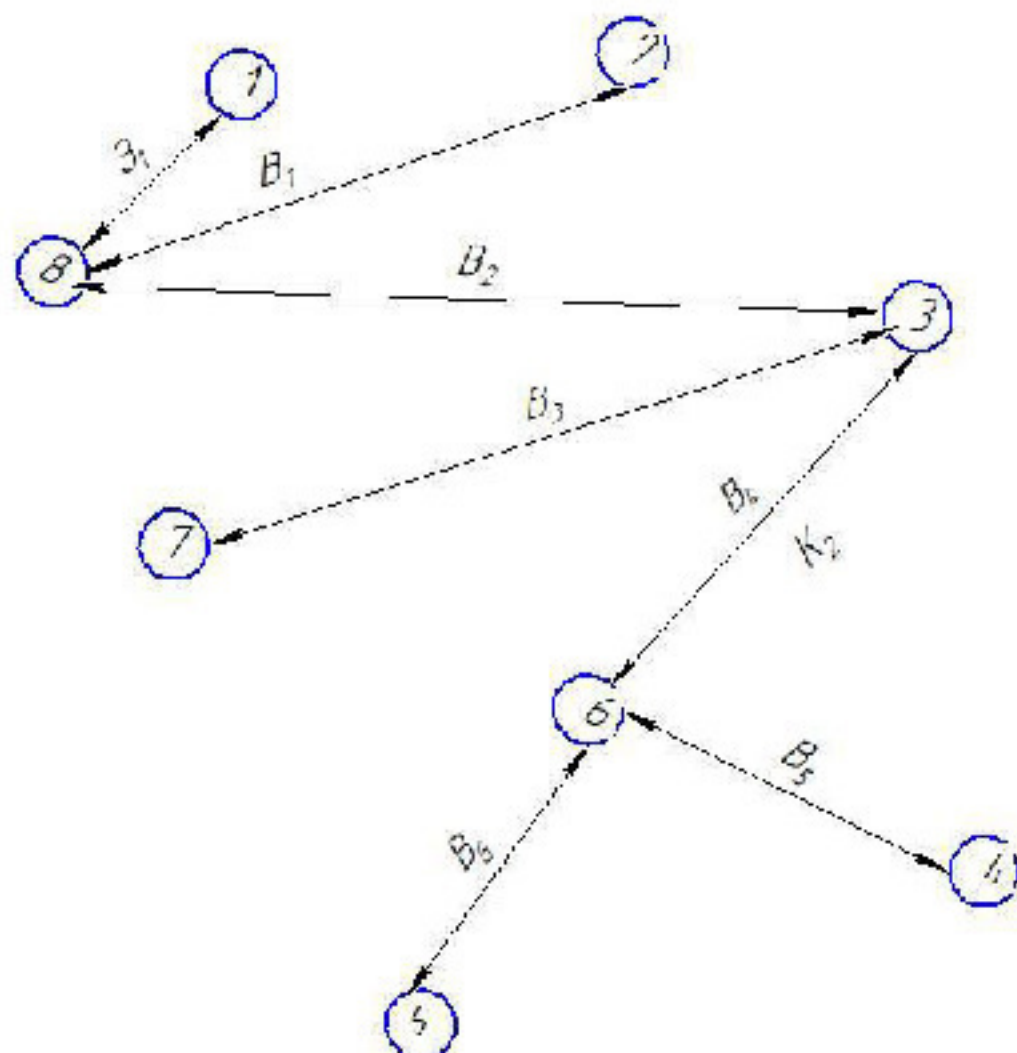


Рисунок 2.11 – Вихідний граф-дерево

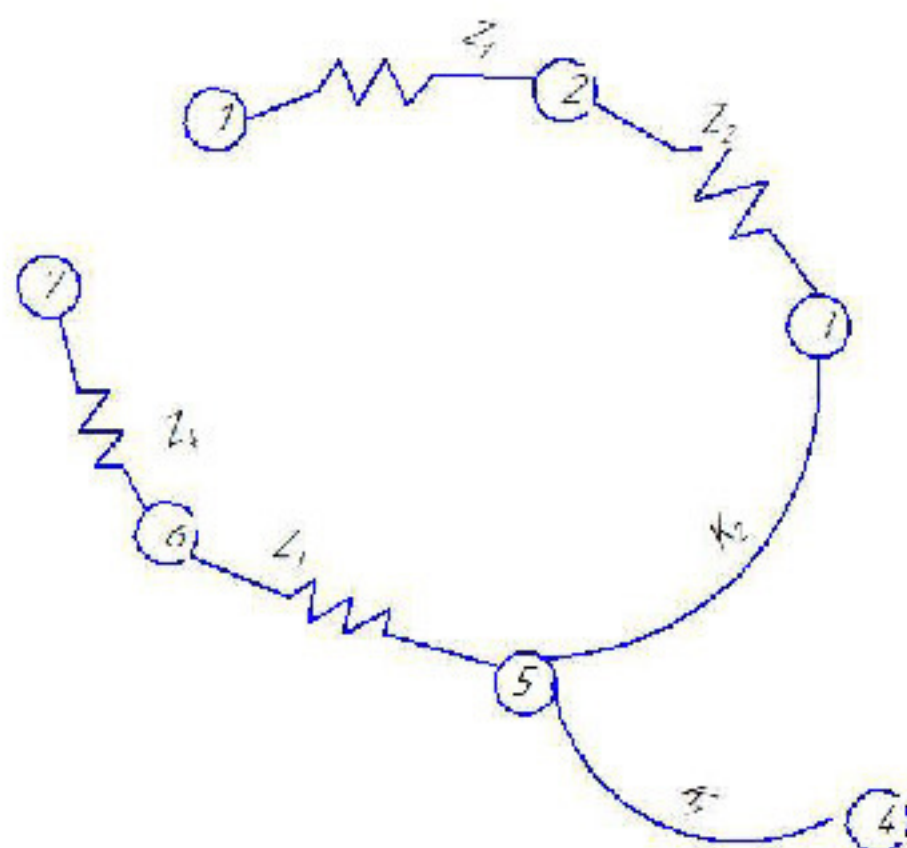


Рисунок 2.12 – Похідний граф-дерево

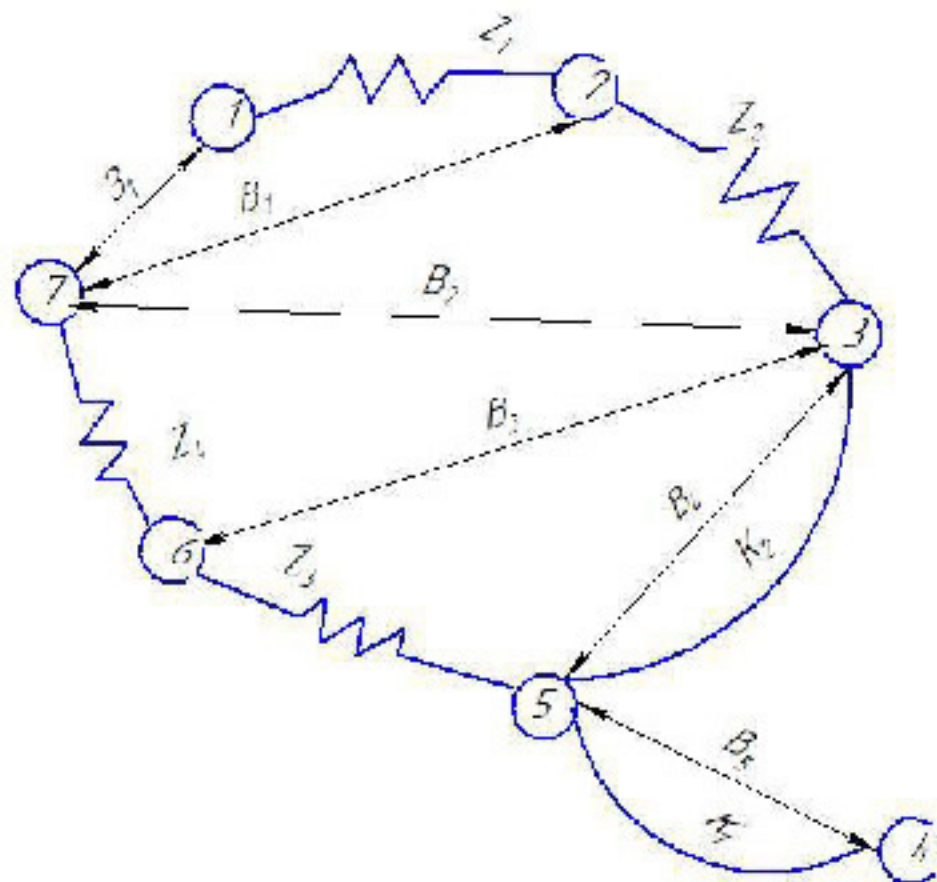


Рисунок 2.13 – Суміщений граф

2.3.4.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Дані припусків зводимо в таблицю 2.13 [14].

Таблиця 2.13 – Мінімальні припуски

Припуски	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
$Z_{\min}$	1,2	0,6	0,6	1,2

2.3.4.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Використовуючи граф-дерева заносимо розрахункові рівняння до табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Рівняння розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідома ланка
1	$B_4 - K_2 = 0$	$B_4 = K_2$	B_4
2	$B_5 - K_1 = 0$	$B_5 = K_1$	B_5
3	$B_3 - Z_3 - K_2 = 0$	$Z_3 = B_3 - K_2$	B_3
4	$B_2 - Z_4 - B_3 = 0$	$Z_4 = B_2 - B_3$	B_2
5	$B_1 - Z_2 - B_2 = 0$	$Z_2 = B_1 - B_2$	B_1
6	$B_1 + Z_1 - 3_1 = 0$	$Z_1 = 3_1 - B_1$	3_1

2.3.4.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Відповідно до визначених вище технологічних рівнянь визначимо для кожного розміру цього межі:

$$1. B_5 = K_1 = 15^{\pm 0,18}$$

$$2. B_4 = K_2 = 30_{-0,039}$$

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

$$B_{3 \min} = 30 + 0,6 = 30,6 \text{ мм};$$

$$B_{3 \max} = B_{3 \min} + T(B_3) = 30,6 + 0,062 = 30,662 \text{ мм};$$

$$B_3 = 30,662_{-0,062} \text{ мм}$$

$$Z_{3 \max} = B_{3 \max} - K_{2 \min} = 30,662 - 29,961 = 0,701 \text{ мм}$$

$$4. Z_{4 \min} = B_{2 \min} - B_{3 \max};$$

$$B_{2 \min} = 30,662 + 1,2 = 31,862 \text{ мм};$$

$$B_{2 \max} = B_{2 \min} + T(B_2) = 31,862 + 0,16 = 32,022 \text{ мм};$$

$$B_2 = 32,02_{-0,16} \text{ мм}$$

$$Z_{4 \max} = B_{2 \max} - B_{3 \min} = 32,022 - 30,6 = 1,422 \text{ мм}$$

$$5. Z_{2 \min} = B_{1 \min} - B_{2 \max};$$

$$B_{1 \min} = 32,022 + 0,6 = 32,622 \text{ мм};$$

$$B_{1 \max} = B_{1 \min} + T(B_1) = 32,622 + 0,25 = 32,872 \text{ мм};$$

$$B_1 = 32,87_{-0,25} \text{ мм}$$

$$Z_{2 \max} = B_{1 \max} - B_{2 \min} = 32,872 - 31,862 = 1,01 \text{ мм}$$

$$6. Z_{1 \min} = 3_{1 \min} - B_{1 \max};$$

$$3_{1 \min} = 32,872 + 1,2 = 34,072 \text{ мм};$$

$$3_{1 \max} = 34,072 + 0,62 = 34,692 \text{ мм};$$

$$3_1 = 34,69_{-0,62} \text{ мм}.$$

$$Z_{1 \max} = 3_{1 \max} - B_{1 \min} = 34,692 - 32,622 = 2,07 \text{ мм}$$

Таблиця 2.15 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допуски

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	min	max				
Z_1	34,092	34,712	0,62	34,71		$34,71_{-0,62}$
B_1	32,642	32,892	0,25	32,89	$32,89_{-0,25}$	
B_2	31,882	32,042	0,16	32,04	$32,04_{-0,16}$	
B_3	30,6	30,662	0,062	30,662	$30,662_{-0,062}$	
B_4	34,961	30	0,039	30	$30_{-0,039}$	
B_5	15,82	15,18	0,36	15	$15_{\pm 0,18}$	

Отже, визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес та усю документацію пов'язану із ним.

2.3.5 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь

Для розрахунку взяли розмір $\varnothing 46H8^{(+0,039)}$.

Визначення значень R і T проводимо відповідно до рекомендацій наведених в [1], враховуючи, що для заготовки дані параметри рівні 200 і 150 . При попередньому розточуванні приймаємо $R_z = T = 50$ мкм, а при остаточному розточуванні $R_z = 25$ мкм, $T = 25$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки даного типу визначається по формулі:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.12)$$

де $\rho_{\text{жол}}$ – просторові відхилення спричинені жолобленням;

$\rho_{\text{зм}}$ – відхилення за рахунок зміщення поверхні з якої знімається припуск, під час самої обробки, відносно технологічних баз.

$$\rho_{\text{жоз}} = \sqrt{(\Delta_k d)^2 + (\Delta_k l)^2} = \sqrt{(0,8 \cdot 46)^2 + (0,8 \cdot 30)^2} = 43,934 \text{ (мкм)},$$

де Δ_k – питоме жолоблення відливка [1],

d і l – діаметр і довжина оброблюваного отвору.

При визначенні $\rho_{\text{зм}}$ в даному випадку слід брати до уваги точність розміщення базових поверхонь, які використовуються при даній схемі установки і отриманих на попередніх операціях, відносно оброблюваної в даній установці поверхні.

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_2}{2}\right)^2}, \text{ [мкм]} \quad (2.13)$$

де δ_1 і δ_2 – допуски на розміри 46 і 30 відповідно, по класу точності.

$$\rho_{\text{зв}} = \sqrt{\frac{400^2}{2} + \frac{600^2}{2}} = 360,55,$$

В даному випадкові:

$$\rho_3 = \sqrt{43,934^2 + 360,555^2} = 363,222 \text{ (мкм)}.$$

При подальших переходах механічної обробки:

$$\rho_n = k \cdot \rho_{n-1} \text{ [мкм]}, \quad (2.14)$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 363,222 = 21,793 \text{ (мкм)},$$

$$\rho_2 = 0,05 \cdot 363,222 = 18,161 \text{ (мкм)}.$$

На основі отриманих вище даних проводимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків, користуючись формулою:

$$2Z_{imin} = 2 \cdot (R_{Zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \text{ [мкм]}, \quad (2.15)$$

де ε_1 – похибка установки при попередньому розточуванні.

Похибка установки при попередньому розточуванні:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \text{ [мкм]} \quad (2.16)$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення.

При обробці даної поверхні $\varepsilon_6 = 0$, $\varepsilon_3 = 150$ мкм [1].

$$\varepsilon_y = \sqrt{0 + 150^2} = 150 \text{ (мкм)}.$$

ε_2 – похибка установки при остаточному розточуванні.

$$\varepsilon_2 = 0,05 \cdot \varepsilon_y + \varepsilon_{ind},$$

$\varepsilon_{ind} = 0$ – тому що чорнове точіння проводиться на одному установі.

$$\varepsilon_2 = 0,05 \cdot 150 = 7,5 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск:

Попереднє розточування:

$$2Z_{Imin} = 2 \cdot (200 + 150 + \sqrt{363,222^2 + 150^2}) = 2 \cdot 743 \text{ (мкм)},$$

Попереднє розточування:

$$2Z_{2min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{21,793^2 + 150^2}) = 2 \cdot 251 \text{ (мкм)},$$

Остаточне розточування:

$$2Z_{3min} = 2 \cdot (25 + 25 + \sqrt{18,161^2 + 7,5^2}) = 2 \cdot 69 \text{ (мкм)}.$$

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору $\varnothing 46H8^{(+0,039)}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 46H8^{(+0,039)}$	Елементи припуску			Розрахун- ковий припуск	Розра- хунковий розмір	Допуск	Граничні розміри		Граничні значення припусків	
	R_z	T	ρ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	Z_{max}
Заготовка	150	200	361	—	43,923	620	43,28	43,9	—	—
розточування попереднє	50	50	21,6	2·738	45,409	250	45,15	45,4	1870	1500
розточування попереднє	50	50	18	2·242	45,891	100	45,79	45,89	640	490
розточування остаточне	25	25	—	2·69	46,039	39	46	46,039	210	149
Всього									2139	2720

Розрахункові розміри

При остаточному розточуванні маємо отримати розмір вказаний на креслені: $D = 46,039$ мм.

Для остаточного розточування: $D_1 = 46,039 - 2 \cdot 69 = 45,891$ (мм),

для попереднього розточування: $D_2 = 46,891 - 2 \cdot 251 = 45,409$ (мм),

для попереднього розточування: $D_3 = 45,409 - 2 \cdot 743 = 43,9$ (мм).

Для остаточного розточування допуск складає 39 мкм, відповідно для 8 квалітету; для попереднього розточування, відповідно для 10 квалітету, допуск складає 100 мкм, і попереднього розточування 12 квалітету допуск відповідно рівний – 250 мкм та для заготовки, що має 14 квалітет точності, допуск складає 620 мкм.

Граничні розміри:

$$45,4 - 0,250 = 45,15 \text{ (мм)},$$

$$45,89 - 0,100 = 45,79 \text{ (мм)},$$

$$46,039 - 0,039 = 46 \text{ (мм)}.$$

для заготовки:

$$D_4 = 43,9 - 0,620 = 43,28 \text{ (мм)}.$$

Граничні значення припусків

Для остаточного розточування:

$$2Z_{\min_3} = 46,039 - 45,89 = 0,149 \text{ мм} = 149 \text{ (мкм)},$$

$$2Z_{\max_3} = 46 - 45,79 = 0,210 \text{ мм} = 210 \text{ (мкм)}.$$

для попереднього розточування:

$$2Z_{\min_2} = 45,89 - 45,4 = 0,49 \text{ мм} = 490 \text{ (мкм)},$$

$$2Z_{\max_2} = 45,79 - 45,15 = 0,64 \text{ мм} = 640 \text{ (мкм)},$$

для попереднього розточування:

$$2Z_{\min_1} = 45,4 - 43,9 = 1,5 \text{ мм} = 1500 \text{ (мкм)},$$

$$2Z_{\max_1} = 45,15 - 43,28 = 1,87 \text{ мм} = 1870 \text{ (мкм)}.$$

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

$$2Z_{0min} = 1500 + 490 + 149 = 2139 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{0max} = 1870 + 640 + 210 = 2720 \text{ (мкм)}.$$

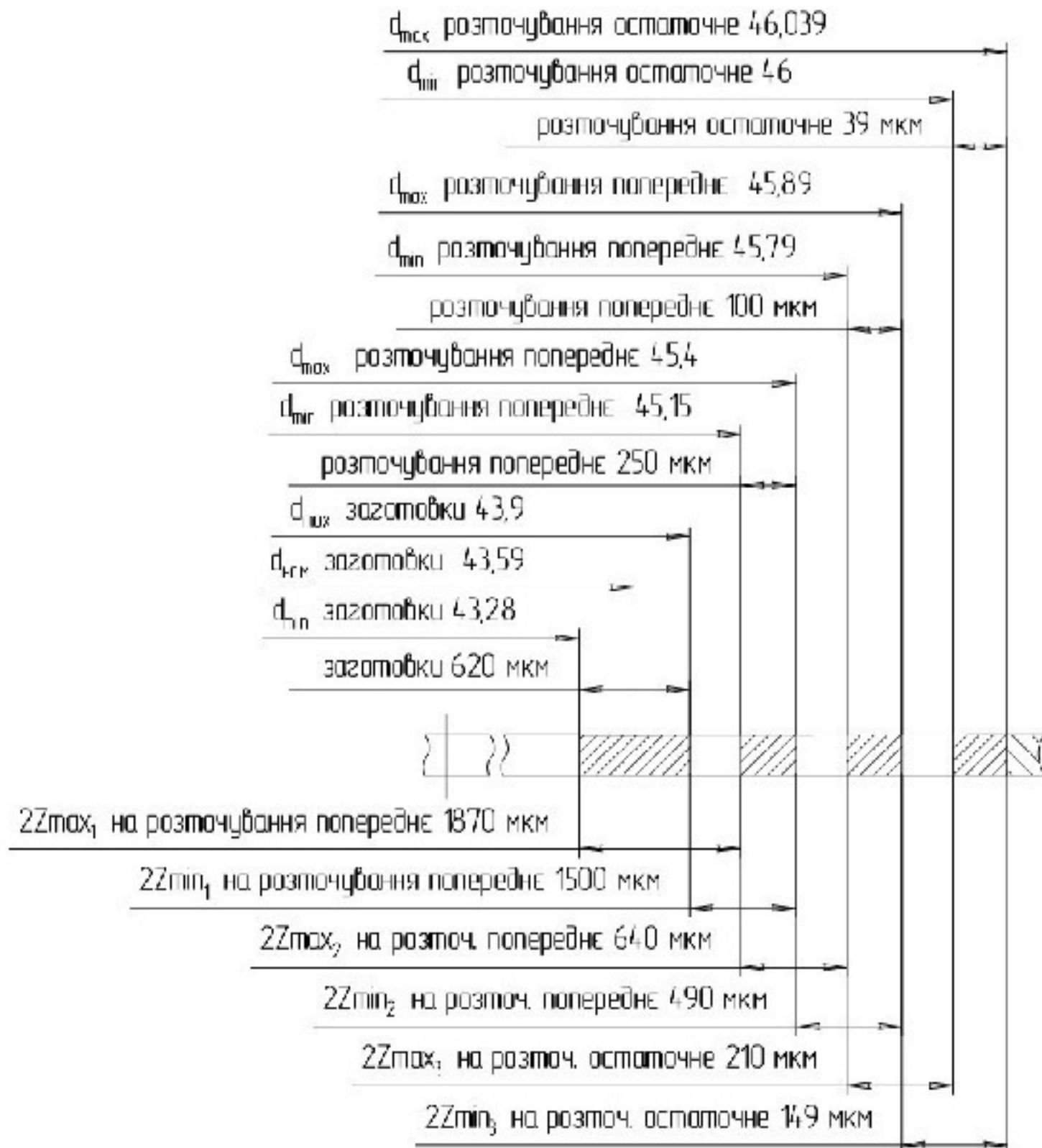


Рисунок 2.14 – Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку внутрішнього діаметрального розміру $\varnothing 46H8^{(+0,039)}$

2.3.6 Визначення режимів різання

Приведемо приклад розрахунку режимів різання [1, 15-17] для обробки на верстатах з ЧПК на прикладі виконання 1 переходу операції 005 (фрезерування).

Глибина різання складає: $t = 1,4 \text{ мм.}$

Подача складає: $s_z = 0,2 \text{ мм.}$

Швидкість різання на токарній операції розраховується за формулою:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^n \cdot Z^p} K_v \text{ [м/хв.]}, \quad (2.17)$$

Значення коефіцієнта C_v , показників та період стійкості T вибираємо з таблиці [1, 15-17]. Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, який враховує фактичну умову різання розраховується:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv}, \quad (2.18)$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, який враховує якість обробки матеріалу і розраховується:

$$K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{m_v}, \quad (2.19)$$

$$K_{Иv} = \left(\frac{190}{190} \right)^{0,95} = 1,$$

$K_{Пv}$ – коефіцієнт, який враховує якість поверхні заготовки, $K_{Пv}=0,8$;

$K_{Иv}$ – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки, $K_{Иv}=1$.

$$K_v = 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,8;$$

$$v = \frac{588 \cdot 50^{0,37}}{120^{0,42} \cdot 1,4^{0,13} \cdot 0,2^{0,47} \cdot 100^{1,4} \cdot 10^{0,14}} \cdot 0,8 = \frac{2500,32}{14,18} \cdot 0,8 = 141 \text{ (м/хв.)}$$

Сила різання фрези розраховується за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^n \cdot Z}{D^q \cdot n^w} K_{MP} \text{ [Н]}, \quad (2.20)$$

Значення коефіцієнта C_p і показників степені:

$$K_{Mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^{0,45} = \left(\frac{190}{190} \right)^{0,45} = 1, \quad (2.21)$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{190}{190} \right)^{0,45} = 1,$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 58 \cdot 1,4^{0,9} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 100^1 \cdot 10}{50^{0,9} \cdot 898^0} \cdot 1 = 6254 \text{ (Н)}.$$

Частота обертання розраховується:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \text{ [об./хв.]}, \quad (2.22)$$

де D – діаметр фрези;

v – швидкість різання.

$$n = \frac{1000 \cdot 141}{3,14 \cdot 50} = 898 \text{ (об / хв)}.$$

Приймаємо $n = 900$ об/хв.

Розрахунок режимів різання для свердління отворів.

Аналітичний розрахунок режимів різання для свердління отвору розпочинається із визначення глибини різання, яка рівна половині діаметру отвору, який свердлиться і в даному випадку складає 8 мм.

Подачу рекомендують приймати в межах від 0,43 до 0,49 мм/об при заданих умовах обробки. Приймаємо подачу рівною 0,49 мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v D^{q_v}}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K_v \text{ [м/хв.]}, \quad (2.23)$$

де T – стійкість інструменту, 45 хв;

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

$$C_v = 9,8; x_v = 0; y_v = 0,5; m = 0,2; q_v = 0,4.$$

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

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \quad (2.24)$$

K_{Mv} – якість оброблюваної поверхні, 1,0;

K_{uv} – матеріал ріжучої частини, 1,0 (Т15К6);

K_{lv} – глибина отвору, що свердлиться, 0,75.

Отже загальний поправочний коефіцієнт:

$$K = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,75.$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{9,8 \cdot 18^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 9^0 \cdot 0,49^{0,5}} \cdot 0,75 = 15,58 \text{ (м/хв.)}$$

Крутний момент при свердлінні розраховується за формулою:

$$M = 10 C_m D^{q_m} S^{y_m} K_p \text{ [Н·м]}, \quad (2.25)$$

де C_m, q_m, x_m, y_m – коефіцієнти і показники степені для розрахунку крутного моменту при свердлінні. Вони рівні:

$$C_M=0,03; q_M=2; x_M=0; y_M=0,8.$$

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

$$M = 10 \cdot 0,03 \cdot 18^2 \cdot 0,49^{0,8} \cdot 0,75 = 41,2 \text{ (Н·м)}.$$

Осьова сила при свердлінні визначається за формулою:

$$P_o = 10 \cdot C_p D^{q_p} S^{y_p} K_p \text{ [Н]}, \quad (2.26)$$

де C_M, q_M, x_M, y_M – коефіцієнти і показники степені для розрахунку осьової сили при свердлінні. Вони рівні:

$$C_p=68; q_p=1; x_p=0; y_p=0,7.$$

З урахуванням цього осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 18^1 \cdot 0,49^{0,7} \cdot 0,75 = 5571,6 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$n = M \cdot n / 9750 \text{ [об./хв.]}, \quad (2.27)$$

де n – число обертів інструмента, що становить:

$$n = 1000 \cdot 15,58 / 3,14 \cdot 18 = 275,65 \text{ (об./хв)}.$$

Результати визначення режимів різання занесено до табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Визначення режимів різання

Назва операції, переходу,	Режими різання				
	t_o , хв.	t , мм	S , мм/об.	V , м/хв.	n , об/хв.
1	2	3	4	5	6
Операція 005					
2 Фрезерувати площину 1 попередньо	2,040	1,2	1,8	160	170
3 Центрувати отвори 2	0,104	2,5	0,7	56	630
4 Свердлити 2 отворів 2	1,198	4,2	0,2	25,6	1500
5 Зенкерувати 2 отвори 2	0,484	0,5	0,15	19,8	800
6 Розвернути 2 отвори 2	0,991	0,3	0,1	18,2	800
7 Фрезерувати площину 1 остаточно	1,360	0,5	0,37	154	400
Операція 010					
2 Фрезерувати торець 1 попередньо	2,040	1,2	1,8	160	170
3 Розточити попередньо отвори	0,442	1,5	0,43	138	700
4 Розточити попередньо отвори	1,872	0,6	0,37	144	1000
5 Розточити остаточно отвори	0,756	0,15	0,2	157	1250
6 Центрувати отвори 2	0,442	2,5	0,7	56	630
7 Свердлити отвори 2	1,872	2,5	0,2	25,6	1500
8 Фрезерувати торець 1 остаточно	1,360	0,5	0,37	154	400
Операція 015					
2 Фрезерувати торець 1 остаточно	0,216	0,6	0,37	142	400
3 Центрувати 2 отвори 2 та 3	0,104	2,5	0,7	56	630
4 Свердлити отвори 2 та 3	1,581	9,0	0,2	25,6	1500
5 Нарізати різь в отворах 2 та 3	1,536	1,5	1,0	16,96	545
6 Фрезерувати площину 1 остаточно	0,144	0,6	0,37	142	400

2.3.7 Визначення технічних норм часу

В серійному виробництві норма штучно-калькуляційного часу визначається за формулою [1, 17]:

$$T_{шк-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт} \text{ [хв.]}, \quad (2.28)$$

де $T_{п-з}$ – підготовчо-заклучний час; $T_{шт}$ – штучний час; n – кількість деталей в налагоджуваній партії.

Норма штучного часу для верстатів з ЧПК визначається за формулою:

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{доп} + T_{овс} + T_{відп} \text{ [хв.]}, \quad (2.29)$$

де $T_{осн}$ – основний час обробки, хв.; де $T_{осн}$ – основний час обробки, хв.;
 $T_{доп}$ – допоміжний час, хв.; $T_{овс}$ – час обслуговування, хв.; $T_{відп}$ – час відпочинку, хв.

Основний час по переходах розраховується за формулою:

$$T_{осн} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \text{ [хв.]}, \quad (2.30)$$

де L – довжина робочого ходу, мм; i – кількість робочих ходів; n – частота обертання шпинделя, об/хв.; S – подача, мм/об.

$$L = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер} \text{ [мм]}, \quad (2.31)$$

$l_{обр}$ – довжина обробки, мм; $l_{вр}$ – довжина врізання, мм; $l_{пер}$ – довжина перебігу, мм.

Допоміжний час складається з втрат часу на окремі прийоми:

$$T_{доп} = t_{викл}^{вкл} + t_{знят}^{уст} + t_{відв}^{підв} + t_{пов.ст.} + t_{контр} + t_{змін.істр.} \text{ [хв.]}, \quad (2.32)$$

де $t_{знят}^{уст}$ – час на установку і зняття деталі вручну, хв.;

$t_{викл}^{вкл}$ – час на включення або виключення верстату, хв.;

$t_{відв}^{підв}$ – час на підведення чи відведення інструменту, хв.;

$t_{пов.ст.}$ – час на поворот столу, хв.;

$t_{контр}$ – час на проведення контролю якості деталей, хв.;

$t_{змін.істр.}$ – час на заміну інструменту, хв.

Для визначення технічних норм часу по операціях скористаємося спрощеним способом. Проведено розрахунок основного часу обробки за формулами загального наближення [1, 2], результати показано в табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Розрахунок норм часу

Назва операції, переходи	Основний час на виконання переходу $T_{осн}$, хв.			
	Формула	d	l	Результат
1	2	3	4	5
Операція 005				
2 Фрезерувати площину 1 попередньо	6l		124	2,040
3 Центрувати отвори 2	0,52dl	5	5	0,104
4 Свердли 2 отворів 2	0,52dl	8	33	1,198
5 Зенкерувати 2 отвори 2	0,21dl	8	33	0,484
6 Розвернути 2 отвори 2	0,43dl	8	33	0,991
7 Фрезерувати площину 1 остаточно	4l		124	1,360
Всього				6,177
Операція 010				
2 Фрезерувати торець 1 попередньо	6l		340	2,040
3 Розточити попередньо отвори	0,2dl	46	30	0,442
4 Розточити попередньо отвори	0,2dl	46	30	1,872
5 Розточити остаточно отвори	0,21dl	46	30	0,756
6 Центрувати отвори 2	0,52dl	5	5	0,442
7 Свердли отвори 2	0,52dl	8	30	1,872
8 Фрезерувати торець 1 остаточно	4l		340	1,360
Всього				7,985
Операція 015				
2 Фрезерувати торець 1 остаточно	6l		36	0,216
3 Центрувати 2 отвори 2 та 3	0,52dl	5	5	0,104
4 Свердли отвори 2 та 3	0,52dl	10	38	1,581
5 Нарізати різь в отворах 2 та 3	0,4dl	12	20	1,536
6 Фрезерувати площину 1 остаточно	4l		36	0,144
Всього				3,710

Штучно-калькуляційний час визначено за формулою:

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

Визначено штучно-калькуляційний час для усіх операцій, дані занесено до табл. 2.19.

Таблиця 2.19 – Штучно-калькуляційний час

№ операцій	Основний час t_o , хв	Коефіцієнт φ_k	Штучний час $t_{шт}$, хв
005	6,177	1,4	8,65
010	7,985	1,3	9,78
015	3,710	1,4	5,19

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ

3.1 Вступ та постановка мети роботи

Деталь «Корпус шестеренного насоса» є однією з основних деталей шестеренного насоса НШ10, що застосовується в гідроприводах сільськогосподарських машин, тракторів, верстатах і т.д. В роботі проектується діляниця механічної обробки на якій планується обробляти крім заданої деталі «Корпус шестеренного насоса» 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 ³		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	2400	1920
	max	2400; 3600	-	-		-
t робочої рідини, °С	min	0	0	0	0	0
	max	+80	+80	+80	+80	+80
Кінематична в'язкість, мм ² /с	min	55; 30	55	30; 55	30; 55	30; 55
	max	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 [18-22].

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 [18, 19]:

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

де v – середня швидкість і ν – 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 $h_{\text{тр}}$, що залежать у загальному випадку від довжини та розмірів поперечного перерізу трубопроводу, його шорсткості, в'язкості рідини, швидкості течії, і втрати в місцевих опорах $h_{\text{м}}$ – коротких ділянках трубопроводів, в яких відбувається зміна швидкості за величиною або за напрямом [18, 19]:

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

При русі рідини в круглих трубах постійного перерізу втрати напору на тертя визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха [18, 19]:

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

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині, або коефіцієнт Дарсі; ℓ – 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.

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

$$v_{\text{ср}} = 0,5v_{\text{max}}.$$

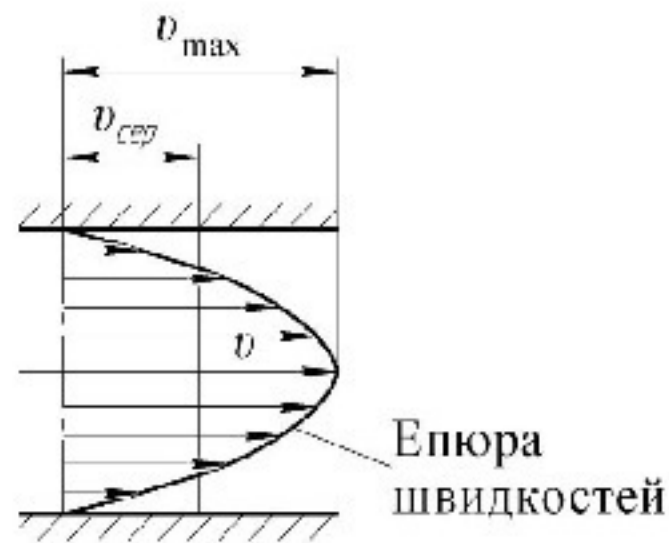


Рисунок 3.1 – Розподіл швидкостей для ламінарного потоку

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.

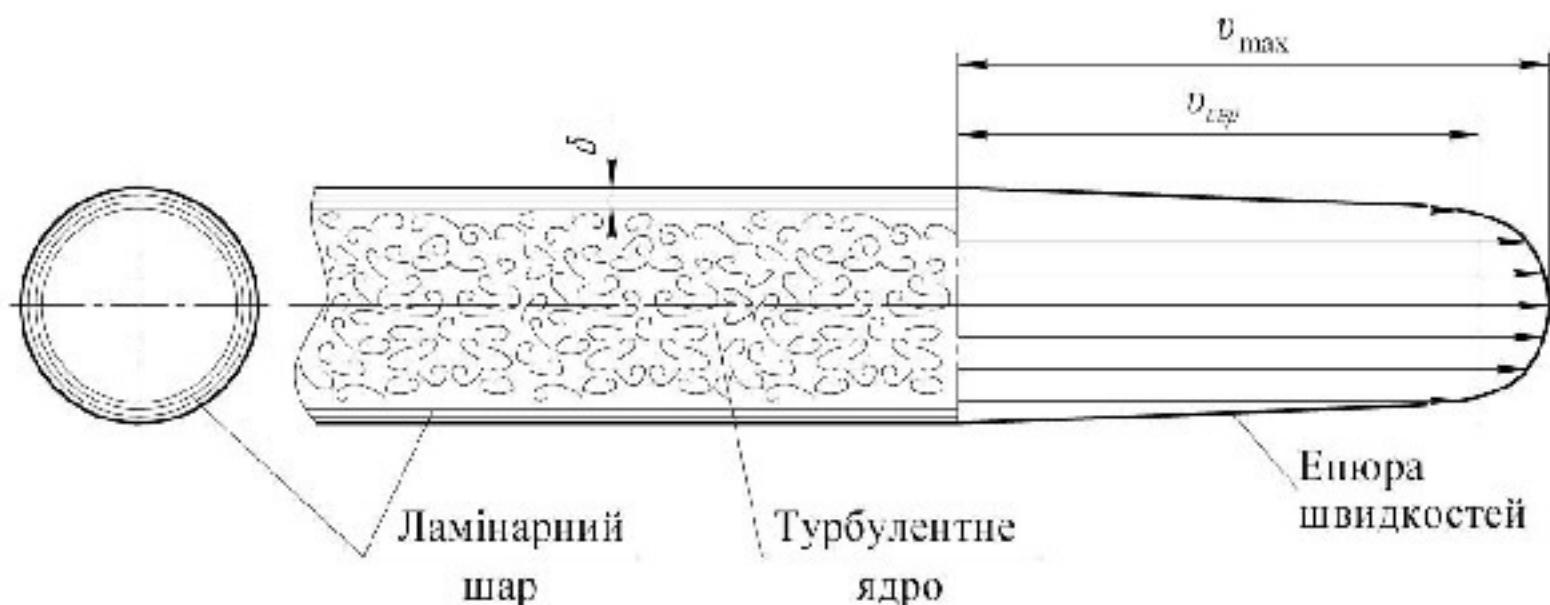


Рисунок 3.2 – Модель турбулентного потоку

Як показують досліді, для турбулентного потоку осереднена швидкість становить

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

При турбулентному режимі руху виділяють три області [18, 19].

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

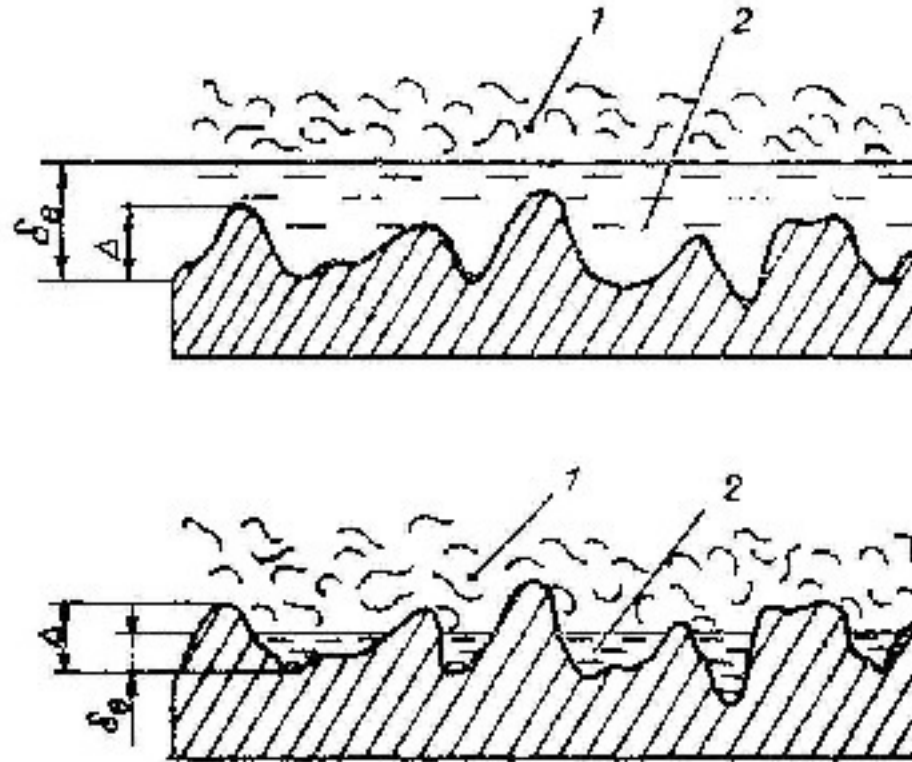


Рисунок 3.3 – Область гідравлічно гладких труб (а);
область гідравлічно шорстких труб (б)

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

Для області гідравлічно гладких труб коефіцієнт гідравлічного тертя λ 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 $20 d / \Delta < Re < 500 d / \Delta$. 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

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

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 $\text{Re} > 500 d / \Delta$. В цій області $\delta \ll \Delta$ (рис. 3.3, б).

Коефіцієнт λ 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

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

де ζ – 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 ζ визначають за довідковими даними, отриманими на підставі дослідних даних.

Середні значення коефіцієнта ζ для місцевих опорів, що найчастіше застосовуються у гідросистемах, наведено в таблиці 3.2 [18, 19].

Таблиця 3.2 – Середні значення коефіцієнта ζ

Вид місцевого опору	Коефіцієнт місцевого опору ζ
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

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

або

$$\Delta p_{\text{св}} = \rho g h_{\text{л}} \text{ [Па]}. \quad (3.13)$$

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

$\sum \Delta p_{\text{л}}$ – 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 [21, 22].

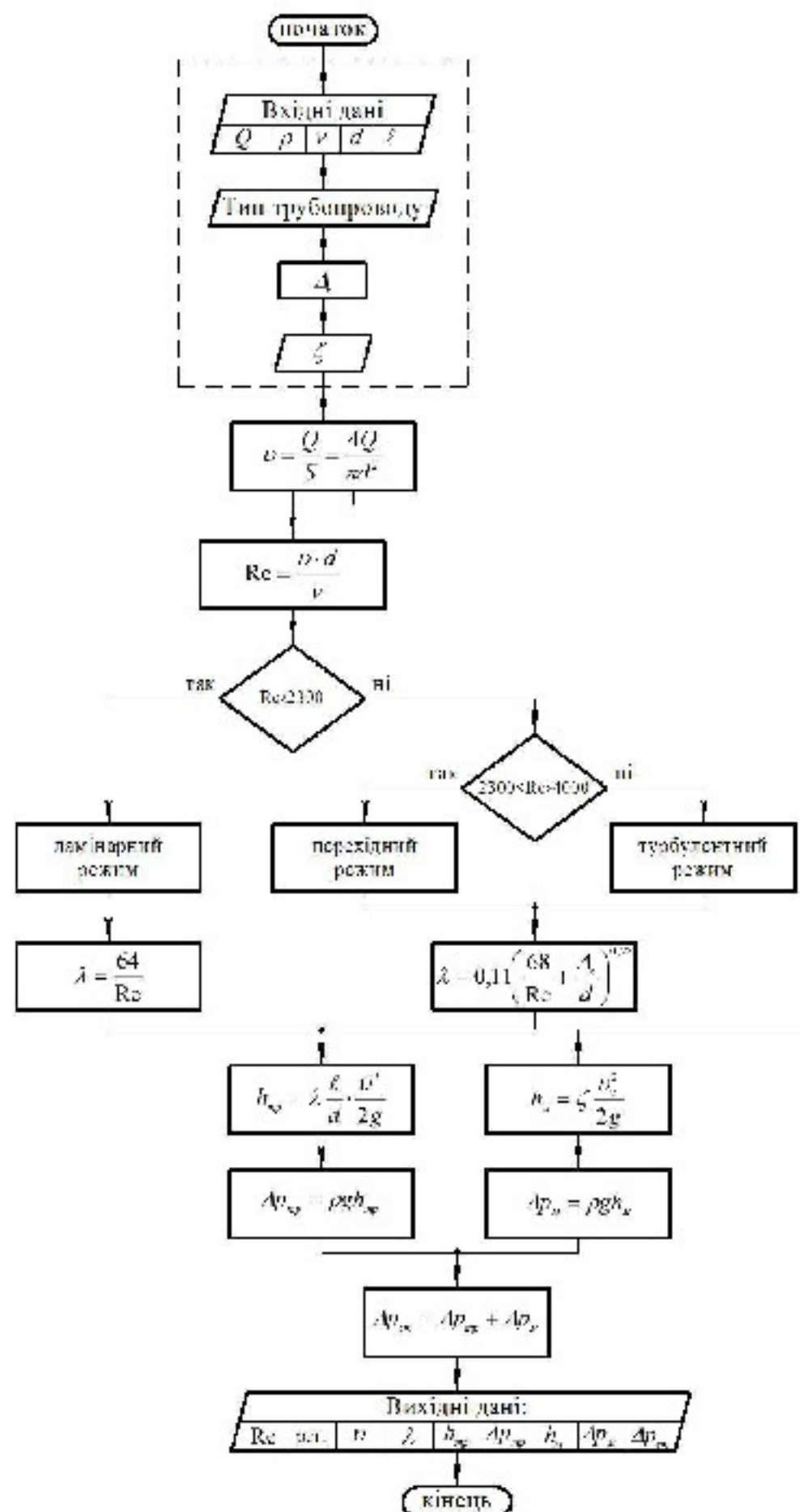


Рисунок 3.1 – Блок-схема гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі

Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі

Вхідні дані

Введіть витрату рідини (Q)	68,8	л/хв
Введіть густину рідини (ρ)	890	кг/м ³
Введіть кінематичну в'язкість рідини (ν)	50	$\times 10^{-6}$ м ² /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 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 ($h_{тр}$)	0,568013	м
Втрати тиску по довжині ($\Delta p_{тр}$)	4964,323748	Па
Втрати напору на подолання місцевих гідравлічних опорів (h_M)	1,037137	м
Втрати тиску на подолання місцевих гідравлічних опорів (Δp_M)	9055,139805	Па
Сумарні втрати тиску в трубопроводі (Δp_{Σ})	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 ρ , кг/м³;
- кінематичну в'язкість рідини ν , м²/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 ζ .

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 $h_{\text{тр}}$, м;
- втрати тиску по довжині $\Delta p_{\text{тр}}$, Па;
- втрати напору в місцевих гідравлічних опорах $h_{\text{м}}$, м;
- втрати тиску в місцевих гідравлічних опорах $\Delta p_{\text{м}}$, Па;
- сумарні втрати тиску в трубопроводі $\Delta p_{\text{сум}}$, 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	ρ	890	кг/м ³
Кінематична в'язкість рідини	ν	$50 \cdot 10^{-6}$	м ² /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	ℓ	2,5	1...6	м
Середнє значення еквівалентної шорсткості стінок трубопроводу	$\Delta_{\text{е}}$	0,02	0,001...3	мм

За допомогою розробленої програми проведено розрахунки і отримано залежності втрат тиску в місцевих опорах $\Delta p_{\text{м}}$ від сумарного коефіцієнту

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

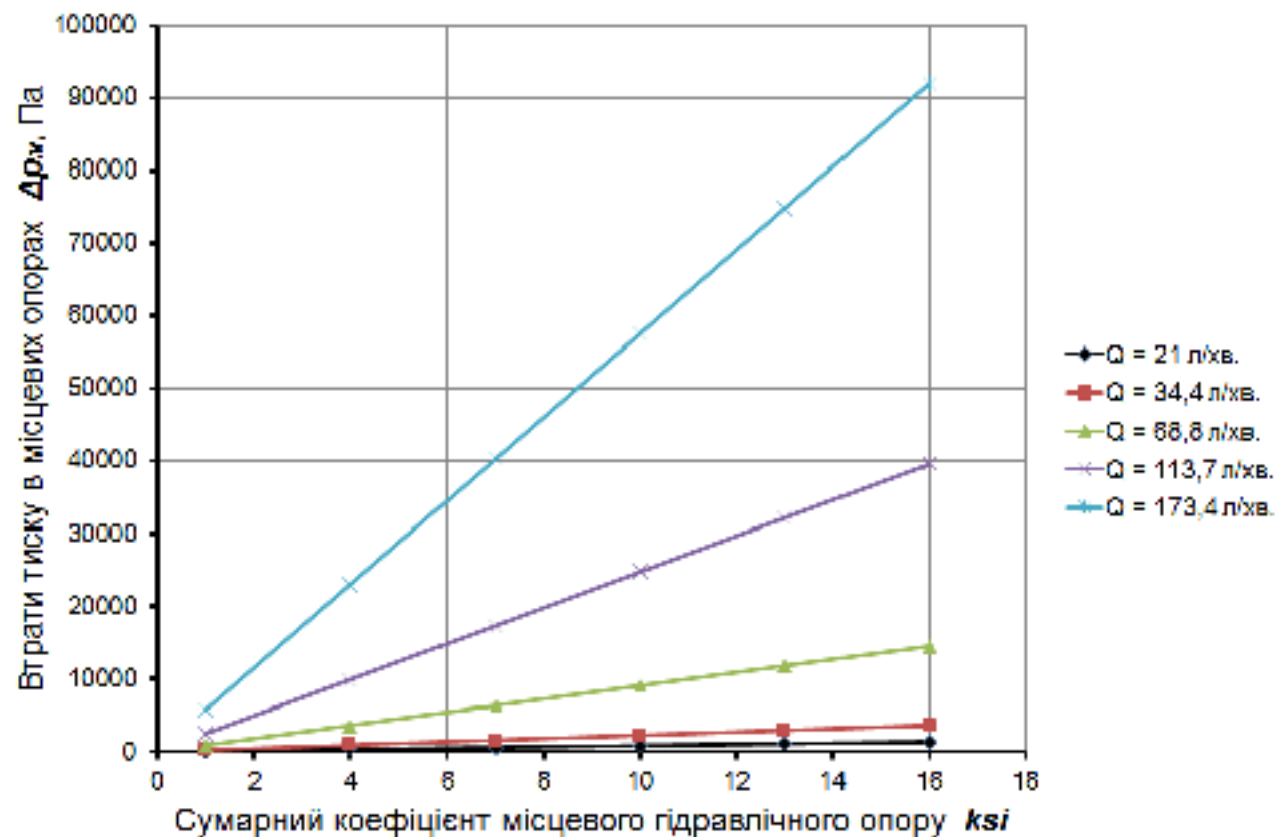


Рисунок 3.3 – Залежності втрат тиску в місцевих опорах Δp_m від сумарного коефіцієнту місцевого гідравлічного опору ζ для різних витрат Q в трубопроводі

На рис. 3.4 представлено залежності втрат тиску по довжині (на тертя) $\Delta p_{\text{тр}}$ від довжини ℓ трубопроводу для різних витрат Q в трубопроводі. Очевидно, що зі збільшенням довжини трубопроводу ℓ втрати напору і, відповідно, тиску $\Delta p_{\text{тр}}$ 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 $\Delta p_{\text{тр}}$ суттєво збільшуються.

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

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

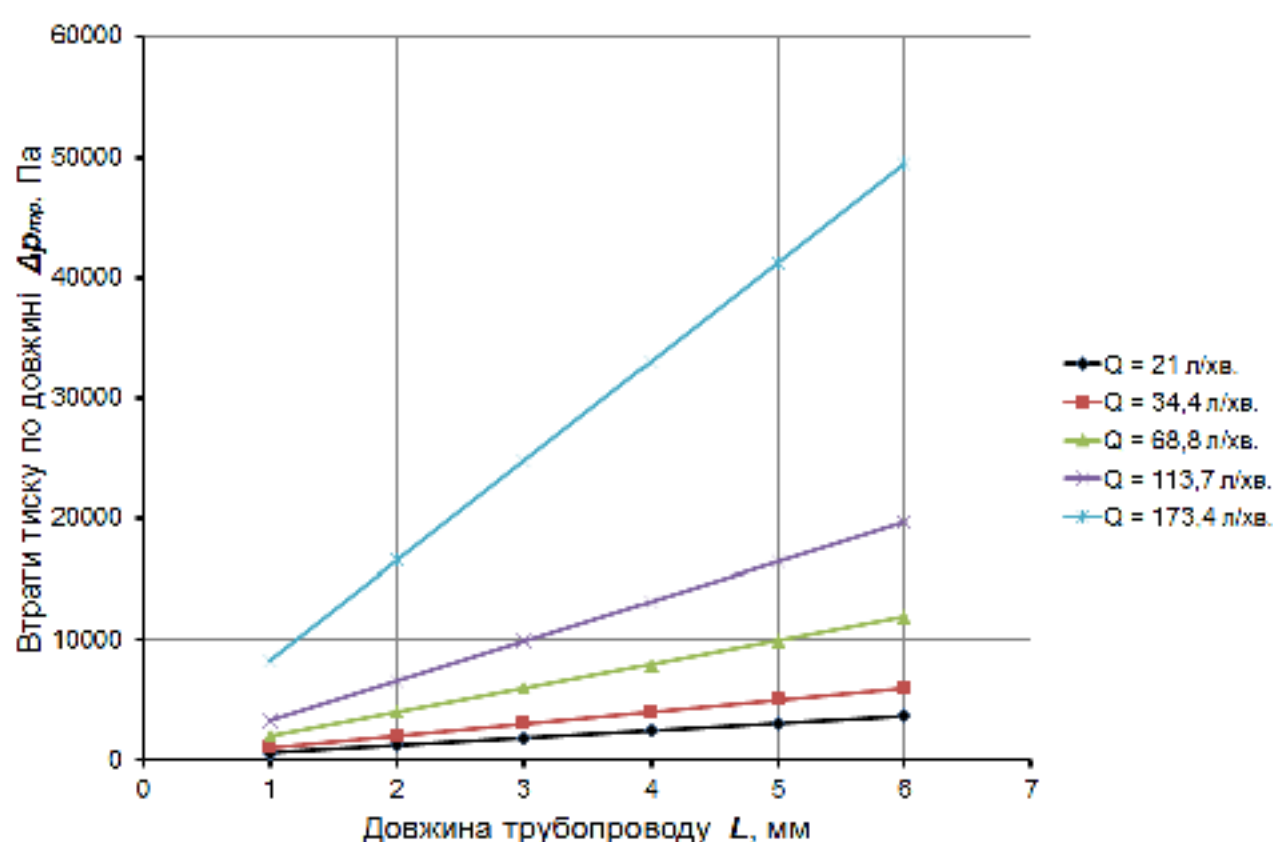


Рисунок 3.4 – Залежності втрат тиску по довжині $\Delta p_{\text{тр}}$ від довжини ℓ трубопроводу для різних витрат Q в трубопроводі

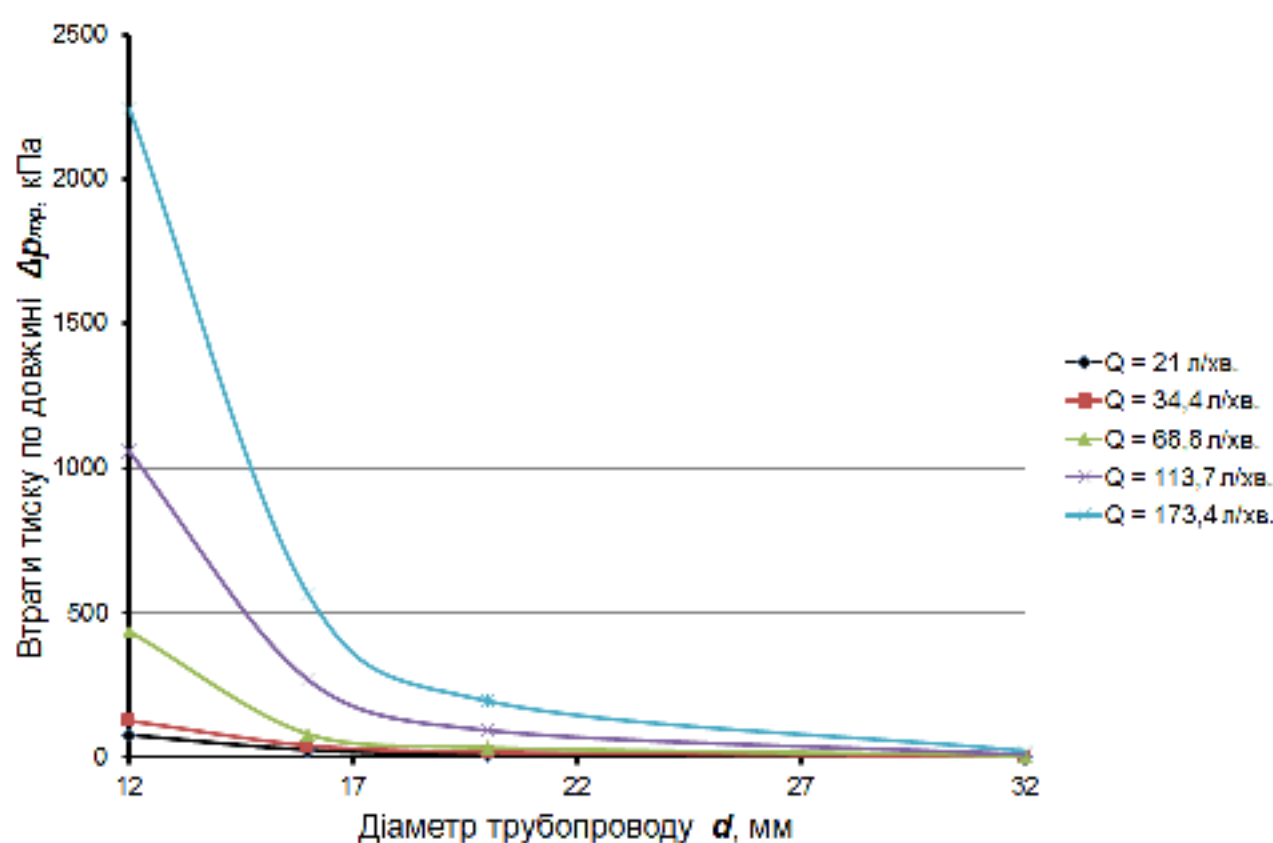


Рисунок 3.5 – Залежності втрат тиску по довжині $\Delta p_{\text{тр}}$ від діаметра d трубопроводу для різних витрат Q в трубопроводі (при $d = 12 \dots 32$ мм)

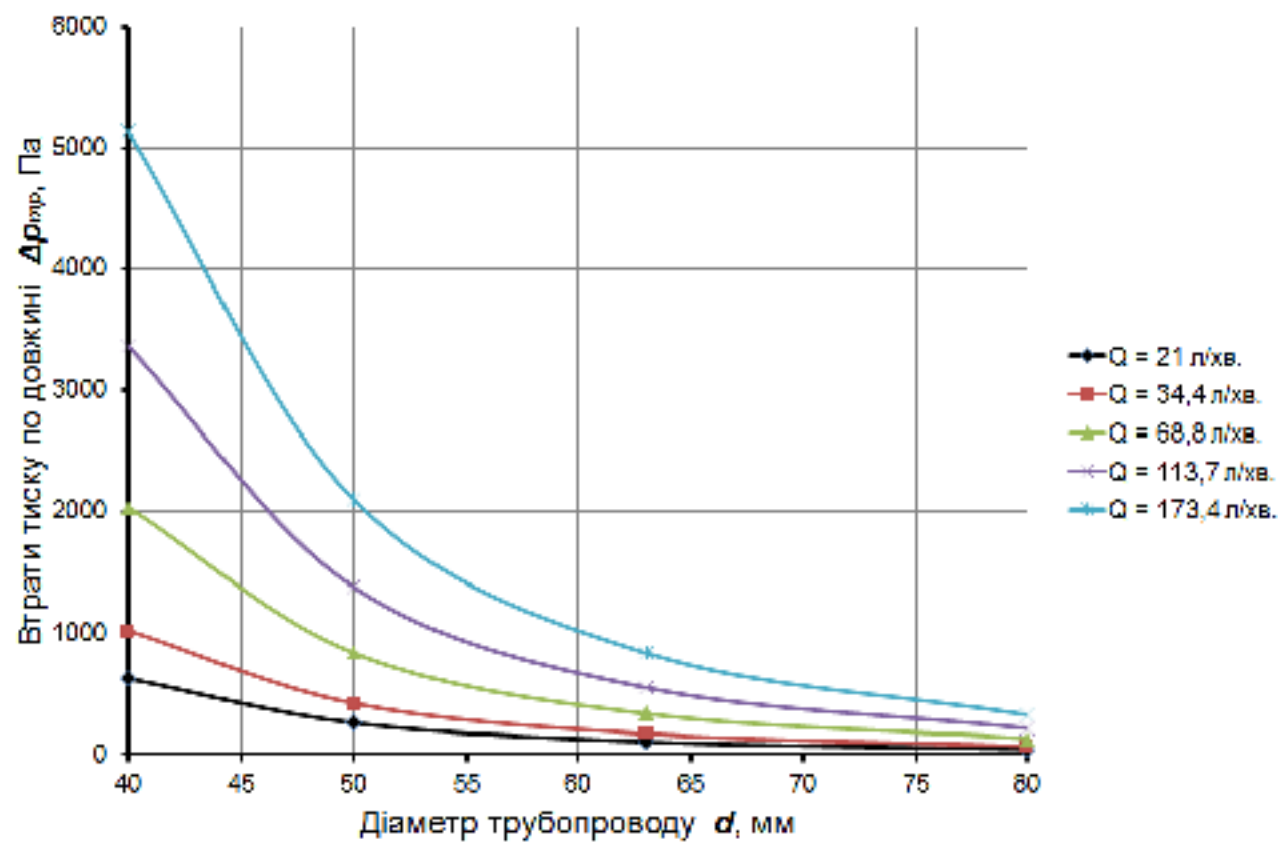


Рисунок 3.6 – Залежності втрат тиску по довжині $\Delta p_{тр}$ від діаметра d трубопроводу для різних витрат Q в трубопроводі (при $d = 40 \dots 80$ мм)

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 ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Приведена програма може бути розрахована за залежністю [2, 23]:

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

де K_{npi} – коефіцієнт приведення,

N_i – річна програма випуску.

Для визначення коефіцієнтів K_1, K_2, K_3 скористаємося даними таблиці 4.1.

Таблиця 4.1– Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Прог- рама, шт.	Параметри									
Корпус	1	5000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			-	-	2	-	1	-	1	-	23	-
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	16	-	-
			-	-	4	-	4	10	-	9	-	-
Корпус 2	1,6	600	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			-	6	1	-	4	-	-	-	10	-
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	16	-	-
			-	2	1	-	1	-	17	-	-	-
Корпус 3	0.8	10000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			3	-	2	-	3	-	-	-	14	-
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	16	-	-
			-	2	2	-	4	14	-	-	-	-
Корпус 4	2	2000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			2	4	1	-	5	-	2	-	15	-
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	16	-	-
			-	3	5	-	2	14	-	5	-	-
Корпус 5	0.3	40000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			-	8	2	-	3	-	3	-	17	-
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	16	-	-
			-	2	4	-	6	9	-	12	-	-

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

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

де m – маса деталі розглядуваного виробу,

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

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

$$\text{- для корпусу 2: } K_{1K2} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_c}{m_{p.пр.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,6}{1}\right)^2} = 1,36 ,$$

$$\text{- для корпусу 3: } K_{1K3} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_\phi}{m_{p.пр.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,8}{1}\right)^2} = 0,86 ,$$

$$\text{- для корпусу 4: } K_{1K4} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{CT}}{m_{p.пр.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{2}{1}\right)^2} = 1,58 ,$$

$$\text{- для корпусу 5: } K_{1K5} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{BK}}{m_{p.пр.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,3}{1}\right)^2} = 0,44 .$$

Для визначення коефіцієнта K_2 скористаємося формулою:

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

де $N_{p.пр.}$ – річна програма випуску розрахункового представника,

N_i – річна програма випуску розглядуваного виробу.

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

- для корпусу 2: $K_{2 \times 2} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_i} \right)^{\alpha} = \left(\frac{5000}{600} \right)^{0.15} = 1,37$,
- для корпусу 3: $K_{2 \times 3} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_i} \right)^{\alpha} = \left(\frac{5000}{10000} \right)^{0.15} = 0,9$,
- для корпусу 4: $K_{2 \times 4} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_i} \right)^{\alpha} = \left(\frac{5000}{2000} \right)^{0.15} = 1,14$,
- для корпусу 5: $K_{2 \times 5} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_i} \right)^{\alpha} = \left(\frac{5000}{40000} \right)^{0.15} = 0,73$.

K_3 – коефіцієнт, що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники. Для технологічно подібних деталей визначається за формулами: $K_3 = K_{31} \cdot K_{32}$ або

$$K_3 = \left(\frac{\overline{K_i}}{K_{p.np}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{\overline{R_i}}{R_{p.np}} \right)^{\alpha_2}, \quad (4.4)$$

де K_i і $K_{p.np}$ – середні значення квалітету точності деталі, що приводиться і деталі – розрахункового представника;

R_i і $R_{p.np}$ – середні значення параметра R шорсткості поверхні деталі, що приводиться і деталі – розрахункового представника;

по таблиці вибирається середній квалітет в степені α_1 та α_2 відповідно для квалітету та шорсткості поверхонь.

$$\overline{K} = \frac{\sum K_j \cdot j}{\sum j}, \quad (4.5)$$

де K_j – квалітет точності поверхні,
 j – кількість поверхонь.

$$\overline{R} = \frac{\sum R_{\kappa} \cdot \kappa}{\sum \kappa}, \quad (4.6)$$

де R_{κ} – квалітет точності поверхні,
 κ – кількість поверхонь.

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

- для розрахункового представника:

$$\overline{K_{\kappa 2}^{p, np}} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot j}{\sum j} = \frac{8 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 14 \cdot 23}{27} = 12,88.$$

- для корпусу 2:

$$\overline{K_{\kappa 2}^{np}} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot j}{\sum j} = \frac{7 \cdot 6 + 8 \cdot 1 + 10 \cdot 4 + 14 \cdot 10}{21} = \frac{212}{21} = 10,95,$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{\kappa 2}^{np}}}{\overline{K_{\kappa 2}^{p, np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{10,95}{12,88} \right)^{0,1} = \frac{0,938}{0,812} = 1,15.$$

- для корпусу 3:

$$\overline{K_{\kappa 3}^{np}} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot j}{\sum j} = \frac{6 \cdot 3 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 14 \cdot 14}{22} = \frac{260}{22} = 11,81,$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{\kappa 3}^{np}}}{\overline{K_{\kappa 3}^{p, np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{11,81}{12,88} \right)^{0,1} = \frac{0,919}{0,812} = 1,13.$$

- для корпусу 4:

$$\overline{K_{\text{тр.нр}}^{\kappa 4}} = \frac{\sum K_{\text{в}} \cdot j}{\sum j} = \frac{6 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 1 + 10 \cdot 5 + 12 \cdot 2 + 14 \cdot 15}{29} = \frac{332}{29} = 11,44,$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{\text{тр.нр}}^{\kappa 4}}}{K_{\text{тр.нр}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{11,44}{12,88} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,925}{0,812} = 1,14.$$

- для корпуса 5:

$$\overline{K_{\text{тр.нр}}^{\kappa 5}} = \frac{\sum K_{\text{в}} \cdot j}{\sum j} = \frac{7 \cdot 8 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 12 \cdot 3 + 14 \cdot 17}{33} = \frac{376}{33} = 11,39,$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{\text{тр.нр}}^{\kappa 5}}}{K_{\text{тр.нр}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{11,39}{12,88} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,93}{0,812} = 1,145.$$

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

- для розрахункового представника:

$$\overline{R_a^{\text{р.нр}}} = \frac{\sum R_a \cdot K}{\sum K} = \frac{1,6 \cdot 4 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 10 + 16 \cdot 9}{27} = \frac{226,2}{27} = 8,37.$$

- для корпуса 2:

$$\overline{R_a^{\kappa 2}} = \frac{\sum R_a \cdot K}{\sum K} = \frac{1,25 \cdot 2 + 1,6 \cdot 1 + 3,2 \cdot 1 + 12,5 \cdot 17}{21} = \frac{219,8}{21} = 10,46,$$

$$K_{3,2}^{\kappa 2} = \left(\frac{R_a^{\kappa 2}}{\overline{R_a^{\text{р.нр}}}} \right)^{\alpha_2} = \left(\frac{10,46}{8,37} \right)^{\alpha_2} = \frac{0,95}{0,9663} = 0,98.$$

- для корпуса 3:

$$\overline{R_a^{\kappa 3}} = \frac{\sum R_a \cdot K}{\sum K} = \frac{1,25 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 14}{22} = \frac{106,7}{22} = 4,85,$$

$$K_{3.2}^{\kappa 3} = \left(\frac{R_a^{\kappa 3}}{R_a^{p, np}} \right)^{\alpha 2} = \left(\frac{4,85}{8,37} \right)^{\alpha 2} = \frac{1,01}{0,9663} = 1,04.$$

- для корпуса 4:

$$\overline{R_a^{\kappa 4}} = \frac{\sum R_a \cdot K}{\sum K} = \frac{1,25 \cdot 3 + 1,6 \cdot 5 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 14 + 16 \cdot 5}{29} = \frac{186,7}{29} = 6,43,$$

$$K_{3.2}^{\kappa 4} = \left(\frac{R_a^{\kappa 4}}{R_a^{p, np}} \right)^{\alpha 2} = \left(\frac{6,43}{8,37} \right)^{\alpha 2} = \frac{0,9857}{0,9663} = 1,02.$$

- для корпуса 5:

$$\overline{R_a^{\kappa 5}} = \frac{\sum R_a \cdot K}{\sum K} = \frac{1,25 \cdot 2 + 1,6 \cdot 4 + 3,2 \cdot 6 + 6,3 \cdot 9 + 16 \cdot 12}{33} = \frac{276,8}{33} = 8,38,$$

$$K_{3.2}^{\kappa 5} = \left(\frac{R_a^{\kappa 5}}{R_a^{p, np}} \right)^{\alpha 2} = \left(\frac{8,38}{8,37} \right)^{\alpha 2} = \frac{0,95}{0,9663} = 1.$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:

- для корпуса 2: $K_{3 \kappa 2} = K_{3.1}^{\alpha 1} \cdot K_{3.2}^{\alpha 2} = 1,15 \cdot 0,98 = 1,127,$

- для корпуса 3: $K_{3 \kappa 3} = K_{3.1}^{\alpha 1} \cdot K_{3.2}^{\alpha 2} = 1,13 \cdot 1,04 = 1,17,$

- для корпуса 4: $K_{3 \kappa 4} = K_{3.1}^{\alpha 1} \cdot K_{3.2}^{\alpha 2} = 1,14 \cdot 1,02 = 1,16,$

- для корпуса 5: $K_{3 \kappa 5} = K_{3.1}^{\alpha 1} \cdot K_{3.2}^{\alpha 2} = 1,145 \cdot 1 = 1,145.$

Знайдемо значення коефіцієнта K_{np} для кожного виробу за формулою:

$$K_{np} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.7)$$

- для корпуса 2: $K_{np 2} = 1,36 \cdot 1,37 \cdot 1,127 = 2,09,$

- для корпусу 3: $K_{np\Phi} = 0,86 \cdot 0,9 \cdot 1,17 = 0,9$,
- для корпусу 4: $K_{npCT} = 1,58 \cdot 1,14 \cdot 1,16 = 2,08$,
- для корпусу 5: $K_{npBK} = 0,44 \cdot 0,73 \cdot 1,145 = 0,36$.

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме:

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{npi} = 5000 \cdot 1 + 600 \cdot 2,09 + 10000 \cdot 0,9 + 2000 \cdot 2,08 + 40000 \cdot 0,36 = 5000 + 1254 + 9000 + 4160 + 14400 = 33814 \text{ (шт.)}.$$

Таблиця 4.2 – Приведена програма

Найменування виробу	Річний випуск, шт	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма, шт.
			по масі	по серійності	по складності	загальний	на річний випуск
Корпус	5000	1	1	1	1	1	5000
Корпус 2	600	1,6	1,36	1,37	1,127	2,09	1254
Корпус 3	10000	0,8	0,86	0,9	1,17	0,9	9000
Корпус 4	2000	2	1,58	1,14	1,16	2,08	4160
Корпус 5	40000	0,3	0,44	0,73	1,145	0,36	14400
							$\Sigma 33814$

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Згідно [2, 23] розрахункова кількість верстатів для кожної операції визначається за формулою:

$$C_p = \frac{T_{шт-к} \cdot N}{60 \cdot \Phi_p}, \quad (4.8)$$

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

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

$$\text{операція 005:} \quad C_{p\ 005} = \frac{8,65 \cdot 5000}{60 \cdot 3890} = 0,185 ; C_{np\ 005} = 1;$$

$$\text{операція 010:} \quad C_{p\ 010} = \frac{9,78 \cdot 5000}{60 \cdot 3890} = 0,21 ; C_{np\ 005} = 1;$$

$$\text{операція 015:} \quad C_{p\ 010} = \frac{5,19 \cdot 5000}{60 \cdot 3890} = 0,11 ; C_{np\ 010} = 1.$$

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

$$\text{операція 005:} \quad C_{p\ 005} = \frac{8,65 \cdot 33814}{60 \cdot 3890} = 1,25 ; C_{np\ 005} = 2;$$

$$\text{операція 010:} \quad C_{p\ 010} = \frac{9,78 \cdot 33814}{60 \cdot 3890} = 1,42 ; C_{np\ 005} = 2;$$

$$\text{операція 015:} \quad C_{p\ 010} = \frac{5,19 \cdot 33814}{60 \cdot 3890} = 0,75 ; C_{np\ 010} = 1.$$

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

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

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

Тоді,

$$\text{операція 005:} \quad \eta_{z\ 005} = \frac{1,25}{2} = 0,625 ;$$

операція 010: $\eta_{3010} = \frac{1,42}{2} = 0,71 ;$

операція 015: $\eta_{3015} = \frac{0,75}{1} = 0,75 .$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{3ср} = \frac{0,625 + 0,71 + 0,75}{3} = 0,7 .$$

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

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{\text{мв} - \kappa}} . \quad (4.10)$$

Операція 005: $\eta_{o005} = \frac{6,177}{8,65} = 0,71 .$

Операція 010: $\eta_{o010} = \frac{7,985}{9,78} = 0,82 .$

Операція 015: $\eta_{o015} = \frac{3,71}{5,19} = 0,71 .$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом:

$$\eta_{oср} = \frac{0,71 + 0,82 + 0,71}{3} = 0,75 .$$

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

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

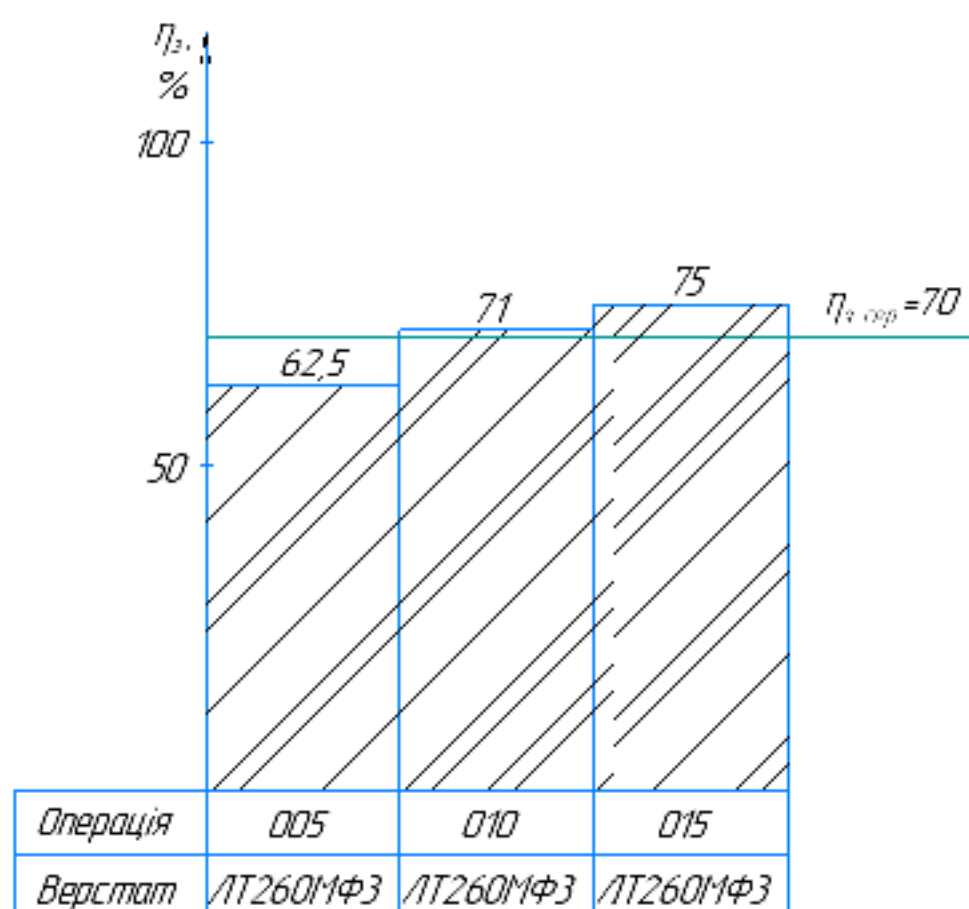


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

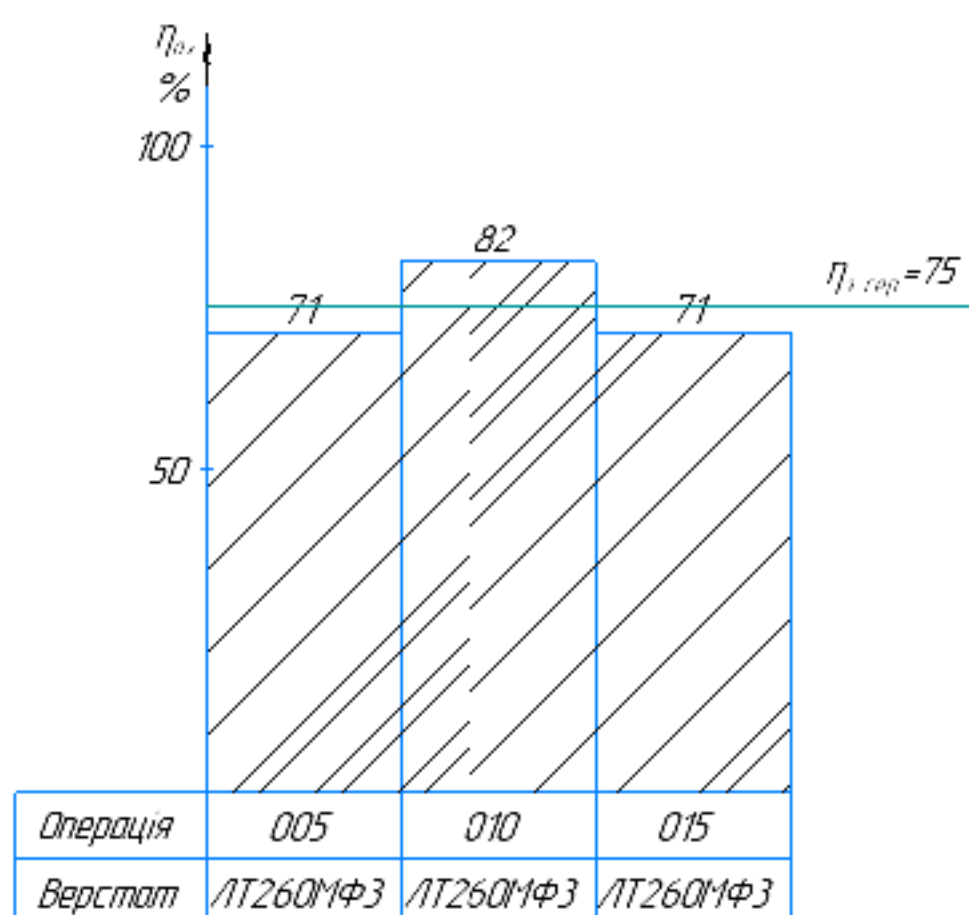


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Висновок. Коефіцієнт завантаження обладнання є досить високим, однак не відповідає умовам серійного виробництва (0,75-0,85). Верстат на операції 010 необхідно довантажити обробкою інших деталей.

Коефіцієнт використання за основним є досить високий, що свідчить про правильність розробленого технологічного процесу, більша частина штучно-калькуляційного часу використовується на процес різання.

4.4 Розрахунок кількості працюючих на дільниці

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою [2, 23]:

$$P_i = \frac{\Phi_{\text{в}} \cdot C_{\text{вр}} \cdot \eta_z \cdot \eta_o}{\Phi_{\text{с}} \cdot K_{\text{м}}}, \quad (4.11)$$

де $C_{\text{вр}}$ – прийнята кількість верстатів, шт.;

$\Phi_{\text{в}}$ – ефективний річний фонд роботи верстатника, $\Phi_{\text{в}} = 1840$ год.;

$\Phi_{\text{с}}$ – ефективний фонд роботи верстата, $\Phi_{\text{с}} = 3890$ год.;

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування, $K_{\text{м}} = 1,0 \dots 2,2$;

η_z, η_o – коефіцієнти завантаження.

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,625 \cdot 0,71}{1840 \cdot 1} = 0,94 ; \quad P_{\text{вр } 005} = 1;$$

$$P_{010} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,71 \cdot 0,82}{1840 \cdot 4} = 1,23 ; \quad P_{\text{вр } 010} = 2;$$

$$P_{015} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,75 \cdot 0,71}{1840 \cdot 4} = 1,13 ; \quad P_{\text{вр } 015} = 2.$$

Кількість основних робітників складає 5 чоловік. На всіх операціях можливе довантаження основних робітників обробкою інших деталей, так як вони не в повній мірі завантажені роботою.

Кількість допоміжних робітників:

$$P_{\text{доп}} = (0,2 \dots 0,25) \cdot 5 = 1,0 \dots 1,25.$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

Кількість ІТР:

$$P_{\text{ІТР}} = (0,16 \dots 0,22) \cdot 5 = 0,8 \dots 1,1.$$

Приймаємо 1 чоловіка ІТР, який має неповне завантаження на даній ділянці і тому має обслуговувати інші ділянки.

Кількість службовців:

$$P_{\text{СКП}} = (0,009 \dots 0,019) \cdot 5 = 0,045 \dots 0,097.$$

Приймаємо 1 службовця, який має неповне завантаження на даній ділянці і тому має обслуговувати ще ряд інших ділянок (наприклад бухгалтер).

Кількість МОП:

$$P_{\text{МОП}} = (0,01 \dots 0,02) \cdot 8 = 0,08 \dots 0,16.$$

Приймаємо 1 людину МОП (з обслуговуванням інших ділянок).

Отримані дані занесемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Відомість складу працюючих ділянки

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники	розрахунок	5	5
Допоміжні робітники	20...25%	1,0...1,25	1
ІТР	16...22%	0,8...1,1	1
СКП	0,9...1,9%	0,045...0,097	1
МОП	1-2%	0,08...0,16	1

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз умов праці

Досліджуваним об'єктом є механічна дільниця на якій проводиться виготовлення деталі типу «Корпус шестеренного насоса» та автоматизація розрахунку втрат тиску в трубопроводі гідроприводу з таким насосом.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори діляться на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться:

- запиленість;
- механізми, що рухаються; частини виробничого обладнання, що рухаються; вироби та заготовки, що переміщуються;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищений рівень шуму на робочому місті (через механізми, що рухаються;
- підвищена вологість повітря (випробування на герметичність та охолодження прохолодною водою);
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищена напруга магнітного поля;

Біологічні шкідливі та небезпечні фактори відсутні.

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться:

- по характеру впливу на організм людини - канцерогенні;
- по шляху проникнення в організм людини - через органи дихання.

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться:

- фізичні перевантаження (статичні фізичні перевантаження);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Вимоги до виробничих та допоміжних приміщень. Будівлі повинні відповідати вимогам:

- площа виробничого приміщення на одного працюючого – $4,5 \text{ м}^2$;
- об'єм виробничого приміщення на одного працюючого – 15 м^3 ;
- висота цеху – 3,5м.

Ремонтні майстерні, інструментальні кладові, службові приміщення повинні розташовуватись в добудованих до основної будівлі.

Допоміжні приміщення потрібно розташовувати в добудованих до виробничих будівель в місцях з найменшою дією небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Висота допоміжних приміщень, розташованих в виробничих будівлях, повинна бути не менше 2,4 м.

Основними вимогами охорони праці, які висуваються в проектуванні машин та механізмів, є безпека для людини, надійність та зручність експлуатації.

Підлога в приміщенні повинна виконуватись з негорючих матеріалів та задовольняти гігієнічним, технологічним і експлуатаційним вимогам кожного конкретного виробництва у відповідності з вимогами.

5.1.2 Електробезпека

Однією із важливих умов безпеки обладнання є електробезпека – система організаційних та технічних засобів, які забезпечують захист людини від електричного струму. Приміщення відноситься до вологих, в яких пари вологи виділяються короткочасно в невеликій кількості і відносна вологість повітря перевищує 75%. Для подолання небезпеки ураження людини електричним струмом використовують занулення.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Згідно з [24] показники, які характеризують мікроклімат:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- інтенсивність теплового випромінювання.

Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційовано для постійних та непостійних робочих місць. Допустимі величини показників мікроклімату встановлюються у випадках, коли по технологічним вимогам, технічним та економічним причинам не забезпечуються оптимальні норми.

З огляду на умови роботи в цеху, приймаємо категорію робіт середньої тяжкості ІІб. Відповідно до цього, вимоги до показників мікроклімату вказані у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Температура, С°			Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
	Оптимальна	Допустима на постійних робочих місцях		Оптимальна	Допустима на постійних і непостійних робочих місцях, не більше	Оптимальна, не більше	Допустима на постійних і непостійних робочих місцях, не більше
		Верхня межа	Нижня межа				
Холодний	17-19	21	15	40-60	75	0,2	<0,4
Теплий	20-22	27	16	40-60	70 при 25С°	0,3	0,2-0,5

При роботах в зону дихання робітників потрапляють аерозолі, які мають в своєму складі тверді фази різних металів (марганцю, хрому, нікелю, міді, титану, алюмінію, заліза, вольфраму та ін.) та їх оксиди, концентрація яких не повинна перевершувати норми відповідно до [25].

З огляду на це, відповідно до [25] вибираємо загально-обмінну приточну вентиляцію.

5.2.2 Освітлення

Згідно [26], в залежності від зорової роботи в приміщенні, де знаходиться досліджуємий об'єкт, можна віднести до І групи приміщень – це приміщення, в

яких проводиться розрізнення об'єктів зорової роботи при фіксованому напрямку лінії зору працюючих на робочу поверхню.

Площа, в якій нормується освітленість – Г (горизонтальна),

- розряд зорових робіт – IVa (для зварювальних робіт, середньої точності зорових робіт та найменшого розміру об'єкту розрізнення – від 0,5 до 1);

- освітленість, лк:

комбінована (загальна + місцева) – 750; загальна – 300;

- показник осліплення – не більше 40%;

- коефіцієнт пульсації – не більше 20%.

В [26] приведені нормовані значення коефіцієнта природного освітлення для III поясу світлового клімату.

Робоча поверхня знаходиться на відстані 1,5 м від підлоги.

Норми освітлення для цеху по відновленню деталей містяться у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Норми освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Характеристика фону	Контраст об'єкту з фоном	Освітленість КПО, e_H^{IV} , %		
						Штучне освітлення		Природне
						Комбіноване	Загальне	Бокове освітлення
Середньої точності	Більше 0,5 до 1	IV	a	Темний	Малий	750	300	1,2

Для освітлення цеху слід застосувати газорозрядні лампи. Для місцевого освітлення повинні застосовуватись світильники.

5.2.3 Виробничий шум

Шум є хаотичним сполученням звуків різної частоти і інтенсивності.

По характеру спектру шум відноситься до широкополосного постійного.

Дія шуму на людину: загально біологічні роздратування, патологічні зміни, функціональні розлади, механічні ушкодження. При довгій дії

інтенсивного шуму можуть відбутися патологічні зміни слухового органу.

Згідно з [27] приведемо допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях

Вид трудової діяльності	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних полосах із середнього метричним й частотами, Гц.									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Методи і засоби боротьби з шумом у відповідності з [27] відбувається таким чином: захист від шуму повинен досягатися за рахунок розробки шумобезпечної техніки, використанням засобів і методів колективного захисту і індивідуального захисту, будівельно-акустичними методами.

Основні засоби колективного захисту зниження шуму в джерелі його, виникнення і на шляху його розповсюдження.

5.2.4 Виробничі вібрації

По [28] в нашому випадку категорія вібрації по санітарним нормам і критеріям оцінки: 3 тип "а" – межа зниження продуктивності праці (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Норми одночислових показників вібраційного навантаження

Вид вібрацій	Категорія вібрацій по санітарним нормам	Напрямок дії вібрації	Нормативні коректовані по частоті і еквівалентні коректовані значення			
			Віброприскорення		Віброшвидкості	
			$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	дБ	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2} \times 10^{-2}$	дБ
Загальна	3 тип "а"	ZoXoYo	0,1	100	0,2	95
Локальна	—	ZoXoYo	2,0	126	2,0	112

Основні засоби колективного захисту від вібрації зниження вібрації дією на джерело збудження, вібродемпфування, віброізоляція та ін.

Засоби індивідуального захисту: нагрудники, пояси та ін. При побудові приміщення потрібно використовувати вібропоглинаючі покриття.

5.3 Технічні рішення з пожежної безпеки

Цех відноситься до приміщення категорії Г по вибухо- та пожежонебезпеці [32].

По ступеню вогнестійкості будівля відноситься до Ша – будівлі з переважно каркасною конструктивною схемою. Елементи каркасу – із сталевих незахищених конструкцій. Огороджуючі конструкції – із сталевих не профільованих листів або із негорючих листових матеріалів з важкогорючими утеплювачами.

Межі вогнестійкості конструкції об'єкту повинні бути такими, щоб конструкції зберігали несучі і огороджуючі функції протягом евакуації людей або перебування їх в місцях колективного захисту. При цьому межі вогнестійкості повинні встановлюватись без врахування впливу засобів гасіння пожежі, але з врахуванням пожеже – вибухонебезпеки виробничих процесів. Основні вимоги показані регламентуються відповідно до [32].

У приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій перекриття повинна бути не менше 2,2 м, висота від підлоги до низу виступаючих частин комунікацій і обладнання в місцях регулярного проходу людей і на шляхах евакуації - не менше 2 м, а в місцях нерегулярного проходу людей - не менше 1,8 м. Відстані до еваковиходів для категорії приміщення Г і III ступеню вогнестійкості не обмежуються щільністю людського потоку в загальному проході. Крім цього, [32] визначає кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу 260.

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей,

які знаходяться в приміщенні будівлі через еваковиходи.

Кількість еваковиходів із будівлі потрібно приймати не менше двох.

Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, а дверей – не менше 0,8 м. Приймаємо для даного приміщення 2 пожежних щити. Згідно [32] їх фарбують в білий колір із червоною смужкою по периметру. Всі засоби пожежогасіння фарбують в червоний колір. На кожному щиті повинен бути набір протипожежного інвентарю і первинних засобів пожежегасіння.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська дипломна робота виконана з урахуванням сучасних напрямків розвитку технології машинобудівного виробництва з використанням прогресивного, автоматизованого обладнання, інструментів, комп'ютерних прикладних програм.

В роботі спроектовано технологічний процес механічної обробки деталі типу «Корпус шестеренного насоса». При цьому згідно заданої програми випуску розрахункового представника визначено тип та форму організації виробництва, виконано аналіз технологічності конструкції деталі, розглянуті можливі методи та способи виготовлення заготовки та вибрано оптимальний на основі техніко-економічних розрахунків, вибрані методи обробки поверхонь деталі, чорнові та чистові бази для виконання операцій механічної обробки, проведено розмірний аналіз технологічного процесу, розраховані припуски (аналітичним способом) на обробку отвору, режими різання, норми часу.

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 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».

Для визначення необхідної кількості верстатів для виконання механічної обробки та забезпечення їх нормального завантаження підібрані аналогічні (за технологією обробки) деталі та розраховано приведену програму. Встановлено кількість працюючих, які забезпечать роботу верстатів на дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус шестеренного насоса».

Розроблені заходи з охорони праці на дільниці механічної обробки заданої деталі.

У графічній частині представлено робочі креслення деталі, заготовки, графічне зображення маршруту механічної обробки заготовки деталі, схеми з таблицями, що пояснюють розмірний аналіз технологічного процесу, карта налагоджень на одну операцію та графіки завантаження верстатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
2. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 148 с.
3. Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 116 с. Електронний ресурс : https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927.
4. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2: Самостійна та індивідуальна робота студентів. Вінниця : ВНТУ, 2021. 90 с.
5. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
6. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
7. Юрчишин І. І., Литвиняк Я. М., Грицай І. Є., Кукляк М. Л., Кусий Я. М., Ступницький В. В., Яцюк В. А., Кук А. М., Махоркін Є. М., Свізінський В. П. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт : навчальний посібник / за ред. І. І. Юрчишина, Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. 528 с.
8. Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В., Дусанюк С. В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Листі заготовки: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2009. 199 с.

9. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення : ДСТУ 8981–2020. – [Чинний від 2021-05-01] К. : ДП «Укр НДЦН» 2021. – 77 с.

10. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.

11. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.

12. Руденко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин. К. : ІСДО, 1993. 304 с.

13. Дерібо О. В., Репінський С. В. Розмірно-точнісне моделювання конструкцій та технологічних процесів: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2024. 105 с. Режим доступу : <https://iq.vntu.edu.ua/repository/card.php?lang=uk&id=8184>.

14. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2015. 116 с.

15. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2019. 67 с.

16. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

17. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. Під заг. ред. В. А. Кириловича. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 600 с.

18. В. О. Федорець, М. Н. Педченко, В. Б. Струтинський [та ін.] Гідроприводи та гідропневмоавтоматика : підручник. За редакцією В. О. Федорця. К. : Вища шк. 1995. 463 с.

19. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Пурдик В. П., Репінський С. В. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Курсове проектування для студентів

напрямів підготовки 6.050502 – «Інженерна механіка», 6.050503 – «Машинобудування»: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2014. 238 с.

20. О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, і С. В. Репінський, «Вплив коливань подачі шестеренного насоса на динамічні процеси в гідроприводі з довгою напірною гідролінією», Вісник ВПІ, вип. 5, с. 86–91, Жовт. 2022.

21. Репінський С. В., Подоляк В. А. Комп'ютерна програма «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68763. К.: Державна служба інтелектуальної власності України. Зареєстр. 24.11.2016.

22. Репінський С. В., Кобилянська Ю. С., Малюшко А. В. Автоматизація гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі [Електронний ресурс]/ Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2022), Вінниця, 30-31 травня 2022 р. Електрон. текст. дані. 2022. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/15673>.

23. Джур Є. О., Бондаренко О. В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. – Д.: «Інновація», 2011. 109 с.

24. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/vie>.

25. ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К.: Мінрегіонбуд України, 2013.

26. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

27. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

28. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

29. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. URL: https://ammokote.com/wp-content/uploads/2020/08/DSTU_2272_2006.pdf.

30. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

31. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.

32. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

ДОДАТКИ

Додаток А (обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Технологія виготовлення деталі типу «Корпус шестеренного насоса» та автоматизація розрахунку втрат тиску в трубопроводі гідроприводу з таким насосом

Тип роботи: БДР
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд,
інше (зазначити))

Підрозділ кафедра технологій та автоматизації машинобудування, ФМТ,
гр. 1ПМ-206
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник Дерібо О. В., професор каф. ТАМ
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	88,3
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	11,7

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 (додається)

Автор _____
(підпис)

Левіщенко А. П.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота може бути допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Лозінський Д. О.
(прізвище, ініціали)

Експерт _____
(за потреби) (підпис)

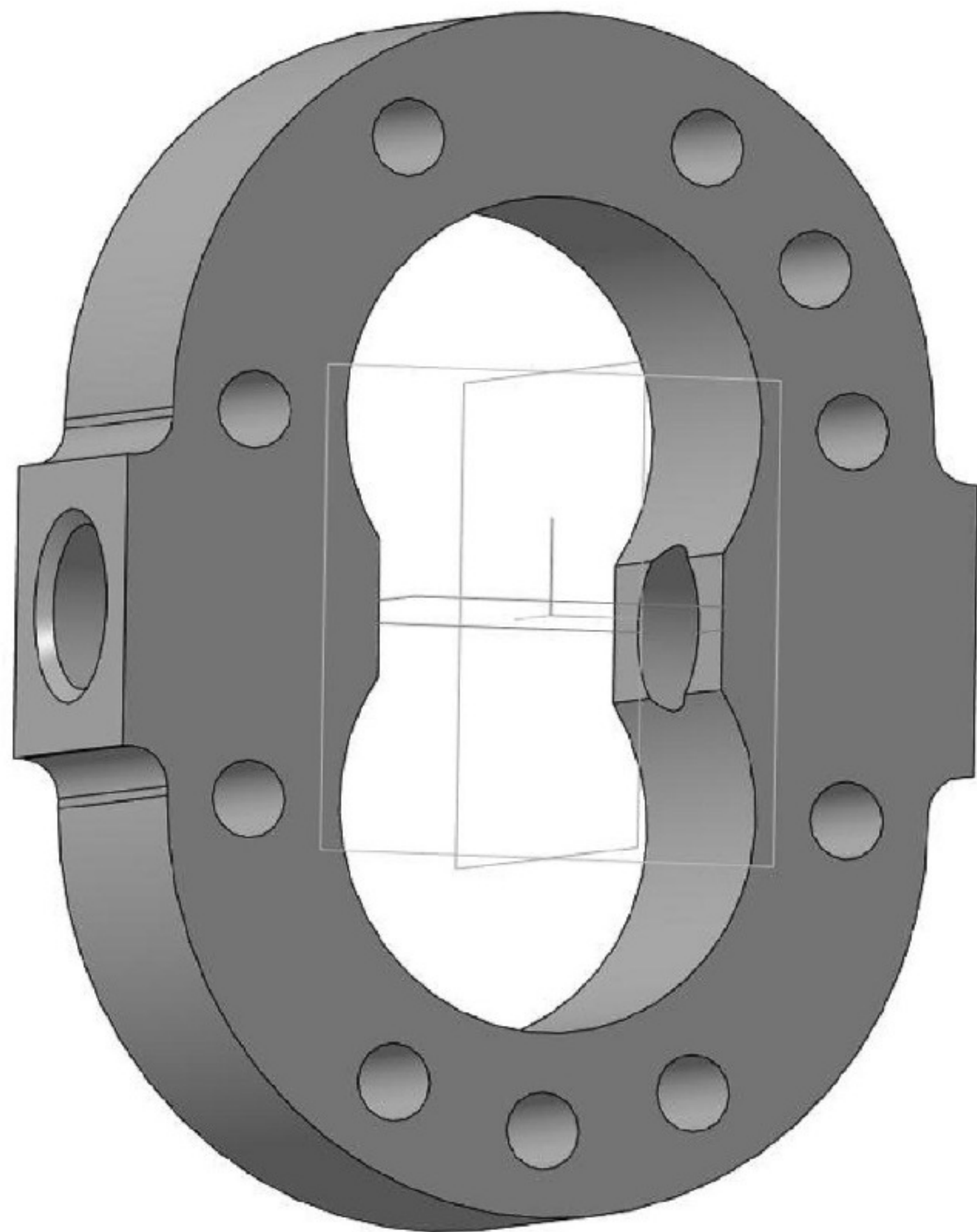
(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

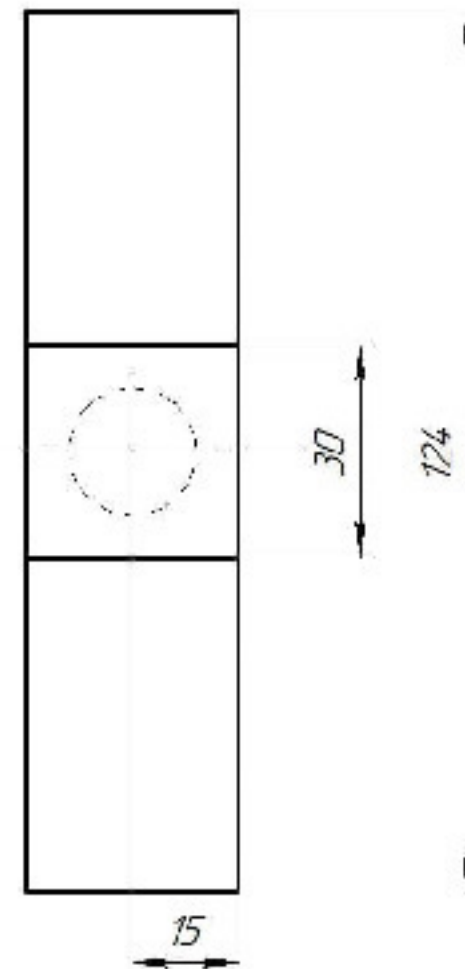
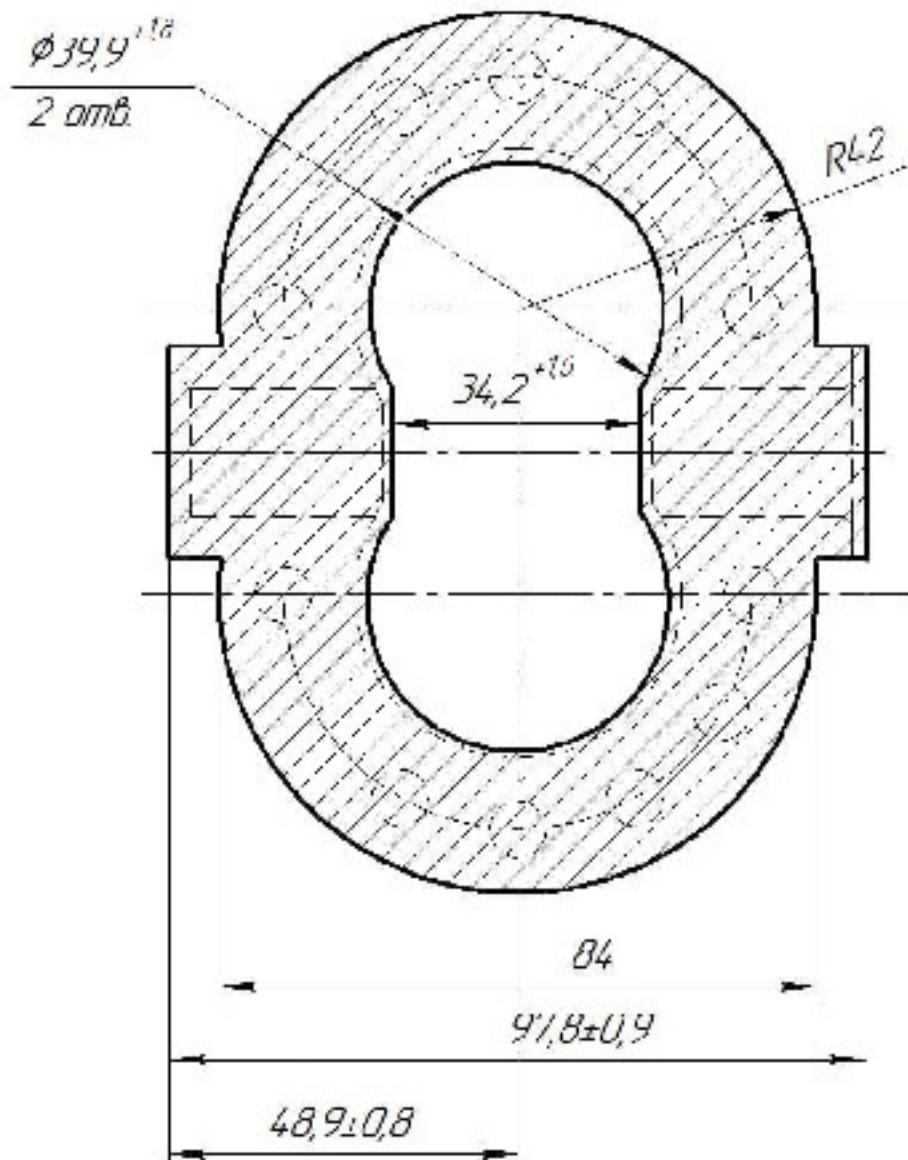
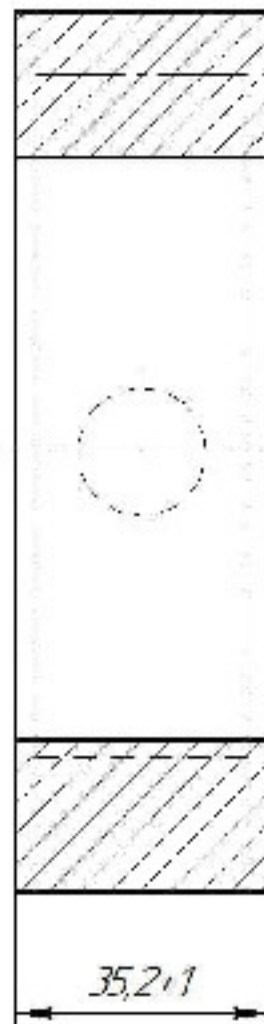
ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ШЕСТЕРЕННОГО
НАСОСА» ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ВТРАТ ТИСКУ В
ТРУБОПРОВІДІ ГІДРОПРИВОДУ З ТАКИМ НАСОСОМ

3D-модель деталі "Корпус шестеренного насоса"



08-64.БДР.01100.002

$\sqrt{Ra\ 12,5}$



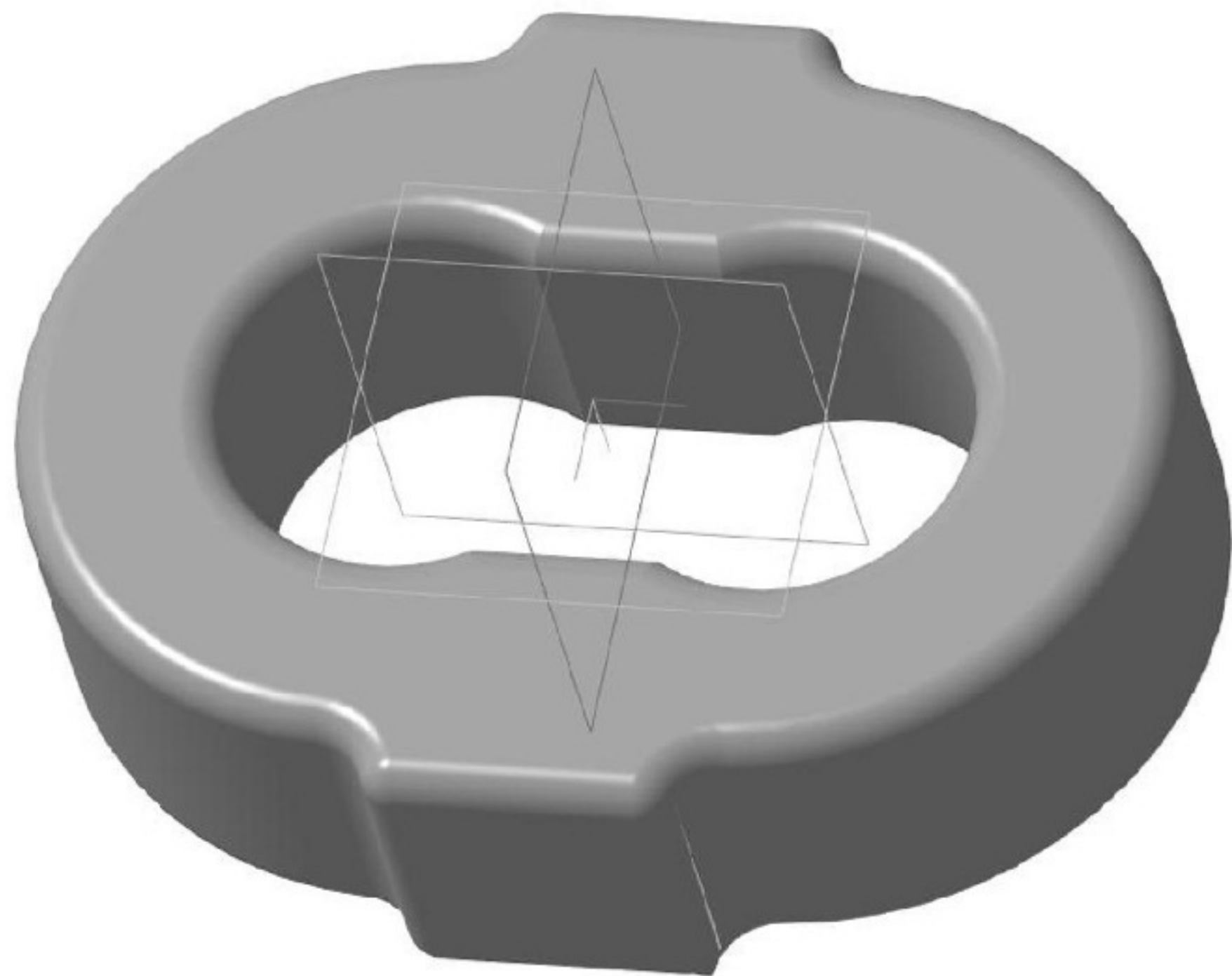
1. Точність виливка 9-6-14-7 ГОСТ 26645-85.
2. Маса 0,6-0,2-0,08- 0,88.
3. Невказані на кресленні радіуси заокруглень 3 мм.
4. Допускаються раковини і пустоти 0,9 мм на глибині 1,9 мм.

08-64.БДР.01100.002					Корпус шестеренного насоса (вильовок)		
Исполн	Л.С.М.	№ докум.	Подп.	Взам.	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Л.С.М.	Л.С.М.				1	1:1
Проект	Л.С.М.	Л.С.М.			Лист	Листов	1
Техн. контр.					СЧ20 ГОСТ 1412-85		
Начальн. Упр.	Л.С.М.	Л.С.М.			ВНТУ, ст. гр. 1П1-206		

Корпус

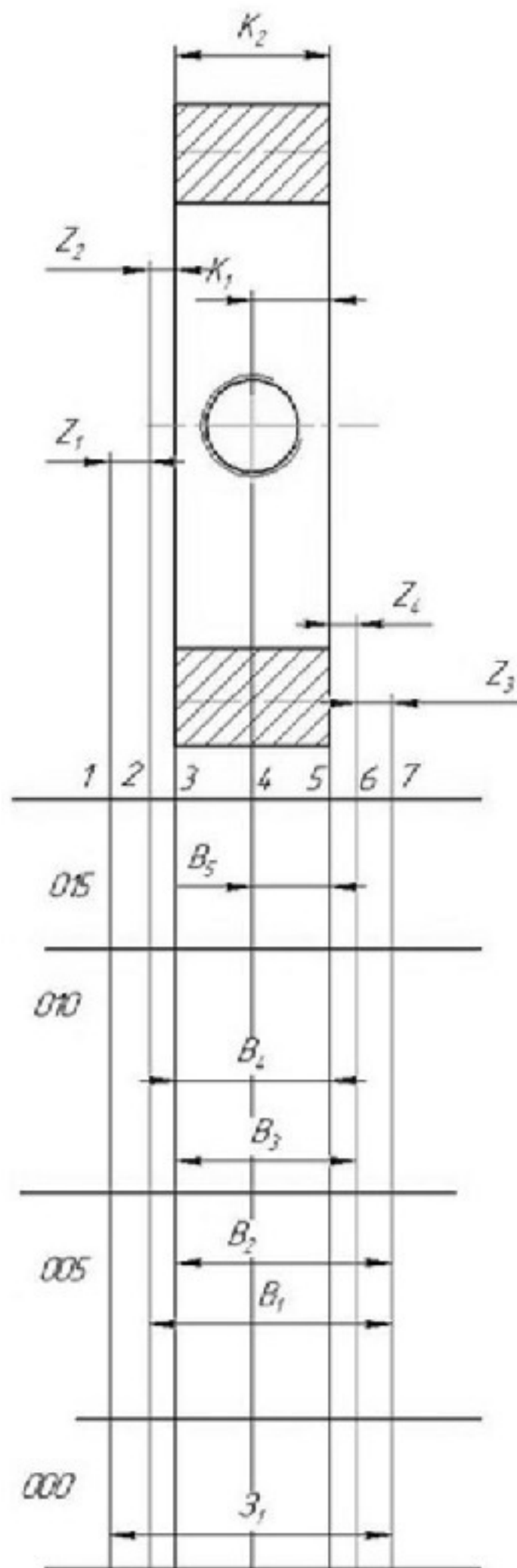
Фиг. 1 А3

3D-модель заготовки детали "Корпус шестеренного насоса"

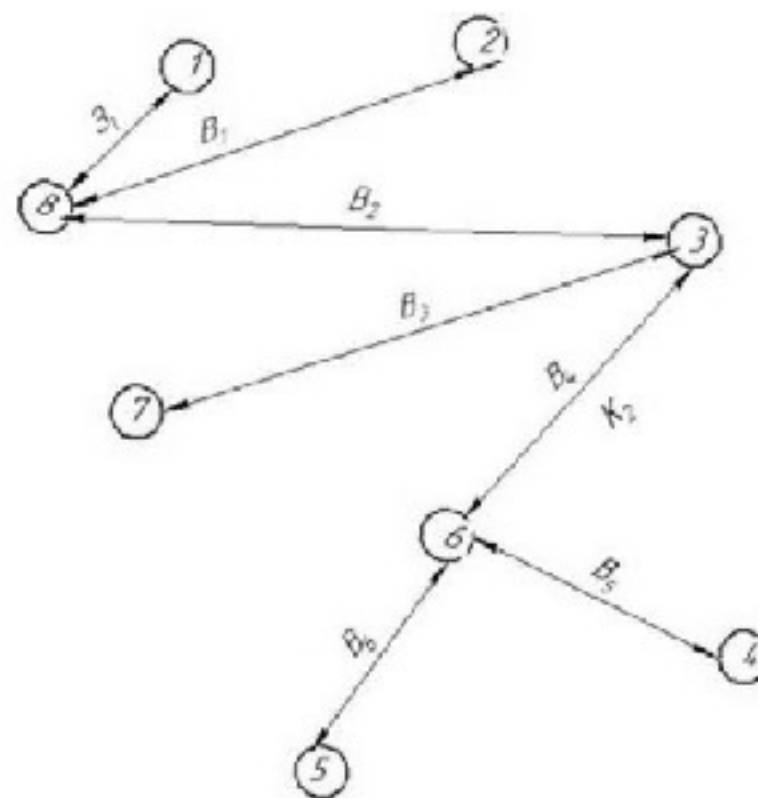


№	Операції, переходи	Ескізи та схеми установки	Моделі перигаміт
005	<u>Благоділля з ЧПК</u> - Встановити і закріпити заготовку - Фрезерувати площину 1 в розмір 32,89(-0,25) - Центрувати отвори 2 - Свердлити отвори 2 - Зенкувати отвори 2 - Розвернути отвори 2 витримуючи розміри згідно ескізу - Фрезерувати 1 остаточно в розмір згідно ескізу - Зняти заготовку		Благоділля з ЧПК ЛТ260МФ3
010	<u>Благоділля з ЧПК</u> - Встановити і закріпити заготовку - Фрезерувати площину 1 в розмір 30,6625(-0,092) - Фрезерувати по контуру поверхню 2 - Позначити отвори 2 поперекіла - Розточити отвори 2 універсально - Центрувати отвори 3 - Свердлити отвори 3 - Фрезерувати остаточно в розмір згідно ескізу - Зняти заготовку		Благоділля з ЧПК ЛТ260МФ3
015	<u>Благоділля з ЧПК</u> <u>Установка 1</u> - Встановити і закріпити заготовку - Фрезерувати площину 1 витримуючи розміри вказані на ескізі - Центрувати отвір 2 - Свердлити отвір 2 - Зенкувати філку в отворі 2 - Порізати різь в отворі 2 витримуючи розміри вказані на ескізі - Зняти заготовку <u>Установка 2</u> - Встановити і закріпити заготовку - Фрезерувати площину 1 витримуючи розміри вказані на ескізі - Центрувати отвір 2 - Свердлити отвір 2 - Зенкувати філку в отворі 2 - Порізати різь в отворі 2 витримуючи розміри вказані на ескізі - Зняти заготовку		Благоділля з ЧПК ЛТ260МФ3

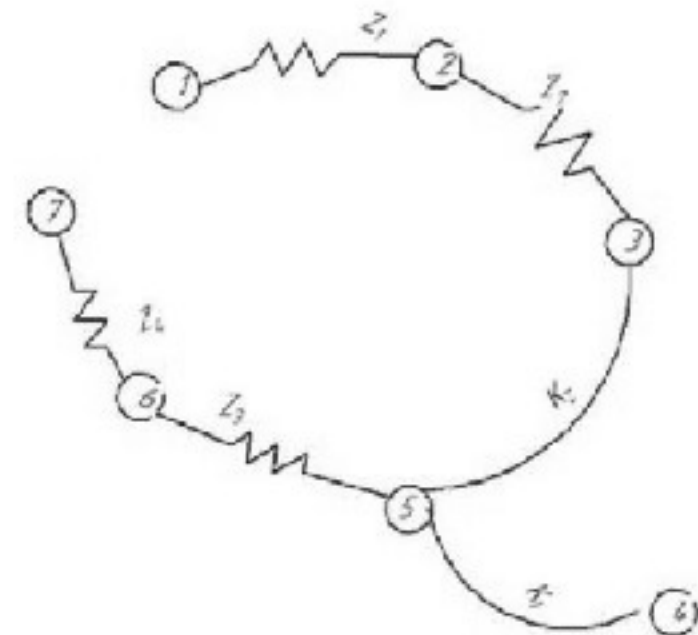
Розмірний аналіз технологічного процесу



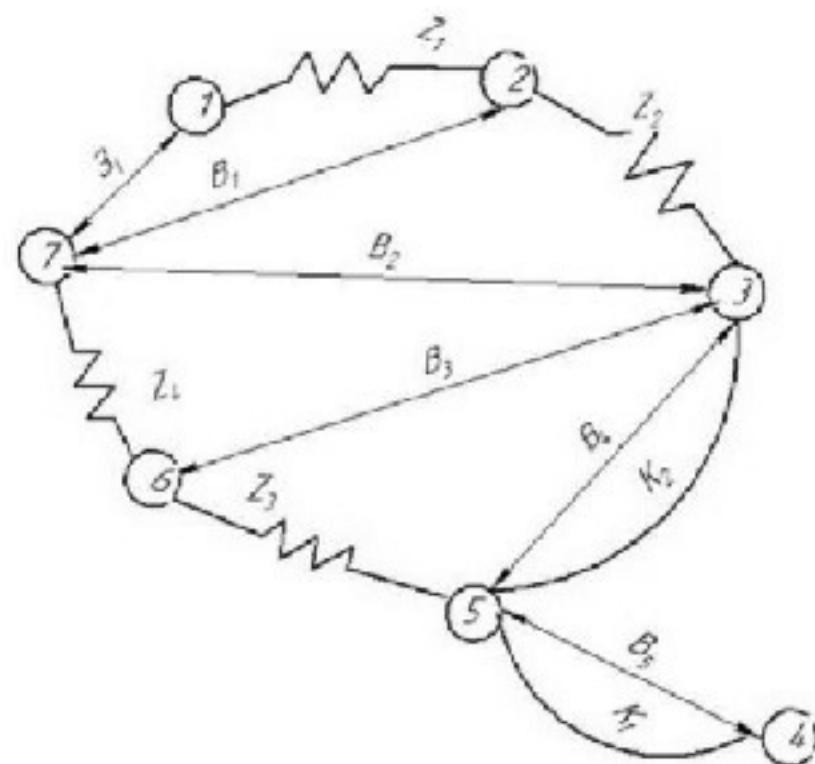
Розмірна схема технологічного процесу



Вихідний граф-дерево



Похідний граф-дерево



Суміщений граф

Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	min	max				
Z_1	34,092	34,712	0,62	34,71		34,71 _{±0,62}
B_1	32,642	32,892	0,25	32,89	32,89 _{±0,25}	
B_2	31,882	32,042	0,16	32,04	32,04 _{±0,16}	
B_3	30,6	30,662	0,062	30,662	30,662 _{±0,062}	
B_4	34,961	30	0,039	30	30 _{±0,039}	
B_5	15,82	15,18	0,36	15	15 _{±0,36}	

АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ

Проектується дільниця механічної обробки на якій планується обробляти крім заданої деталі «Корпус шестеренного насоса» 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
Робочий об'єм, см ³		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	2400	1920
	max	2400; 3600	-	-		-
<i>t</i> робочої рідини, °C	min	0	0	0	0	0
	max	+80	+80	+80	+80	+80
Кінематична в'язкість, мм ² /с	min	55; 30	55	30; 55	30; 55	30; 55
	max	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 [18-22].

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_{mp} і *втрати в місцевих опорах* h_m – коротких ділянках трубопроводів, в яких відбувається зміна швидкості за величиною або за напрямом [17-20]:

$$h_n = h_{mp} + \sum h_m \text{ [м]}. \quad (1)$$

Втрати напору по довжині (на тертя) визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

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

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині, або коефіцієнт Дарсі; ℓ – довжина трубопроводу; d – його діаметр; v – середня швидкість течії рідини.

Втрати напору у місцевих опорах визначаються за формулою Вейсбаха

$$h_m = \zeta \frac{v_2^2}{2g} \text{ [м]}, \quad (3)$$

де ζ – коефіцієнт місцевого опору; v_2 – швидкість після місцевого опору.

Сумарні втрати тиску по довжині і в місцевих опорах

$$\Delta p_{\text{сн}} = \Delta p_{mp} + \sum \Delta p_m \text{ [Па]} \quad (4)$$

або

$$\Delta p_{\text{сн}} = \rho g h_n \text{ [Па]}. \quad (5)$$

де Δp_{mp} – втрати тиску по довжині;

$\sum \Delta p_m$ – сума усіх місцевих втрат тиску.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

У відповідності з приведеним алгоритмом розроблено блок-схему проведення розрахунків (рис. 1).

Розроблено комп'ютерну програму для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі, інтерфейс якої показано на рис. 2.

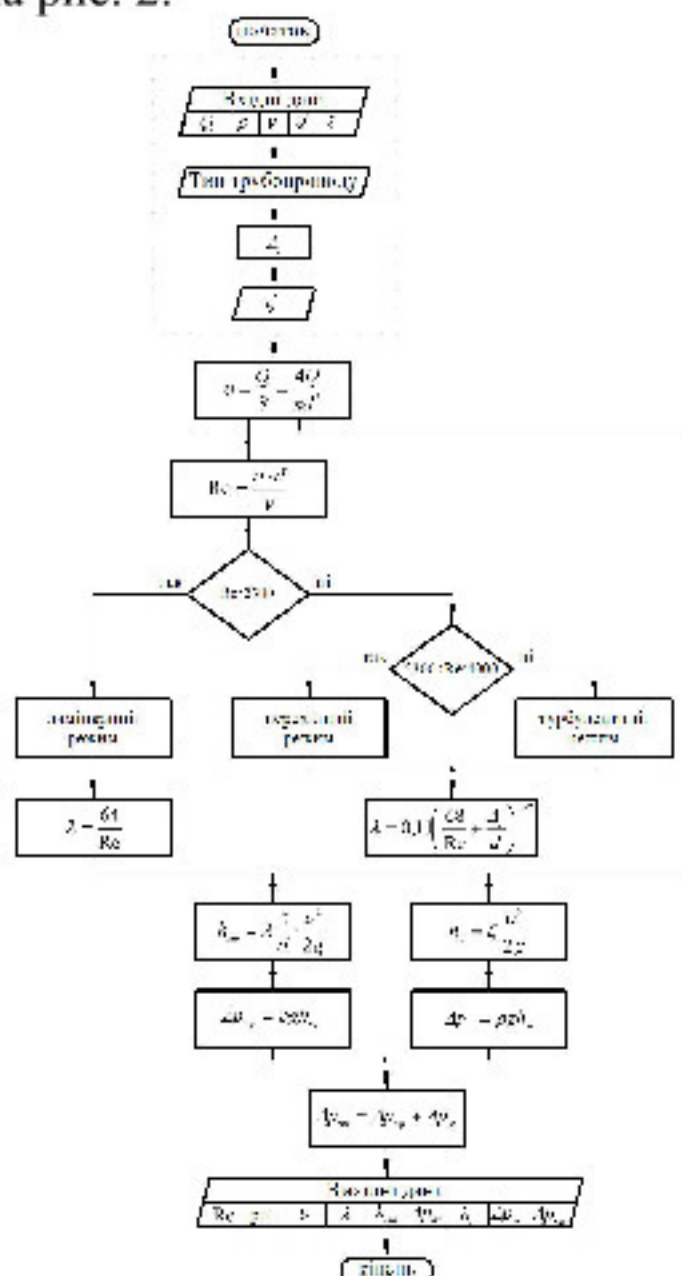


Рисунок 1 – Блок-схема гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі

Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі

Вхідні дані

Введіть витрату рідини (Q)	68.8	л/хв
Введіть густину рідини (ρ)	890	кг/м³
Введіть кінематичну в'язкість рідини (ν)	50	× 10 ⁻⁶ м²/с
Введіть діаметр трубопроводу (d)	0.032	м
Введіть довжину трубопроводу (L)	2.5	м
Еквівалентна шорсткість стінок трубопроводу (Δε)		
Виберіть тип трубопроводу	Ручави та шланговий	0.02 мм
Врахувати втрати енергій на подолання місцевих опорів	☒	
Введіть сумарний коефіцієнт місцевого гідравлічного опору (ξ _Σ)	10	
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 _{Lp})	0.568013	м
Втрати тиску по довжині (Δp _{Lp})	4964.323748	Па
Втрати напору на подолання місцевих гідравлічних опорів (h _Σ)	1.037137	м
Втрати тиску на подолання місцевих гідравлічних опорів (Δp _Σ)	9055.139605	Па
Сумарні втрати тиску в трубопроводі (Δp _{ΣT})	14019.463553	Па

Рисунок 2 – Інтерфейс комп'ютерної програми для гідравлічного розрахунку втрат тиску в трубопроводі

АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

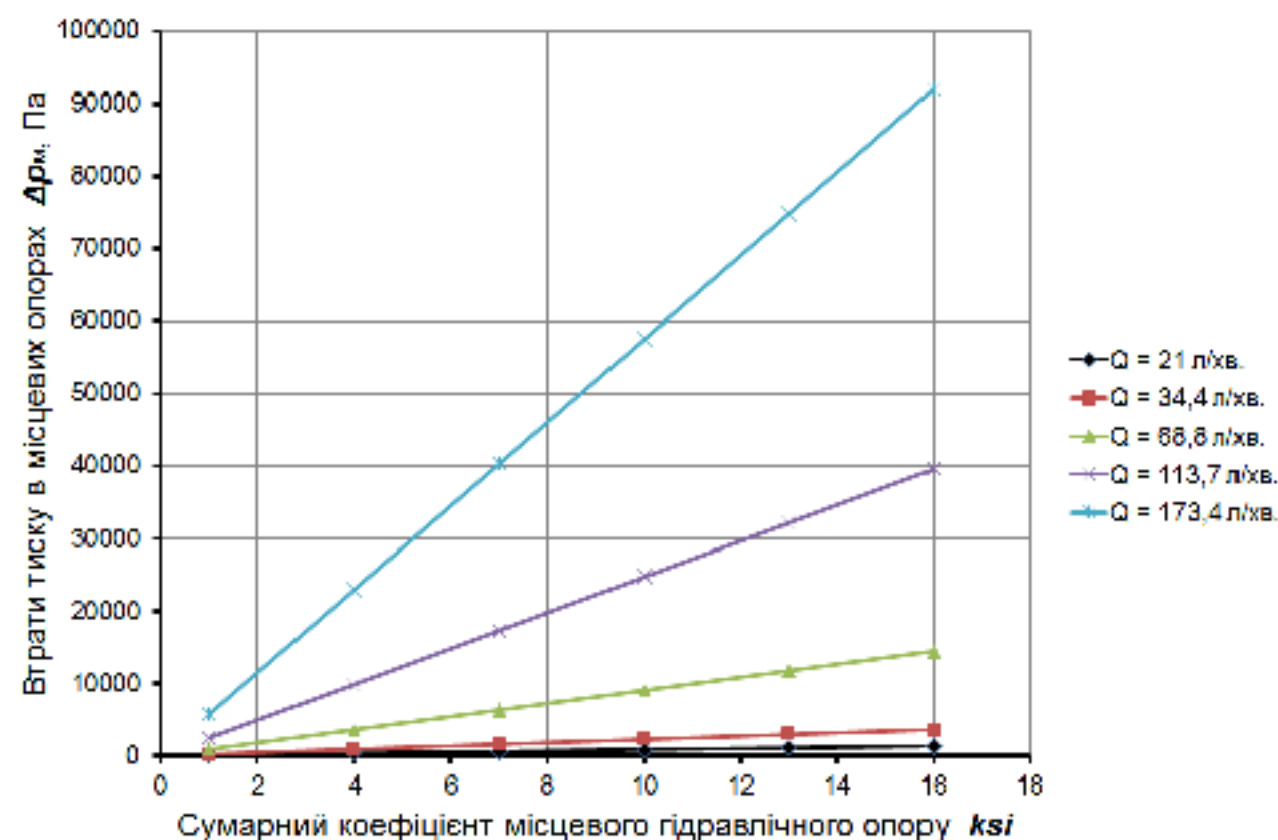


Рисунок 3 – Залежності втрат тиску в місцевих опорах Δp_m від сумарного коефіцієнту місцевого гідравлічного опору ζ для різних витрат Q в трубопроводі

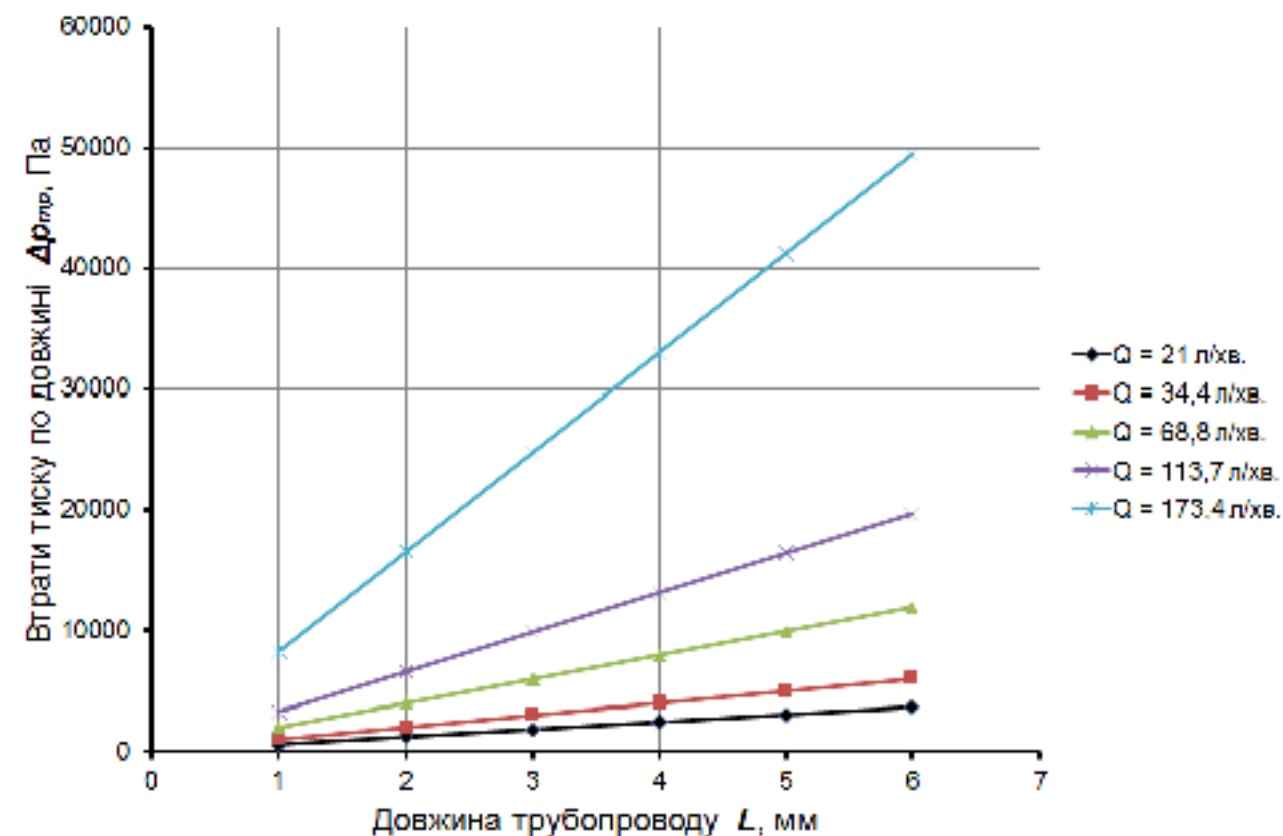


Рисунок 4 – Залежності втрат тиску по довжині Δp_{tr} від довжини ℓ трубопроводу для різних витрат Q в трубопроводі

АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СУМАРНИХ ВТРАТ ТИСКУ В ТРУБОПРОВОДІ (продовження)

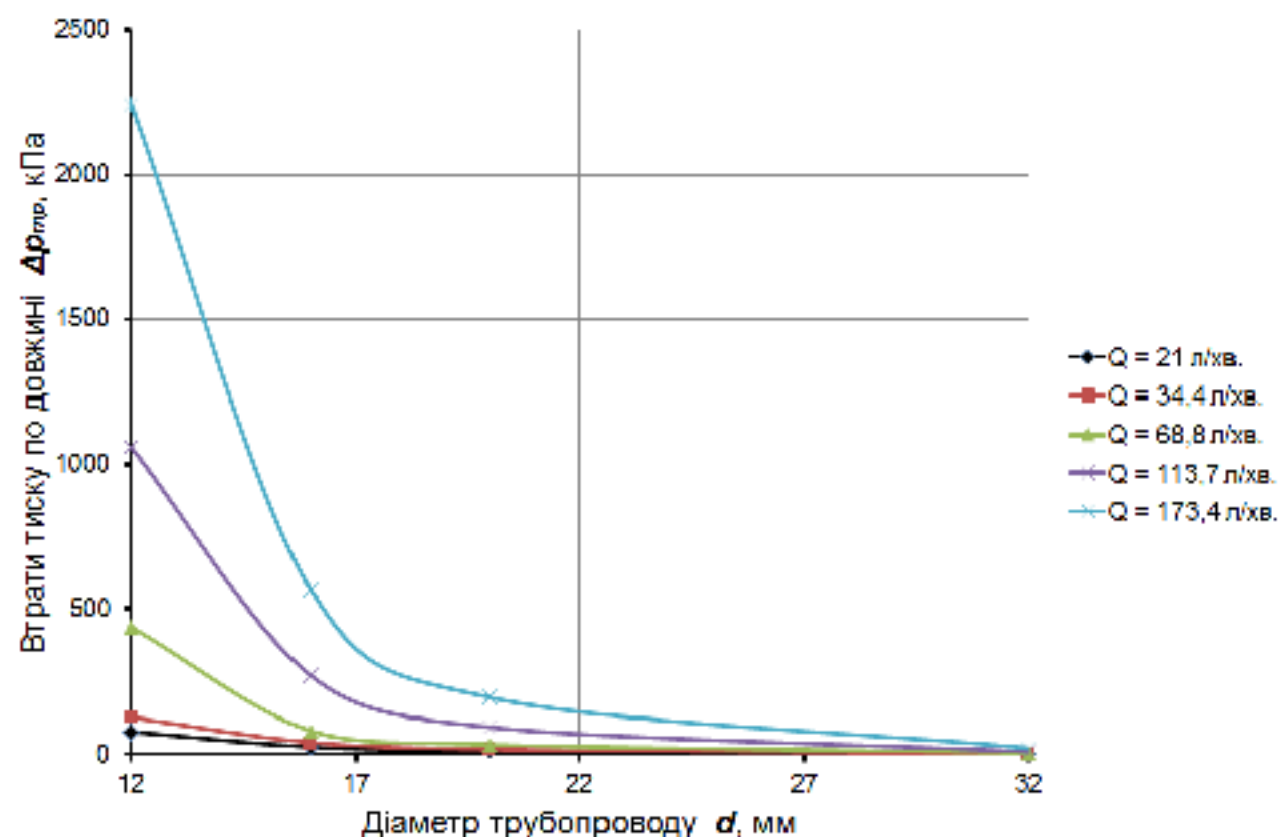


Рисунок 5 – Залежності втрат тиску по довжині Δp_{tr} від діаметра d трубопроводу для різних витрат Q в трубопроводі (при $d = 12 \dots 32$ мм)

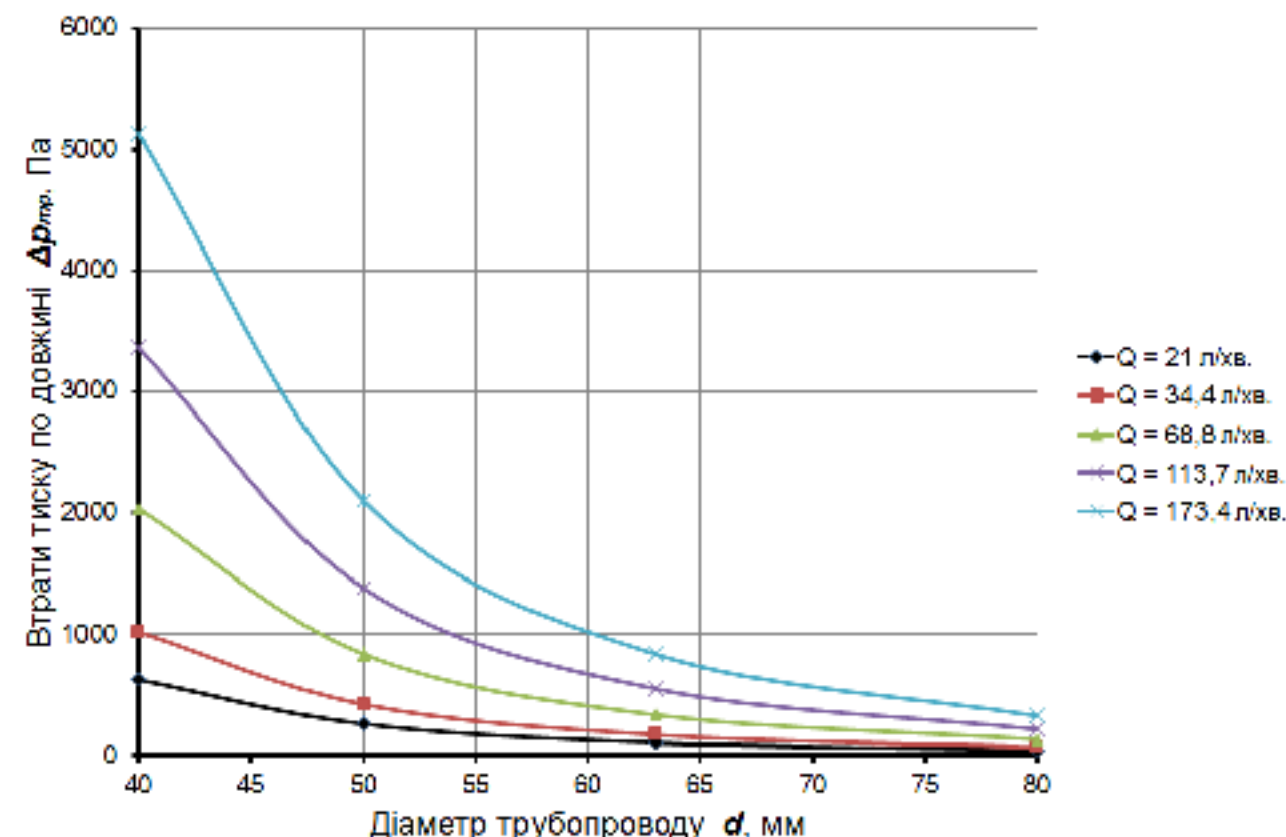
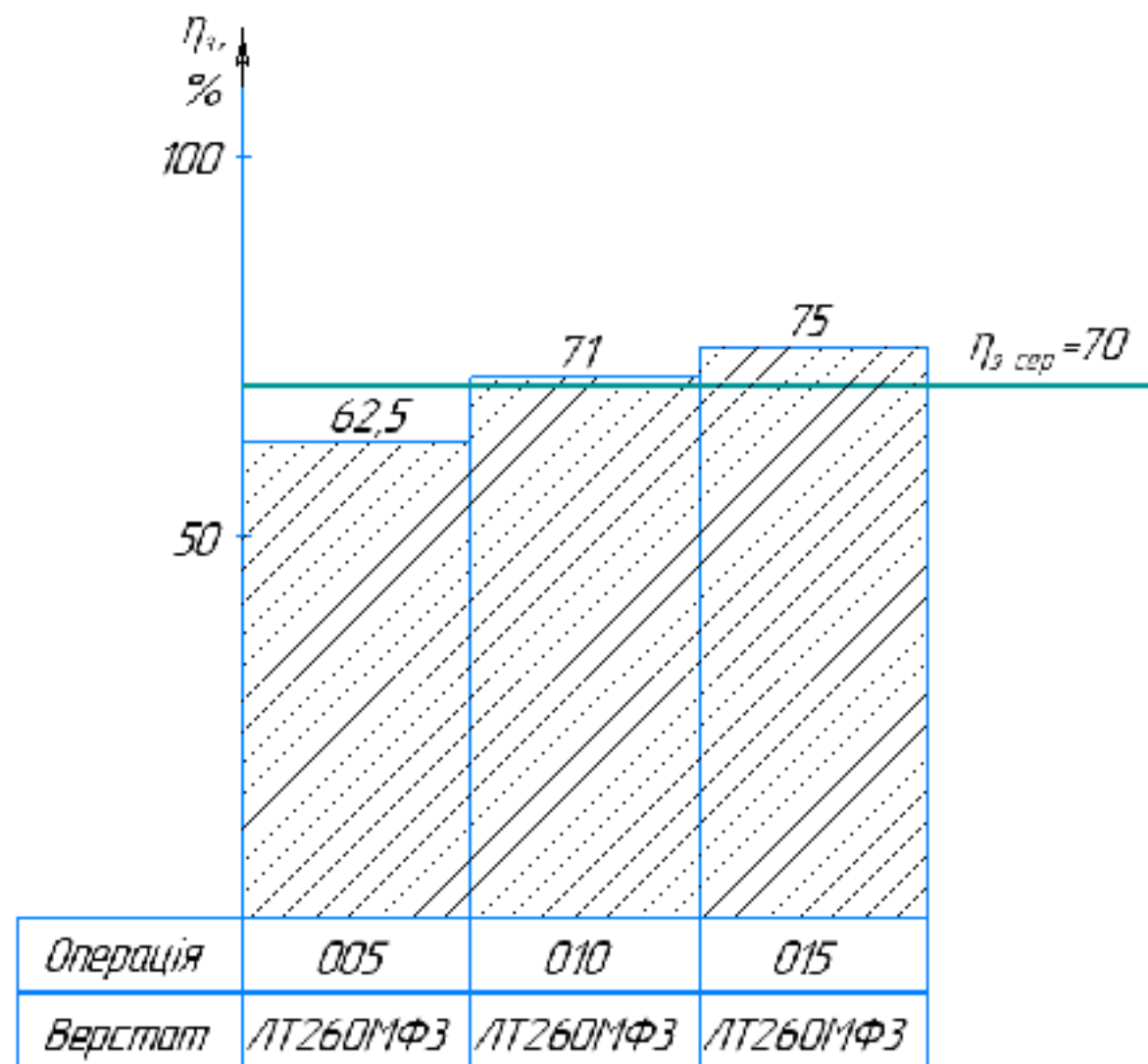


Рисунок 6 – Залежності втрат тиску по довжині Δp_{tr} від діаметра d трубопроводу для різних витрат Q в трубопроводі (при $d = 40 \dots 80$ мм)

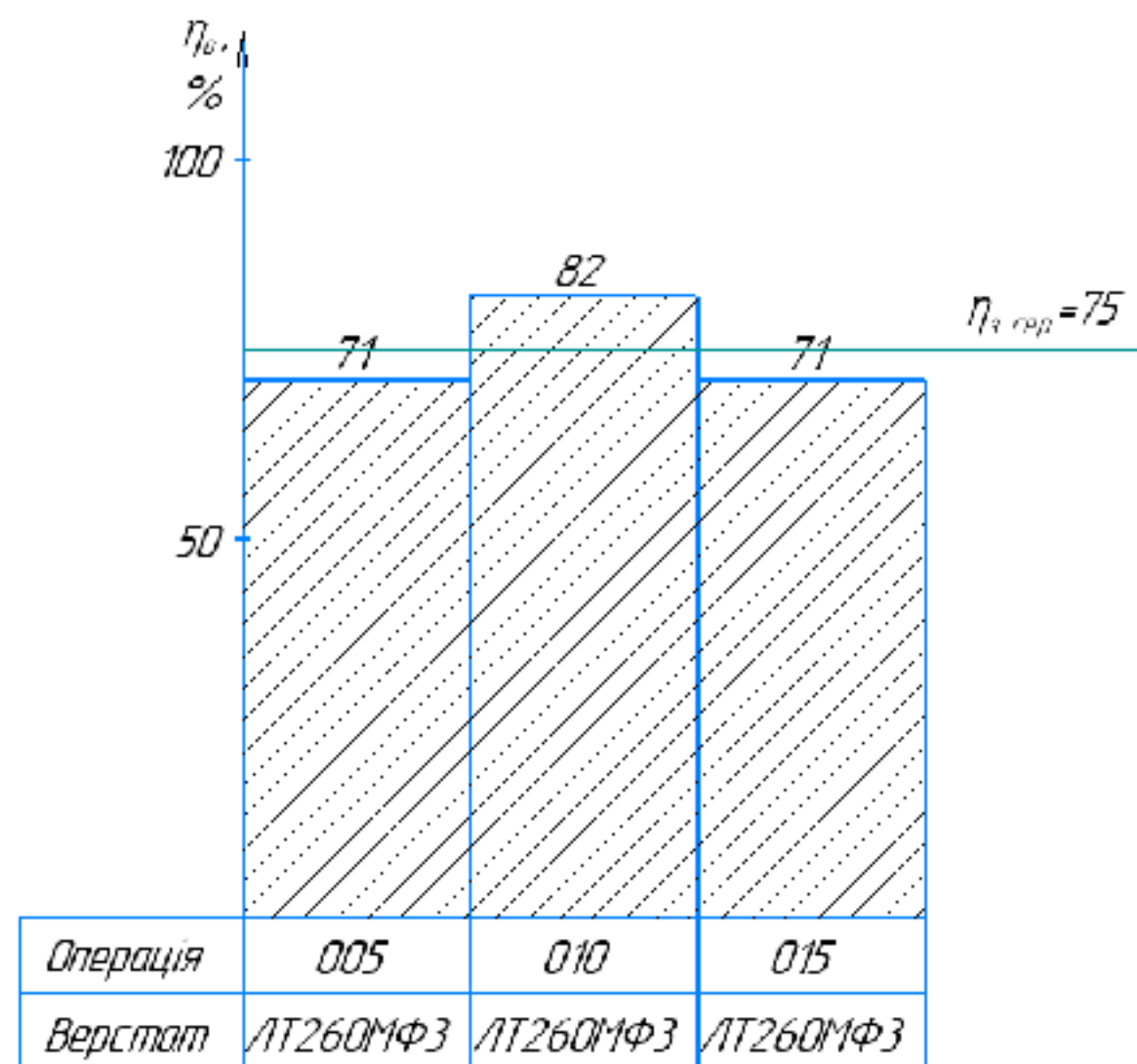
Висновки

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».

Графіки завантаження обладнання



Графік завантаження обладнання



Графік використання обладнання за основним часом