

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

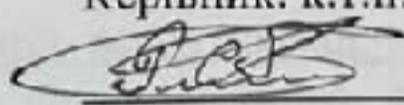
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

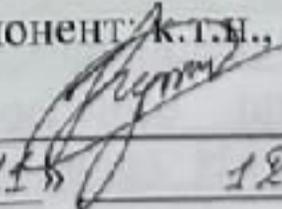
на тему:

«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки
деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»»

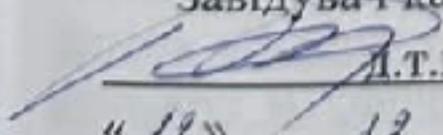
08-64.МКР.021.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, гр. 2ПМ-24м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»
 Олександр ВАСИЛЬЄВ

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТАМ
 Сергій РЕПІНСЬКИЙ
«26» 11 2025 р.

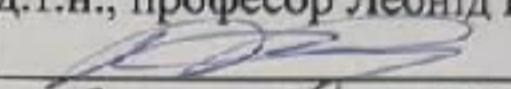
Опонент: к.т.н., доцент каф. АТМ
 Володимир КУЖЕЛЬ
«11» 12 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

 Л.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ
«12» 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ТАМ
д.т.н., професор Леонід КОЗЛОВ

« 06 » жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Васильєву Олександрові Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»

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

затверджені наказом ВНТУ від « 24 » вересня 2025 року № 313.

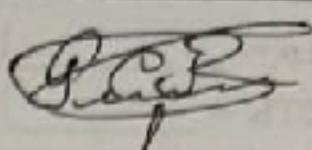
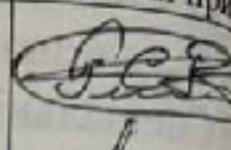
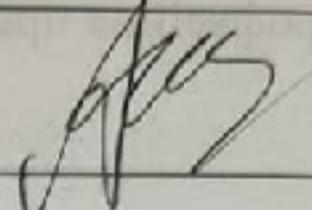
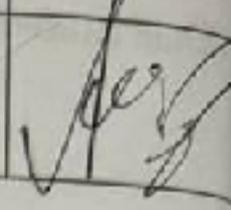
2. Строк подання студентом роботи: 17.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 12 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»; автоматизація розрахунку параметрів гідродвигуна; розрахунок елементів дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»; економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
деталь «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» (А2); корпус (поковка на ГKM) (А3); маршрут механічної обробки (А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); карта налагоджень (операція 015) (А1); автоматизація розрахунку параметрів гідродвигуна (2А1); план дільниці механічного цеху (А1); техніко-економічні показники (А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Спеціальна частина	Сергій РЕПІНСЬКИЙ, доцент кафедри ТАМ		
Економічна частина	Олександр ЛЕСЬКО, завідувач кафедри ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання « 07 » жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Приміт
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	2025.10.2025р.	Викон.
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	2025.10.2025р.	Викон.
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	2030.10.2025р.	Викон.
4	Розв'язання поставлених задач	2020.11.2025р.	Викон.
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	2022.11.2025р.	Викон.
6	Виконання розділу «Економічна частина»	2025.11.2025р.	Викон.
7	Попередній захист МКР	2022.12.2025р.	Викон.
8	Перевірка роботи на плагіат	2004.12.2025р.	Викон.
9	Нормоконтроль МКР	2013.12.2025р.	Викон.
10	Опонування МКР	2013.12.2025р.	Викон.
11	Захист МКР	2025.12.2025р.	Викон.

Студент


(підпис)

Олександр ВАСИЛЬЄВ

Керівник роботи


(підпис)

Сергій РЕПІНСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Васильєв О. В. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – Технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2025. 129 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 26 назв; рис.: 20; табл. 36.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталей типу «Корпус», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та технічні норми часу; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників для удосконаленої ділянки механічної обробки.

В науково-дослідній частині роботи виконано розробку комп'ютерної програми, яка дозволяє автоматизувати розрахунок параметрів гідравлічного двигуна за заданими вхідними даними.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект, отриманий в результаті удосконалення технологічного процесу та ділянки механічної обробки.

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, деталь, розмірно-точнісний аналіз, гідропривод, комп'ютерна програма, ділянка механічної обробки.

ABSTRACT

Vasyliiev O. V. Ye. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Hydraulic cylinder housing H.065.15.020» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2025. 129 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 26 titles; fig.: 20; tabl. 36.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of the type «Hydraulic cylinder housing H.065.15.020» was improved. In the general part of the work, a review of the technologies for manufacturing parts of the type «Housing» was conducted, the feasibility of improving the existing technological process of machining a workpiece of the type «Hydraulic cylinder housing H.065.15.020» was substantiated.

In the technological part, a variant selection and a feasibility study of the method of manufacturing the workpiece were performed; variants of the machining route for the part of the type «Hydraulic cylinder housing N.065.15.020» were developed using CNC machines and the best one was selected based on the minimum reduced costs; dimensional and precision modeling of the improved technological process of machining was performed; cutting modes and technical time standards were determined; the reduced program, the number of equipment and workers for the improved machining section were calculated.

In the scientific and research part of the work, a computer program was developed that allows for the automation of the calculation of the parameters of the hydraulic motor based on the specified input data.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece, the payback period and the economic effect obtained as a result of improving the technological process and the machining section were calculated.

Keywords: technological process, machining, workpiece, part, dimensional and precision analysis, hydraulic drive, computer program, machining area.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»	11
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення та технічних умов на виготовлення.....	11
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус гідроциліндра».....	12
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОЦИЛІНДРА Н.065.15.020»	17
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі.....	17
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт.....	22
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки.....	25
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь.....	35
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових і чорнових технологічних баз.....	37
2.6 Розробка варіантів удосконаленого маршруту механічної обробки.....	39
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат.....	44
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу.....	48
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів.....	54
2.10 Призначення режимів різання.....	58
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання.....	67
2.12 Визначення технічних норм часу.....	68

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОДВИГУНА...	70
3.1 Вступ та постановка мети роботи.....	70
3.2 Алгоритм розрахунку параметрів і вибір гідроциліндра.....	71
3.3 Алгоритм розрахунку параметрів і вибір гідромотора.....	76
3.4 Комп'ютерна програма для автоматизації розрахунку параметрів гідродвигуна.....	78
3.5 Висновки.....	81
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОЦИЛІНДРА Н.065.15.020».....	82
4.1 Розрахунок приведеної програми.....	82
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження.....	85
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання.....	88
4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці	89
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОЦИЛІНДРА Н.065.15.020».....	92
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.....	92
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020».....	99
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції.....	105
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу.....	109
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку.....	110
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення.....	111
ВИСНОВКИ.....	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	116
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи.....	119
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	120

ВСТУП

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

Побудований з використанням прогресивних підходів та рішень, технологічний процес забезпечує можливість одержання якісної продукції, високої продуктивності праці та низької собівартості виробів. Використання засобів автоматизації дозволяє полегшити працю робітників, зробити її більш ефективною.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» з урахуванням передових технологій і нових методів обробки подібних заготовок.

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

- проведення огляду технології виготовлення деталей типу «Корпус»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» на основі варіантного підходу;
- розмірно-точнісне моделювання удосконаленого ТП механічної обробки;
- визначення режимів різання та норм часу;
- розробка комп'ютерної програми, призначеної для автоматизації розрахунку параметрів гідравлічного двигуна за заданими вхідними даними;

- розрахунок кількості обладнання та працівників на дільниці механічної обробки;

- проектування дільниці механічної обробки;

- розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення корпусних деталей гідроциліндрів.

Предмет дослідження – технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точностне моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання.

Наукова новизна одержаних результатів:

- дістав подальший розвиток автоматизований алгоритм розрахунку основних параметрів гідравлічного двигуна, зокрема гідроциліндра або гідромотора, за заданими вхідними даними навантаження, робочого тиску в гідроприводі та коефіцієнтів, що враховують втрати тиску в гідросистемі та втрати на тертя в гідродвигуні.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» та дільниці для його реалізації; при цьому запропоновані такі рішення:

- для найбільш доцільних способів виготовлення заготовки – штампування на ГКМ та КГШП спроектовано заготовки та техніко-економічним порівнянням встановлено, що економічно доцільнішим варіантом є виготовлення заготовки штампуванням на ГКМ, оскільки вартість заготовки при цьому складає 46,57 грн., що менше у порівнянні з штампуванням на КГШП – 51,36 грн.;

- розроблений удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»; економічні розрахунки показали, що впровадження удосконаленого технологічного процесу є економічно доцільним;

- розроблено комп'ютерну програму «Розрахунок параметрів гідродвигуна», яка призначена для розрахунку основних параметрів гідравлічного двигуна, зокрема гідроциліндра або гідромотора, за заданими вхідними даними навантаження, робочого тиску в гідроприводі та коефіцієнтів, що враховують втрати тиску в гідросистемі та втрати на тертя в гідродвигуні. Програма має зручний інтерфейс, містить набір довідникових даних і може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків у сфері гідравліки та гідроприводу;

- для удосконаленого ТП розроблено план дільниці механічної обробки, яка по ходу технологічної обробки містить 7 верстатів, що обслуговуються 8 основними і 6 допоміжними працівниками.

Апробація результатів роботи. Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на ЛІІІ науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024). Вінниця, 20-22 березня 2024 р.

Маса корпусу гідроциліндра варіатора становить 1,31 кг, тоді як маса заготовки дорівнює 2,85 кг. Геометрія зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталі не створює суттєвих ускладнень під час їх формування. Отвори $\varnothing 14,6$ та $\varnothing 9,6$ а також канавки $\varnothing 44$, $\varnothing 46$ і $\varnothing 37$ у процесі штампування не виконуються і передбачаються з припуском.

Деталь відповідальна, оскільки від якості її механічної обробки залежить надійність роботи всього вузла. За своєю формою, конструктивними та технологічними ознаками вона належить до класу деталей типу «Циліндр» з окремими конструктивними особливостями.

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

Для розробки технологічного процесу (ТП) виконано аналітичний огляд існуючих маршрутів механічної обробки аналогічних деталей, що застосовуються в умовах серійного виробництва [1–9].

Корпуси гідроциліндрів гідросистем машин зазвичай виготовляють з внутрішнім діаметром у межах 30–280 мм при співвідношенні довжини до діаметра 4–12. Як заготовки для таких деталей використовують гарячекатані сталеві труби.

Труби розрізають на заготовки необхідної довжини на фрезерно-відрізних верстатах, після чого виконують обточування на багаторізцевих токарних напівавтоматах. Обробка отворів здійснюється у три етапи: чорнове розточування, чистове розточування та розкатування. Розточування виконують на спеціалізованих розточувальних верстатах дворізцевими пластинами з твердосплавною ріжучою частиною марки T15K6, а розкатування – багатороликовими інструментами. При цьому припуск під чистове розточування становить 0,5–0,8 мм, а під розкатування – 0,02–0,04 мм [1].

Основними операціями при обробці зовнішніх поверхонь є токарні та шліфувальні, тоді як для отворів – свердлильні, розточувальні та шліфувальні; у

деяких випадках застосовують протяжні та прошивочні операції. До допоміжних операцій належать свердління дрібних змащувальних отворів, зняття фасок, зенкування, фрезерування лисок, пазів і уступів [1–9].

Деталі, отримані литтям, обробляють на універсальних верстатах із закріпленням у патронах або центрах.

Маршрут механічної обробки, що використовується на базовому підприємстві, наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Маршрут обробки деталі «Корпус гідроциліндра»

№	Зміст переходів та найменування операцій	Обладнання
1	2	3
005	Фрезерно-центрувальна Фрезерувати торці, центрувати отвори	Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-76М
010	Токарна Центрувати торець, свердлити отвір, підрізати торець, зенкувати отвір, точити поверхню, точити фаску, зенкувати отвір, точити фаску, розточити отвір	Токарний багатошпиндельний горизонтальний патронний напівавтомат 1Б265П-8К
015	Токарна з ЧПК Розточити отвір з послідовним розточуванням виточки	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
020	Токарно-револьверна Розточити отвір, точити фаску, точити канавку та фаски, точити виточку	Токарно-револьверний 1Г340П
025	Токарна Центрувати торець, підрізати торець, свердлити отвір, точити фаску, свердлити отвір, підрізати торець, точити фаску, зенкувати отвір, точити канавку, нарізати різьбу, підрізати торець	Токарний багатошпиндельний горизонтальний патронний напівавтомат 1Б265П-6К
030	Токарна з ЧПК Точити поверхню	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
035	Свердлильна з ЧПК Свердлити отвір, зенкерувати отвір, нарізати різь, зенкерувати отвір, зенкувати фаску, зенкувати фаску	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф3

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
040	Вертикально-свердлильна Свердлити отвір	Вертикально-свердлильний 2Н118
045	Термічна	
050	Круглошліфувальна Шліфувати поверхню	Круглошліфувальний 3М151
055	Внутрішньо-шліфувальна Шліфувати поверхню	Внутрішньо-шліфувальний 3К227В

Базовий технологічний процес має низку суттєвих недоліків і не може вважатися раціональним. Для серійного виробництва економічно доцільним є застосування багатошпиндельних напівавтоматів, оскільки вони забезпечують роботу в напівавтоматичному режимі та дозволяють одночасно обробляти кілька поверхонь, що істотно підвищує продуктивність. Водночас широке використання універсальних верстатів у більшості операцій є малоефективним, адже вони потребують значної частки ручних робіт, що призводить до зростання трудомісткості та витрат часу на виконання операцій.

Зменшення виробничої програми вимагає більш зваженого підходу до забезпечення точності обробки та підвищення продуктивності праці. Досягти цього можливо шляхом впровадження обладнання, яке працює в напівавтоматичному режимі, має універсальне призначення та забезпечує стабільно високу якість обробки. Найбільш повно цим вимогам відповідають верстати з ЧПК, які адаптовані до сучасних умов серійного виробництва та дають змогу ефективно обробляти різні найменування деталей.

Наявна виробнича дільниця оснащена 10 верстатами, обслуговування яких здійснюють 20 робітників при двозмінному режимі роботи. За умови недостатнього обсягу випуску частина обладнання та персоналу фактично не задіяні у дві зміни. При цьому виробнича площа близько 250 м² використовується нераціонально.

Аналіз типових ТП механічної обробки деталей типу «Корпус гідроциліндра» свідчить, що існуючу схему обробки можна прийняти як базову. Однак з урахуванням характеру серійного виробництва доцільно замінити

частину обладнання на верстати з ЧПК. Оскільки обробка здійснюється партіями і передбачає часту зміну номенклатури деталей, виникає потреба в оперативній та простій переналадці верстатів.

З урахуванням виявлених недоліків базового технологічного процесу та на основі аналізу типових рішень розробляються варіанти вдосконаленого ТП механічної обробки деталі, які наведені в табл. 1.2-1.3.

Таблиця 1.2 – Маршрут механічної обробки деталі (1 варіант)

№ оп.	Зміст переходів та найменування операцій	Обладнання
005	Фрезерно-центрувальна Фрезерувати торці, центрувати отвори	Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-76М
010	Токарна з ЧПК Точити попередньо поверхні, остаточно фаски, точити остаточно поверхні, точити канавку	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
015	Токарно-револьверна з ЧПК Свердлити отвір, точити торець і фаску, розточити отвір однократно, точити фаску, розточити отвір попередньо, розточити канавку, розточити канавку, розточити отвір остаточно	Токарно-револьверний з ЧПК 1В320Ф30
020	Свердлильна з ЧПК Свердлити отвір, зенкерувати отвір, нарізати різь, зенкерувати отвір, зенкувати фаску, зенкувати фаску	Вертикально- свердлильний з ЧПК 2Р135Ф3
025	Свердлильна з ЧПК Свердлити отвір	Вертикально- свердлильний 2Н118
030	Термічна	
035	Токарна з ЧПК Точити поверхню	Токарний з ЧПК МК6801Ф3
040	Токарна з ЧПК Точити поверхню	Токарний з ЧПК МК6801Ф3

Таблиця 1.3 – Маршрут механічної обробки деталі (2 варіант)

№ оп.	Зміст переходів та найменування операцій	Обладнання
005	Фрезерно-центрувальна Фрезерувати торці, центрувати отвори	Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-76М
010	Токарна Точити циліндричні поверхні попередньо, точити фаски	Токарно-копіювальний напівавтомат 1Н713
015	Токарна з ЧПК Точити циліндричні поверхні остаточно, точити канавки	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
020	Токарно-револьверна з ЧПК Свердлити отвори, розточити отвори попередньо, розточити отвори остаточно, точити торці, розточити канавки	Токарно-револьверний з ЧПК 1В320Ф30
025	Токарно-револьверна з ЧПК Свердлити отвори, розточити отвори остаточно, точити фаски, нарізати різь	Токарно-револьверний з ЧПК 1В320Ф30
030	Свердлильна з ЧПК Свердлити отвори	Вертикально-свердлильний 2Н118
035	Термічна	
040	Круглошліфувальна Шліфувати поверхні	Круглошліфувальний 3М150
045	Внутрішньошліфувальна Шліфувати поверхні	Внутрішньошліфувальний 3К227В

З огляду на середньосерійний характер виробництва раціонально застосовувати верстати з числовим програмним керуванням та переналагоджуване оснащення, що забезпечує можливість обробки деталей різних типорозмірів і дозволяє повністю завантажити наявне обладнання. Верстати з ЧПК відзначаються простотою та швидкістю переналагодження, забезпечують високу точність і продуктивність обробки. Крім того, використання багаторізцевих супортів дає змогу скоротити кількість необхідного обладнання та ріжучого інструменту, підвищити якість виготовлення виробів і зменшити їх собівартість, що в цілому сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції підприємства.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОЦИЛІНДРА Н.065.15.020»

2.1 Аналіз конструкції і технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз технологічності деталі

Деталь «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» є складовою гідроциліндра, що застосовується у складі гідроприводів різних видів робочого обладнання. Зокрема, такі гідроциліндри використовуються у клинопасових варіаторах зернозбиральних комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки. Регулювання тиску робочої рідини, яка діє на шток, змінюється залежно від навантаження, що визначається обсягом зернової маси, яка підлягає обробці.

Переміщення штока гідроциліндра призводить до зміни взаємного положення елементів шківів варіатора. У результаті цього відбувається зміна ефективної довжини клинового паса, що, у свою чергу, забезпечує зміну передаточного числа між ведучим і веденим валами. Вказані процеси безпосередньо впливають на частоту обертання виконавчого механізму.

Розглянутий гідроциліндр належить до гідроциліндрів односторонньої дії та оснащений штоком, переміщення якого в робочому напрямку здійснюється під дією тиску робочої рідини. Зворотний рух штока забезпечується дією зовнішнього зусилля – пружини. Ущільнення штока з боку зовнішнього середовища виконане у вигляді комбінованої системи, що включає робочий ущільнюючий елемент та брудозахисне кільце. Надійність функціонування гідроциліндра та рівень його коефіцієнта корисної дії значною мірою визначаються якістю роботи ущільнювальних елементів плунжера.

У складі вузла деталь установлюється з базуванням по торцевій поверхні та циліндричній поверхні діаметром $\varnothing 45$. Спряження з суміжними елементами конструкції здійснюється за допомогою отворів $\varnothing 36^{+0.062}$ і $\varnothing 14,6$. Отвір діаметром $\varnothing 9,5$ не належить до технологічних і не формується в процесі

штампування. Його отримують шляхом свердління на вертикально-свердильному верстаті типу 2Н118 із використанням спеціального кондукторного оснащення.

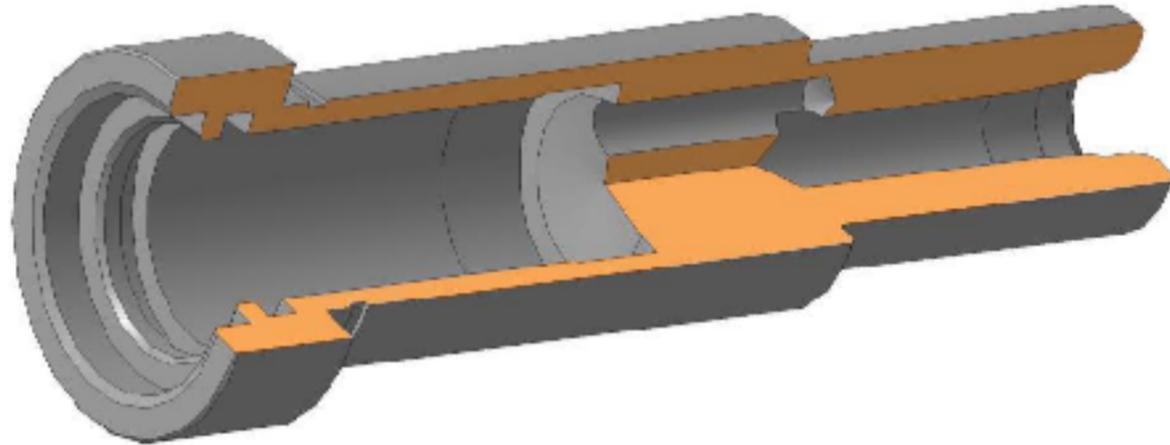


Рисунок 2.1 – 3D-модель деталі «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»

В умовах експлуатації деталь зазнає помірних статичних та змінних навантажень. З урахуванням цього для її виготовлення обрана сталь 35 за ГОСТ 1050-88, яка добре піддається пластичному деформуванню та дозволяє отримати заготовку методом об'ємного штампування, зокрема на горизонтально-ковальських машинах (ГКМ).

Геометрія зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталі є технологічно доцільною та не створює ускладнень під час формування заготовки. Разом із тим отвори $\varnothing 14,6$, $\varnothing 9,5$, $\varnothing 35$, а також кільцеві канавки $\varnothing 44$, $\varnothing 46$ і $\varnothing 37$ у процесі штампування не формуються, а йдуть у напуск і отримуються при подальшій механічній обробці.

Деталь належить до відповідальних елементів вузла, і стабільність роботи механізму в цілому значною мірою визначається якістю її обробки. За конструктивними, формоутворюючими та технологічними ознаками вона відноситься до групи деталей типу «циліндр», хоча й має окремі конструктивні особливості.

До більшості поверхонь висуваються підвищені вимоги щодо точності та шорсткості, що зумовлює необхідність виконання кількох переходів механічної обробки. Особливо жорсткі допуски та високий рівень точності встановлені для

поверхні $\varnothing 36^{+0,062}$, що обумовлено її функціональним призначенням. Робоче креслення містить повний комплекс необхідної інформації: усі проекції, розрізи та перерізи, що однозначно визначають форму деталі, а також розміри з відповідними відхиленнями і вимоги до шорсткості поверхонь.

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності деталі

Коефіцієнт уніфікації [1, 2]:

$$K_y = \frac{Q_x}{Q_c}, \quad (2.1)$$

де Q_c , Q_x – загальна кількість і кількість уніфікованих елементів відповідно.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт уніфікації

Лінійні елементи	1	10±0,29	1,6	64±1,5	40	87	4	7,5	5,2 ^{+0,18}	0,5	22±0,26	122±0,5	186±0,5
Уніфіковані елементи	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-
Кількість лінійних елементів	40					Кількість уніфікованих елементів							29

Продовження таблиці 2.1

Лінійні елементи	15	9	3,2	0,5	1	0,5	1	0,1	0,1	0,5	0,5	1	1	1
Уніфіковані елементи	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Продовження таблиці 2.1

Діаметральні елементи	∅60	∅46 ^{+0,1}	∅44±0,125	∅36 ^{+0,062}	∅9,5 ^{+0,9}	∅37	∅35 ^{-0,16}	∅45±0,01	∅28	∅14,6 ^{+0,27}	∅18 ^{+0,43}	∅20,5	∅24
Уніфіко-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+

вані елементи													
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 2.1

Кутові елементи	45°	45°	45°	60°	60°	120°	120°
Уніфіковані елементи	+	+	+	+	+	+	+
Кількість кутових елементів	7			Кількість уніфікованих елементів			7

Продовження таблиці 2.1

Шорсткість	1,25	1,25	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Уніфіковані шорсткості	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Кількість шорсткостей	11				Кількість уніфікованих елементів				11		

Продовження таблиці 2.1

$K_{\text{лін.ел}}$	$K_{\text{уніф.лін.ел}}$	$K_{\text{кут.ел}}$	$K_{\text{уніф.кут.ел}}$	$K_{\text{шор}}$	$K_{\text{уніф.шор}}$
40	29	7	7	11	11
Кількість елементів		58	Кількість уніфікованих елементів		47

$$K_y = \frac{47}{58} = 0,81 > 0,6 \text{ – умова виконується.}$$

За коефіцієнтом уніфікації деталь технологічна.

Коефіцієнт точності [1, 2]:

$$K_m = 1 - \frac{1}{T_\varphi}; \quad (2.2)$$

де

$$T_\varphi = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{n_i}$$

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт точності

Квалітет	Кількість поверхонь, шт.	Розрахунок
9	3	9·3=27
10	1	10·1=10
11	2	11·2=22
12	1	12·1=12
13	2	13·2=36
14	32	14·32=448
15	1	15·1=15
16	3	16·3=48
17	2	17·2=34
Всього	47	642

$$T_{cp} = \frac{642}{47} = 13,66 ;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{13,66} = 0,93 > 0,8 \text{ – умова виконується.}$$

За коефіцієнтом точності деталь технологічна.

Коефіцієнт шорсткості [1, 2]:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{\varphi}}, \quad (2.3)$$

де

$$Ш_{\varphi} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{n_i}$$

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт шорсткості

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,25	2	1,25·2=2,5
1,6	2	1,6·2=3,2
3,2	2	3,2·2=6,4
6,3	5	6,3·5=31,5
12,5	36	12,5·36=450
Всього	47	493,6

$$Ш_{cp} = \frac{493,6}{47} = 10,5 ;$$

$$K_{ш} = \frac{1}{10,5} = 0,095 < 0,32 \text{ – умова виконується.}$$

За коефіцієнтом шорсткості деталь технологічна.

Висновок. За якісними та кількісними показниками деталь «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» можна вважати технологічною.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

2.2.1 Визначення типу виробництва

Коефіцієнт закріплення операцій [1, 2]:

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

де $\sum O_i$, $\sum P_i$ – кількість операцій та робочих місць відповідно, що виконуються на дільниці.

З метою подальшого аналізу технологічного процесу виділимо п'ять основних операцій механічної обробки деталі «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020», які є найбільш показовими з точки зору її виготовлення.

Узагальнені відомості щодо цих операцій буде систематизовано та подано у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о.}$

Перехід механічної обробки	$T_{осн}, 10^{-3} \text{ хв.}$	φ_k	$T_{шт-к}, \text{ хв.}$	C_p	$C_{пр}$	$\eta_{зр}$	$\eta_{зн}$	O	$K_{з.о.}$
1. Підрізання торця	0,21	2,14	0,45	0,154	1	0,154	0,85	22,6	17,81
2. Точіння поверхні	0,45	2,14	0,963	0,32	1	0,32	0,85	10,6	
3. Точіння поверхні	0,224	2,14	0,479	0,164	1	0,164	0,85	20,8	
4. Розточування отвору	0,5184	1,98	1,026	0,35	1	0,35	0,85	5,72	
5. Свердління отвору	0,1976	1,72	0,34	0,116	1	0,116	0,85	29,32	

Штучно-калькуляційний час обробки [1, 2]:

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

де T_o – основний час обробки;

φ_k – коефіцієнт [1, 2].

Основний час обробки T_o визначався за формулами загального наближення [1, 2].

Кількість верстатів для переходів обробки

$$C_{рi} = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 F_o \cdot \eta_{з.н.}} \text{ [шт.]}, \quad (2.6)$$

де $N = 12000$ шт. – програма випуску деталі «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» на рік;

$F_o = 3490$ год. – дійсний фонд роботи обладнання;

$\eta_{з.н.} = 0,85$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Розрахункове значення кількості верстатів C_{pi} було приведено до цілого числа шляхом округлення у бік збільшення, у результаті чого визначено прийняту кількість обладнання $C_{при}$.

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{зр} = \frac{C_{pi}}{C_{при}}. \quad (2.7)$$

Кількість операцій, які виконуються на i -му робочому місці:

$$O_i = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}}. \quad (2.8)$$

де $\eta_{зн}$, $\eta_{зф}$ – нормативний та фактичний відповідно коефіцієнти завантаження обладнання.

Таким чином, коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{30} = \frac{46,52}{4} \approx 11,63.$$

Оскільки $10 < K_{30} < 20$, виробництво відноситься до середньосерійного.

2.2.2 Визначення форми організації роботи

Потрібний добовий випуск виробів [1, 2]:

$$N_{д} = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.9)$$

$$N_{д} = \frac{12000}{254} = 47,2 \approx 48 \text{ (шт.)}$$

Добова продуктивність лінії [1, 2]:

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{\text{шт.-с.оп}} \cdot \eta_s} \text{ [шт.]}, \quad (2.10)$$

$$Q_d = \frac{\Phi_d}{T_{\text{шт.-с.оп}} \cdot \eta_{\text{з.п.}}} = \frac{3890}{0,53 \cdot 0,85} = 8634,85 \approx 8635 \text{ (шт.)}$$

Так як $N_d = 48 \text{ шт.} < Q_d = 8635 \text{ шт.}$, доцільно застосувати групову організацію виробничого процесу.

Розмір партії деталей, що обробляються одночасно, становить:

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

$$n = \frac{12000 \cdot 2}{254} = 94,48 \text{ (шт.)}, \text{ прийнято } n = 95 \text{ шт.}$$

Таким чином, виробництво відноситься до середньосерійного, організація робіт передбачає групову форму, а розмір партії для одночасного запуску становить $n = 95 \text{ шт.}$

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Виходячи з даних робочого креслення, маси деталі та серійності виробництва, для виготовлення заготовки обираємо метод пластичної деформації, оскільки матеріалом деталі є сталь 35. Альтернативним способом отримання заготовки може бути прокат.

Серед можливих методів виготовлення заготовки [10–12] також можна відмітити:

- ковку;
- штампування на молотах;
- штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП);
- штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ).

Провівши аналіз цих технологій і врахувавши серійність виробництва, для даної деталі доцільно застосовувати штампування на ГКМ та на КГШП. Ці способи відзначаються високою продуктивністю, забезпечують необхідну точність та шорсткість поверхонь, мінімальні припуски і дозволяють отримувати поковки циліндричної та видовженої форми. Крім того, застосування цих методів дає можливість автоматизувати технологічний процес.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення

Призначення припусків здійснюється відповідно до [11].

Клас точності вибирають залежно від типу обладнання та виробництва: для горизонтально-кувальних машин (ГКМ) можливий діапазон $T4 - T5$, приймаємо $T4$; для кривошипних гарячештампувальних пресів (КГШП) також $T4 - T5$, приймаємо $T5$.

Група сталі визначається на основі матеріалу деталі та присутніх легуючих елементів: для обох методів – ГКМ та КГШП – група М1.

Ступінь технологічної складності встановлюють, враховуючи співвідношення маси заготовки, обчисленої орієнтовно, та маси простої геометричної фігури, яка апроксимує форму деталі. У даному випадку такою фігурою є циліндр, розміри якого відповідають габаритним розмірам деталі, збільшеним на 5 %.

$$G_{\phi} = 4,1 \text{ кг};$$

$$G_n = G_{\phi} \cdot K_p = 1,31 \cdot 1,5 = 2,1 \text{ (кг)},$$

де $K_p = 1,3 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що залежить від форми деталі [11].

Тоді

$$C = \frac{G_n}{G_\phi} = \frac{2,1}{4,1} = 0,51 .$$

Згідно [11] встановлено ступінь технологічної складності: для ГKM – C 2 , для КГШП – C 2 .

Так як деталь має просту конфігурацію без вигинів, роз'ємна поверхня приймається плоскою (II).

Вихідний індекс розраховується з урахуванням маси деталі, марки сталі, ступеня складності та класу точності поковки, і використовується для подальшого визначення основних припусків, допусків і допустимих відхилень. Значення індексу: для ГKM – 11 , для КГШП – 14 .

Призначення припусків

Основні припуски встановлюються залежно від розміру поверхні, необхідної шорсткості та вихідного індексу. Якщо одна деталь поєднує поверхні з різними шорсткостями, для кожної з них визначаються окремі припуски.

Додаткові припуски враховують знімання металу по площині роз'єму штампа та можливі відхилення від площинності й прямолінійності.

Вибір допусків

Допуски на розміри деталі визначаються на основі розміру і вихідного індексу. Для конструювання штампа та визначення допустимого зносу враховуються допуски на зміщення, залишковий облой, заусенці, відхилення від концентричності отворів, вигнутість, міжосьову відстань, кутові елементи та радіуси закруглень. Вибір цих допусків здійснюється з урахуванням класу точності та маси поковки.

Таблиця 2.5 – Розрахунок розмірів штампованої заготовки

Вхідні дані	ГКМ			КГШП		
Клас точності	Т4			Т5		
Марка матеріалу	М1			М1		
Ступінь складності	С2			С2		
Індекс	11			14		
Конфігурація поверхні роз'єму штампа	П			П		
	Розрахункові розміри, мм					
Припуски:	Ø60	186 ±0,5	122±0,5	Ø60	186 ±0,5	122±0,5
Основні	1,3	1,5	6,3-1,7 12,5-1,4	1,7	2,0	6,3-2,3 12,5-1,5
Додаткові: на зміщення по поверхні роз'єму штампа	-	-	-	0,4	0,4	0,4
для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
	Розміри заготовок, мм					
	63,6	190	126,1	65,4	192	127,8
Допуски: розмірів	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,5 ^{+1,6} _{-0,9}	2,5 ^{+1,6} _{-0,9}	2,8 ^{+1,8} _{-1,0}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}
зміщення по поверхні роз'єму штампа	0,6			0,7		
по вигнутості від площинності і прямолінійності радіусів заокруглень	1,0			1,2		
величина замкнутого облою	0,8			0,9		
висоти заусенцю	3,0			3,0		
від концентричності отворів	1,5			2,0		

Продовження таблиці 2.5

Вхідні дані	ГКМ			КГШП		
Клас точності	Т4			Т5		
Марка матеріалу	М1			М1		
Ступінь складності	С2			С2		
Індекс	11			14		
Конфігурація поверхні роз'єму штамп	П			П		
	Розрахункові розміри, мм					
Припуски:	$\varnothing 45_{-0,08}^{-0,24}$	22±0,26	$\varnothing 35_{-0,16}$	$\varnothing 45_{-0,08}^{-0,24}$	22±0,26	$\varnothing 35_{-0,16}$
	1,8	6,3-1,5 12,5-1,2	1,5	2,2	6,3-1,8 12,5-1,5	2,2
Додаткові: на зміщення по поверхні роз'єму штамп	-	-	-	0,4	0,4	0,4
для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
	Розміри заготовок, мм					
	49,6	25,7	39	51,4	27,3	41,4
Допуски: розмірів	$2,0_{-0,7}^{+1,3}$	$1,6_{-0,5}^{+1,1}$	$1,6_{-0,5}^{+1,1}$	$2,8_{-1,0}^{+1,8}$	$2,5_{-0,9}^{+1,6}$	$2,8_{-1,0}^{+1,8}$
зміщення по поверхні роз'єму штамп	0,6			0,7		
по вигнутості від площинності і прямолінійності радіусів заокруглень	1,0			1,2		
величина замкнутого облою	0,8			0,9		
висоти заусенцю	3,0			3,0		
від концентричності отворів	1,5			2,0		

Розрахунок розмірів штампованої заготовки

Поковка на ГКМ:

$$\varnothing 60 + (1,7 + 0,4 + 0,6) \cdot 2 = 63,6 \text{ (мм)};$$

$$186 + (1,5 + 0,5) \cdot 2 = 190 \text{ (мм)};$$

$$122 + 1,7 + 1,4 + 0,5 \cdot 2 = 126,1 \text{ (мм)};$$

$$\varnothing 45 + (1,8 + 0,5) \cdot 2 = 49,6 \text{ (мм)};$$

$$22 + 1,5 + 1,2 + 2 \cdot 0,5 = 25,7 \text{ (мм)};$$

$$\varnothing 35 + (1,5 + 0,5) \cdot 2 = 39 \text{ (мм)}.$$

Поковка на КГШП:

$$\varnothing 60 + (3,5 + 0,4 + 0,6) \cdot 2 = 65,4 \text{ (мм)};$$

$$186 + (2,0 + 0,4 + 0,6) \cdot 2 = 192 \text{ (мм)};$$

$$122 + 2,3 + 1,5 + 0,4 + 0,6 = 127,8 \text{ (мм)};$$

$$\varnothing 45 + (2,2 + 0,4 + 0,6) \cdot 2 = 51,4 \text{ (мм)};$$

$$22 + 1,8 + 1,5 + 2 \cdot (0,4 + 0,6) = 27,3 \text{ (мм)};$$

$$\varnothing 35 + (2,2 + 0,4 + 0,6) \cdot 2 = 41,4 \text{ (мм)}.$$

Вибір конструктивних елементів

Радіуси закруглень встановлюються з метою зниження ймовірності появи тріщин та зменшення залишкових напружень у поковці: для діаметра $\varnothing 60$ – $r = 2,0$ мм; для $\varnothing 45$ – $r = 3,5$ мм; для $\varnothing 35$ – $r = 3,5$ мм.

Внутрішні радіуси заокруглень приймаються на 0,5–1,0 мм більшими за припуски на механічну обробку, тобто $r_{\text{м}} = 3,0$ мм.

Нахили (уклони) [11]:

- для ГКМ: нахил матриці – 3° , нахил пуансона – 1° ;

- для КГШП: нахил – 4° .

Мінімальний діаметр отворів, що формуються при штампуванні, дорівнює $d_0 = 30$ мм. У деталі наявні отвори $\varnothing 14,6$ мм, $\varnothing 9,5$ мм та $\varnothing 36^{+0,062}$ мм, які формуються з напуском і не штамнуються безпосередньо.

При штампуванні на ГKM передбачаються вертикальна та горизонтальна лінії роз'єму. Вертикальну лінію роз'єму розташовують поблизу лівого торця деталі, горизонтальну – по осі деталі.

При штампуванні на КГШП формується горизонтальна лінія роз'єму, що проходить уздовж осі деталі.

2.3.3 Оформлення ескізу заготовки

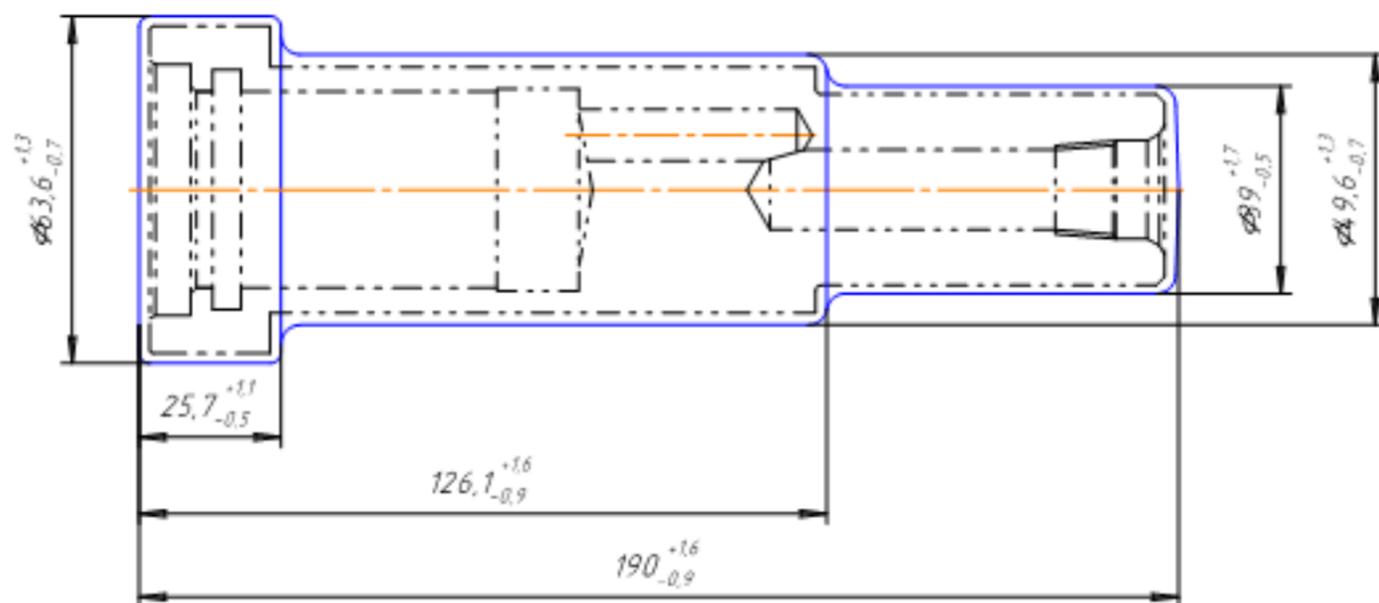


Рисунок 2.2 – Поковка виготовлена на ГKM

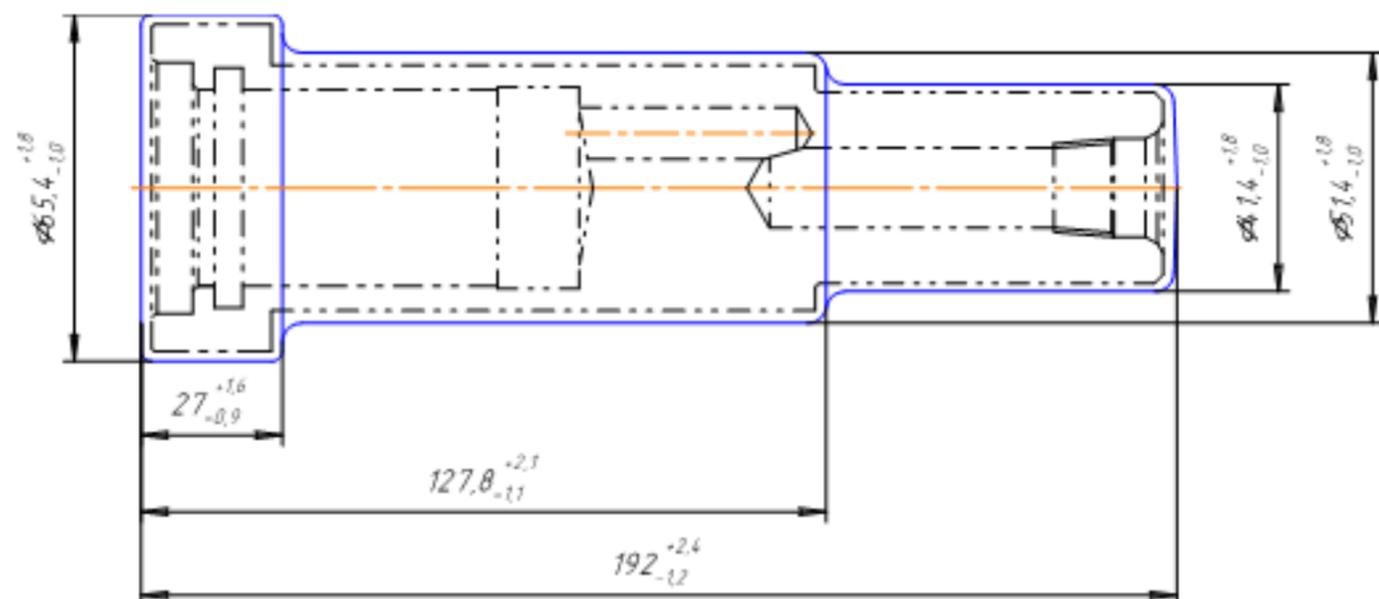


Рисунок 2.3 – Поковка виготовлена на КГШП

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси заготовки

Для визначення маси заготовки її доцільно подати у вигляді сукупності простих геометричних тіл та окремо розрахувати масу кожного з них. Загальне значення маси заготовки встановлюється шляхом підсумовування мас усіх складових геометричних елементів [11]:

$$Q_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n Q_i \text{ [кг]}, \quad (2.12)$$

Для спроектованої заготовки у розгорнутому вигляді формулу (2.12) можна записати:

$$\begin{aligned} Q_{\text{заг}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4; \\ Q_1 &= V_1 \cdot \rho; \\ Q_2 &= V_2 \cdot \rho; \\ Q_3 &= V_3 \cdot \rho. \end{aligned}$$

Отримали

$$\begin{aligned} Q_{\text{заг}} &= \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho; \\ Q_{\text{заг}} &= (V_1 + V_2 + V_3) \cdot \rho; \\ V_i &= \frac{\pi d^2}{4} h. \end{aligned}$$

Тоді

$$\text{- для ГКМ} \quad V_1 = 3,14 \cdot \left(\frac{63,6}{2} \right)^2 \cdot 25,7 = 8,161 \cdot 10^4 \text{ (мм}^3\text{)};$$

$$V_2 = 3,14 \cdot \left(\frac{49,6}{2} \right)^2 \cdot 100,4 = 1,939 \cdot 10^5 \text{ (мм}^3\text{)};$$

$$V_3 = 3,14 \cdot \left(\frac{39}{2} \right)^2 \cdot 63,9 = 7,63 \cdot 10^4 \text{ (мм}^3\text{)};$$

$$\begin{aligned} V_{\text{заг}} &= V_1 + V_2 + V_3 = 8,161 \cdot 10^4 + 1,939 \cdot 10^5 + 7,63 \cdot 10^4 = \\ &= 3,518 \cdot 10^5 \text{ (мм}^3\text{)} = 0,35181 \text{ (см}^3\text{)}; \end{aligned}$$

$$Q_{\text{заг}} = 0,35181 \cdot 7,82 = 2,7 \text{ (кг)};$$

- для КГШП $V_1 = 3,14 \cdot \left(\frac{65,4}{2}\right)^2 \cdot 27,3 = 9,166 \cdot 10^4 \text{ (мм}^3\text{)};$

$$V_2 = 3,14 \cdot \left(\frac{51,4}{2}\right)^2 \cdot 100,5 = 2,084 \cdot 10^5 \text{ (мм}^3\text{)};$$

$$V_3 = 3,14 \cdot \left(\frac{41,4}{2}\right)^2 \cdot 64,2 = 8,638 \cdot 10^4 \text{ (мм}^3\text{)};$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 + V_3 = 9,166 \cdot 10^4 + 2,084 \cdot 10^5 + 8,638 \cdot 10^4 = \\ = 3,865 \cdot 10^5 \text{ (мм}^3\text{)} = 0,3865 \text{ (см}^3\text{)};$$

$$Q_{\text{заг}} = 0,3865 \cdot 7,82 = 3,02 \text{ (кг)}.$$

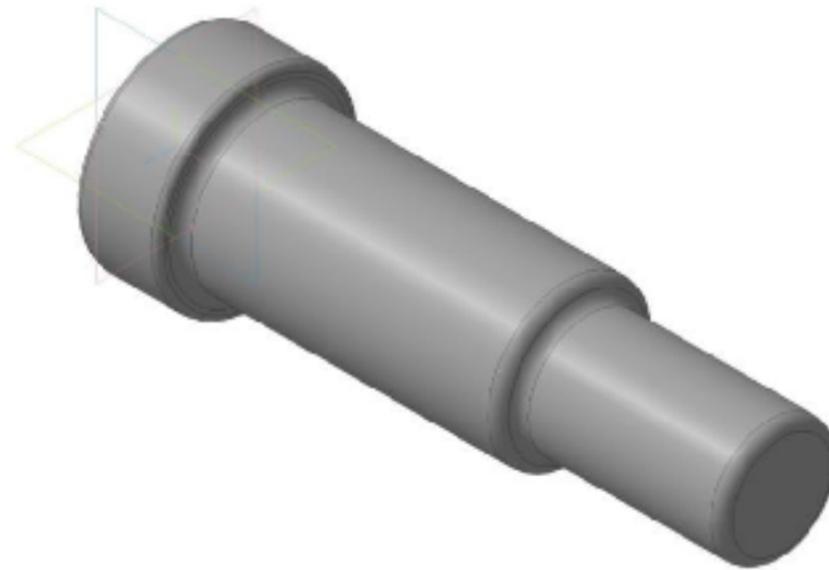


Рисунок 2.4 – 3D-модель заготовки

Побудовані тривимірні моделі заготовок підтверджують правильність виконаних розрахунків маси. У результаті для заготовки, отриманої на ГКМ, маса становить $Q_{\text{заг}1} = 2,7$ кг, а для заготовки, виготовленої на КГШП, – $Q_{\text{заг}2} = 3,02$ кг.

На основі отриманих даних визначаємо коефіцієнт точності маси штампованої заготовки:

- для ГКМ

$$\gamma_1 = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}1} = 1,31 / 2,7 = 0,49;$$

- для КГШП

$$\gamma_2 = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}2} = 1,31 / 3,02 = 0,43.$$

Значення коефіцієнта точності маси для заготовки, виготовленої на ГKM, свідчить про вищу точність такої поковки порівняно із заготовкою, отриманою на КГШП.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння обох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Собівартість заготовки можна визначити за формулою [11]:

$$C_{\text{заг.}} = \left(\frac{G_{\text{заг.}}}{1000} \cdot C_{\text{шт.}} \cdot K_{\text{Г}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{П}} \right) - \left(\frac{G_{\text{заг.}} - G_{\text{дем.}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{ст.}} \quad [\text{грн.}], \quad (2.13)$$

де $C_{\text{шт.}}$ – базова вартість штамповки, $C_{\text{шт.}} = 21730$ грн./т;

$K_{\text{Г}}, K_{\text{М}}, K_{\text{С}}, K_{\text{В}}, K_{\text{П}}$ – коефіцієнти [11];

$C_{\text{ст.}}$ – вартість стружки, для сталі $C_{\text{ст.}} = 2200$ грн./т.

Прийнято такі значення коефіцієнтів:

$$K_{\text{Г}} = 1,0; K_{\text{М}} = 1,0; K_{\text{С}} = 0,84; K_{\text{В}} = 1,0; K_{\text{П}} = 1,0.$$

Тоді вартість поковки:

- для штампування на ГKM:

$$C_{\text{заг. шт.}} = \frac{2,7}{1000} \cdot 21730 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 - \frac{(2,7 - 1,31)}{1000} \cdot 2200 = 46,23 \text{ (грн.)};$$

- для штампування на КГШП:

$$C_{\text{заг. шт.}} = \frac{3,02}{1000} \cdot 21730 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 - \frac{(3,02 - 1,31)}{1000} \cdot 2200 = 51,36 \text{ (грн.)}$$

Визначимо технологічну собівартість окремих наступних операцій виробничого процесу. Зокрема, розрахуємо витрати на операцію відрізання затискної частини заготовки в матриці при штампуванні на ГKM:

$$C_{обр.} = \frac{C_{n-1} \cdot T_{мат.к.}}{K_B} \text{ [грн.],} \quad (2.14)$$

де $K_B = 1,3$;

$C_{n-1} = 54,6$ грн./год. для токарного верстата.

$$T_{мат.к.} = T_o \cdot \varphi_k = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot 2,14 = 0,49 \text{ (хв.);}$$

$$C_{обр.} = \frac{54,6 \cdot 0,49}{1,3 \cdot 60} = 0,34 \text{ (грн.);}$$

$$C_{мат.} = 46,23 + 0,34 = 46,57 \text{ (грн.)}$$

Таким чином, за показником собівартості більш економічно доцільним є штампування на ГKM.

Висновок. Як остаточний спосіб виготовлення заготовки прийнято штампування на горизонтально-кувальних машинах.

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

Загальне уточнення для поверхні $\varnothing 36^{+0,062}$ (IT 9):

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n, \quad (2.15)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ – окремі ступені уточнення.

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_{заг.}}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \cdot \dots = \frac{T_{заг.}}{T_{дет}} = \frac{620}{62} = 10,$$

де $T_{заг} = 620$ мкм – допуск розміру заготовки після свердління (по 14 квалітету точності);

$T_{дет} = 62$ мкм – допуск деталі.

Прийнято три ступені механічної обробки. Нехай $\varepsilon_1 = 3$, $\varepsilon_2 = 2$, тоді

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_{\Sigma}}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{10}{3 \cdot 2} = 1,67 .$$

Отже загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\Sigma} = 3 \cdot 2 \cdot 1,67 = 10,02 .$$

Допуск розмірів після проміжних переходів:

$$T_1 = \frac{620}{3} = 207 \text{ (мкм)} ; \quad (\approx \text{IT 11-12})$$

$$T_2 = \frac{207}{2} = 104 \text{ (мкм)} ; \quad (\approx \text{IT 10})$$

$$T_3 = \frac{104}{1,67} = 62 \text{ (мкм)} ; \quad (\text{IT 9})$$

У підсумку для обробки циліндричної поверхні $\varnothing 36^{+0,062}$ приймаємо таку послідовність переходів механічної обробки:

- попереднє розточування;
- попереднє розточування;
- остаточне розточування.

Аналогічний порядок розрахунків застосовується і до інших точних поверхонь деталі, а отримані результати узагальнюються у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Переходи обробки точних поверхонь

Поверхні	Уточнення ε_{Σ}	Розподіл ε	Методи обробки	Квалітет
$\varnothing 45_{-0,24}^{-0,08}$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2000}{320} = 6,25$	$\varepsilon=3 \cdot 2 \cdot 1,04$	Точіння попереднє Точіння чистове Точіння тонке	12 11 10
$\varnothing 35_{-0,16}$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1600}{160} = 10$	$\varepsilon=5 \cdot 2$	Точіння попереднє Точіння чистове	12 11
$\varnothing 46^{+0,1}$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{250}{100} = 2,5$	$\varepsilon=2,5$	Свердління Розточування	12 10
$5,2^{+0,18}$			Точіння канавки	13
$\varnothing 44 \pm 0,125$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{250}{250} = 1$	$\varepsilon=1$	Свердління Розточування	12 11
$\varnothing 14,6^{+0,27}$			Свердління	12
$22 \pm 0,26$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1600}{520} = 3$	$\varepsilon=3$	Точіння однократне	12
$\varnothing 9,5^{+0,9}$			Свердління	13
$122 \pm 0,5$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2500}{1000} = 2,5$	$\varepsilon=2,5$	Точіння однократне	12
$186 \pm 0,575$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2500}{1150} = 2,2$	$\varepsilon=2,2$	Точіння однократне	12
$64 \pm 1,5$			Свердління	12
$\varnothing 60$	$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2000}{740} = 2,7$	$\varepsilon=2,7$	Точіння однократне	12
87			Свердління	12
40			Свердління	12

2.5 Вибір і розрахункове обґрунтування чистових і чорнових технологічних баз

При виборі чистових баз вирішується ключове завдання – зменшення похибки базування [1]. При розробці ТП доцільно дотримуватись принципу незмінності баз, суть якого полягає у використанні одного й того самого набору чистових баз на всіх або на переважній більшості операцій.

У даному ТП передбачено застосування двох комплектів чистових баз. Перший з них утворюють вісь центрових гнізд і фаска центрального отвору. Запропоновану схему базування розглянемо на прикладі операції 010 (рис. 2.5).

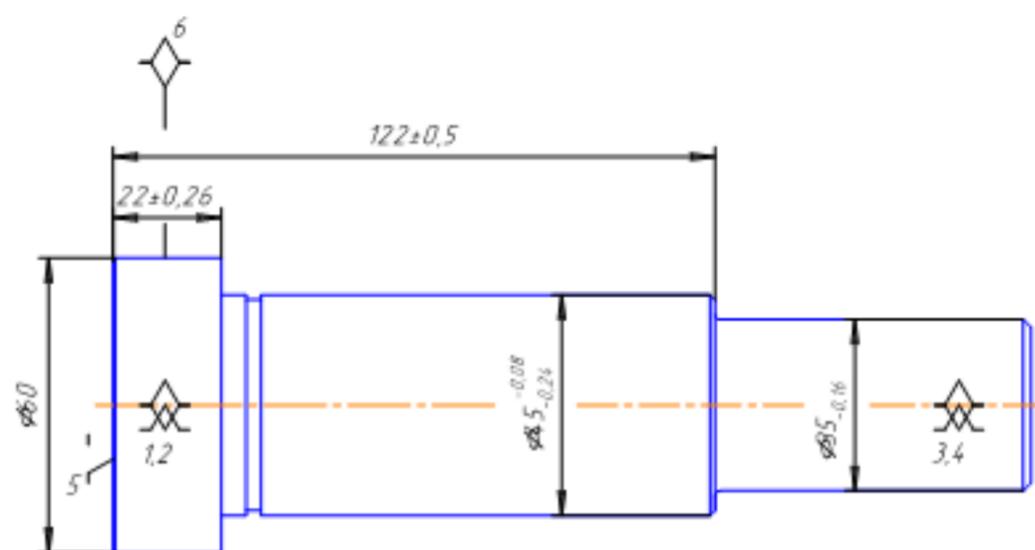


Рисунок 2.5 – Чистові технологічні бази (операції 010)

Похибки базування:

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon_{\phi 60} = 0 \\ \varepsilon_{\phi 45} = 0 \\ \varepsilon_{\phi 35} = 0 \end{array} \right\} \text{ – на діаметральні розміри } \varepsilon_{\phi} = 0 ;$$

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon_{\phi 22} = 0 \\ \varepsilon_{\phi 122} = 0 \end{array} \right\} \text{ – при обробці виконується принцип суміщення технологічної та}$$

вимірювальної баз (принцип суміщення баз), тому $\varepsilon_{\phi} = 0$.

Другий набір чистових баз формується віссю діаметра $\phi 60$ та одним із торців деталі, вибір якого визначається характером операції та виконуваних розмірів. Реалізацію цієї схеми базування проілюстровано на прикладі операції 040 (рис. 2.6).

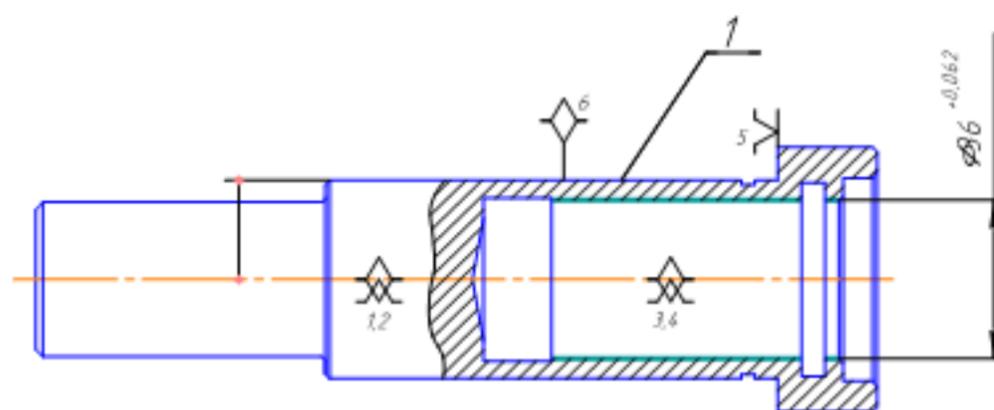


Рисунок 2.6 – Чистові технологічні бази (операції 040)

Похибка базування для діаметрального розміру $\varnothing 36^{+0,062}$ відсутня, тобто $\varepsilon_a(\varnothing 36^{+0,062}) = 0$. Для інших розмірів похибка базування також дорівнює нулю, оскільки механічна обробка виконується за один установ.

Під час вибору чорнових баз вирішується одна з двох основних задач: забезпечення розмірного зв'язку між уже обробленими та необробленими поверхнями або створення умов для знімання мінімального й рівномірного припуску на наступному етапі механічної обробки визначеної поверхні.

У даному випадку реалізується друга задача – забезпечення рівномірного знімання мінімального припуску з поверхні $\varnothing 45_{-0,24}^{-0,08}$. Для цього застосовується схема базування в самоцентрувальних призмах (рис. 2.7).

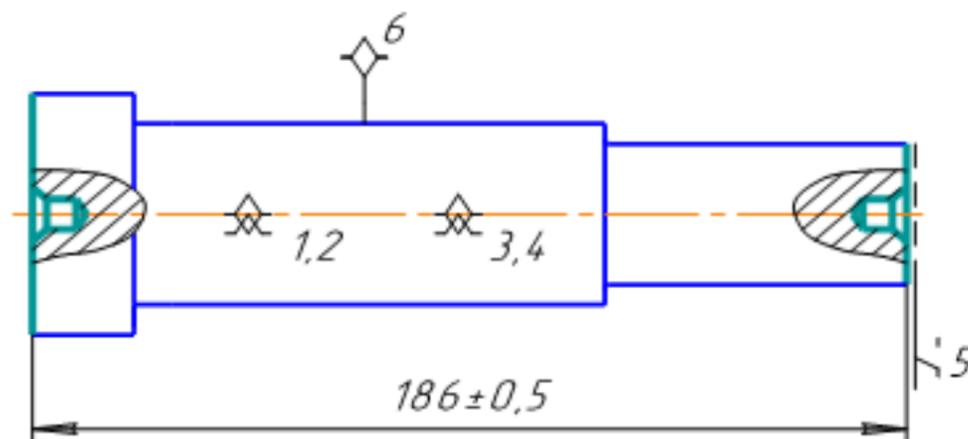


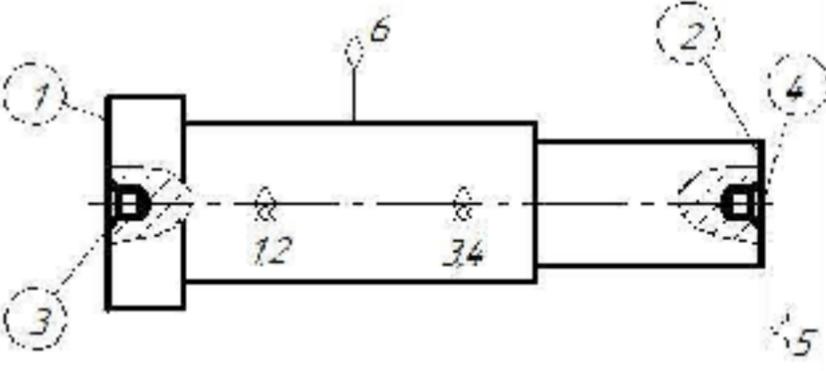
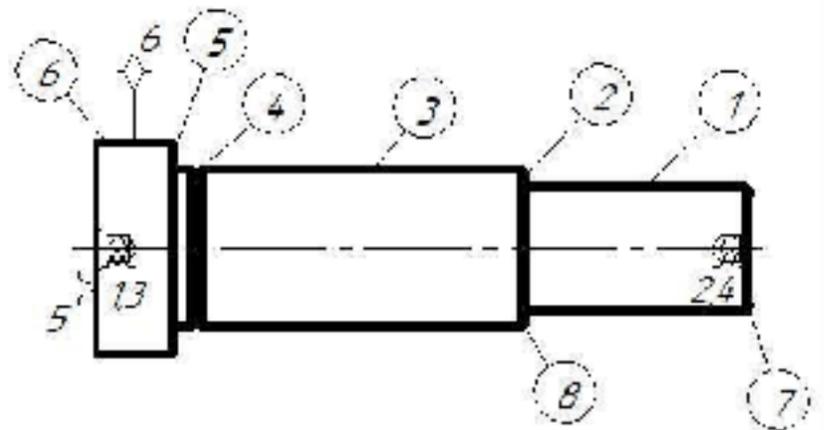
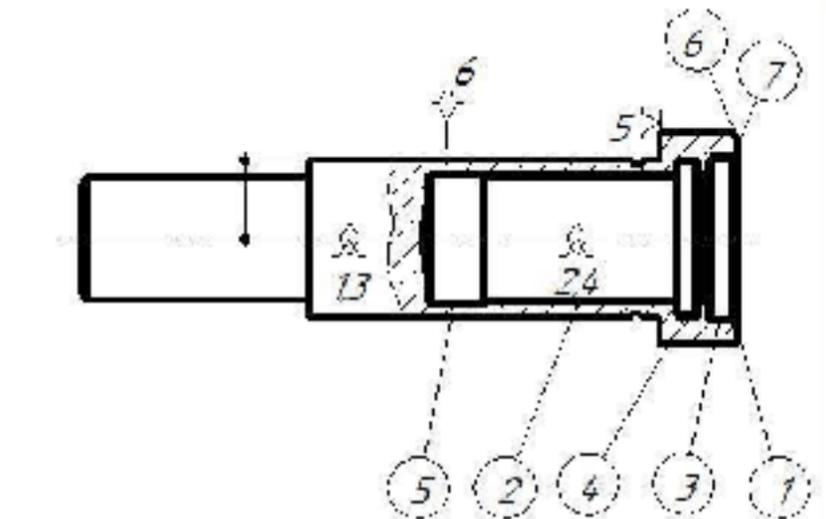
Рисунок 2.7 – Чорнові технологічні бази (операція 005)

Таким чином, застосування обраних чистових і чорнових баз під час механічної обробки забезпечує виготовлення деталей високої якості, що відповідають вимогам, зазначеним у робочому кресленні.

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки

Результати розробки представлені у вигляді таблиць 2.7 та 2.8.

Таблиця 2.7 – Маршрут механічної обробки (1 варіант)

N	Зміст переходів та найменування операцій	Схема базування та обробки	Обладнання
005	<p>Фрезерувально-центрувальна</p> <p>1. ВЗД 2. Фрезерувати торці 1, 2 3. Центрувати отвори 3, 4.</p>		<p>Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-76М</p>
010	<p>Токарна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД 2. Точити попередньо пів 1, 2, 3, 5, 6, остаточно фаски 7, 8. 3. Точити остаточно пів 1, 3. 4. Точити канавку 4.</p>		<p>Токарний з ЧПК 16К20Ф3</p>
015	<p>Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД 2. Сверділити отвір 2. 3. Точити торець 7 і фаску 6. 4. Розточити отвір 3 однократно, точити фаску 1. 5. Розточити отвір 2 попередньо. 6. Розточити канавку 4. 7. Розточити канавку 5. 8. Розточити отвір 2 остаточно.</p>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 18320Ф30</p>

Продовження таблиці 2.7

N	Зміст переходів та найменування операцій	Схема базування та обробки	Обладнання
020	<p>Свердильна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД</p> <p>2. Свердлити отвір 1</p> <p>3. Зенкерувати отвір 2</p> <p>4. Нарізати різь на пов. 2</p> <p>5. Зенкерувати отвір 3</p> <p>7. Зенкувати фаску 4</p> <p>8. Зенкувати фаску 5</p>		<p>Верти- кально- свердиль- ний з ЧПК</p> <p>2P135Ф3</p>
025	<p>Свердильна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД</p> <p>2. Свердлити отвір 1</p>		<p>Верти- кально- свердиль- ний</p> <p>2Н118, кондук- торний пристрій</p>
030	Термічна		
035	<p>Токарна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД</p> <p>2. Точити пов. 1</p>		<p>Токарний з ЧПК</p> <p>1К600ПФ3</p>
040	<p>Токарна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД</p> <p>2. Точити пов. 1</p>		<p>Токарний з ЧПК</p> <p>1К600ПФ3</p>

Таблиця 2.8 – Маршрут механічної обробки (II варіант)

N	Зміст переходів та найменування операцій	Схема базування та обробки	Обладнання
005	<p>Фрезерувально-центрувальна</p> <p>1. ВЗД</p> <p>2. Фрезерувати торці 1, 2.</p> <p>3. Центрувати отвори 3, 4.</p>		<p>Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-76М</p>
010	<p>Токарна</p> <p>1. ВЗД</p> <p>2. Точити однократно пов. 1, 2, 3, 4, 5, фаски 6, 7.</p>		<p>Токарно-копіювальний напівавтомат 1Н713</p>
015	<p>Токарна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД</p> <p>2. Точити пов. 1, 2 остаточно.</p> <p>3. Точити канавку 3.</p>		<p>Токарний з ЧПК 16К20Ф3</p>
020	<p>Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД.</p> <p>2. Свердлити отвір 2.</p> <p>3. Точити торець 7 і фаску 6.</p> <p>4. Розточити отвір 3 однократно, точити фаску 1.</p> <p>5. Розточити отвір 2 попередньо.</p> <p>6. Розточити канавку 4.</p> <p>7. Розточити канавку 5.</p> <p>8. Розточити отвір 2 остаточно.</p>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1В320Ф30</p>

Продовження таблиці 2.8

N	Зміст переходів та найменування операцій	Схема базування та обробки	Обладнання
025	<p>Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД.</p> <p>2. Свердлити отв.1.</p> <p>3. Розточити пов. 2, 3.</p> <p>точити фаски 4, 5.</p> <p>4. Нарізати різь на пов. 2.</p>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК</p> <p>1В320Ф30</p>
030	<p>Свердлильна з ЧПК</p> <p>1. ВЗД.</p> <p>2. Свердлити отв.1.</p>		<p>Вертикально-свердлильний</p> <p>2Н118</p>
035	Термічна		
040	<p>Круглошліфувальна</p> <p>1. ВЗД.</p> <p>2. Шліфувати пов.1</p>		<p>Круглошліфувальний</p> <p>3М150</p>
045	<p>Внутрішньо-шліфувальна</p> <p>1. ВЗД.</p> <p>2. Шліфувати пов.1.</p>		<p>Внутрішньо-шліфувальний</p> <p>3К227В</p>

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

Як показник витрат приймається технологічна собівартість виконання операції механічної обробки, виражена у гривнях за годину роботи обладнання [1]:

$$C_o = \frac{C_{п.з} \cdot T_{шт-к}}{60 k_B} \text{ [грн.],} \quad (2.16)$$

де $C_{п.з}$ – приведені годинні витрати;

$T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час;

$k_B = 1,3$ – коефіцієнт виконання норм.

Для розрахунку технологічної собівартості штучно-калькуляційний час наближено визначається за формулою [1, 2]:

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

де T_o – основний час обробки;

φ_k – коефіцієнт [1].

Визначимо значення $T_{шт-к}$ для тих операцій, які мають відмінності у двох розглянутих варіантах ТП. Перелік операцій, що відрізняються між собою, подано в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Відмінності у двох варіантах ТП

I варіант ТП	II варіант ТП
1	2
Операція 010 Токарна з ЧПК (16K20Ф3) - точити попередньо - точити остаточно - точити канавку	Операція 010 Токарна (1Н713) - точити однократно

Продовження таблиці 2.9

1	2
Операція 020 Свердлильна з ЧПК (2P135Ф3) - свердлити - зенкерувати - нарізати різь - зенкерувати - зенкувати - зенкувати	Операція 015 Токарна з ЧПК (16K20Ф3) - точити остаточно - точити канавку
Операція 035 Токарна з ЧПК (МК6801Ф3) - точити	Операція 025 Токарно-револьверна з ЧПК (1В320Ф30) - свердлити - розточити - нарізати різь
Операція 040 Токарна з ЧПК (МК6801Ф3) - точити	Операція 040 Круглошліфувальна (3М150) - шліфувати
	Операція 045 Внутрішньошліфувальна (3К227В) - шліфувати

I варіант ТП.

Операція 010:

$$T_o = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot (35 \cdot 64 + 45 \cdot 100 + 60 \cdot 22) + 0,037 \cdot 10^{-3} \cdot (60^2 - 45^2 + 45^2 - 35^2) = 894 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$T_o = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot (35 \cdot 64 + 45 \cdot 100) = 1146 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$T_o = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 44,6 \cdot 3 = 13,4 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$\sum T_o = (894 + 1146 + 13,4) \cdot 10^{-3} = 2,05 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{мв-к}} = \sum T_o \cdot \varphi_k = 2,05 \cdot 1,36 = 2,79 \text{ (хв.)}$$

Операція 020:

$$T_o = 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot 14,6 \cdot 64 = 486 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$T_o = 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10 = 37,8 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$T_o = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10 = 72 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$T_o = 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 5,8 = 22 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$\sum T_o = (486 + 37,8 + 72 + 22) \cdot 10^{-3} = 0,62 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{sum-к}} = \sum T_o \cdot \varphi_k = 0,62 \cdot 1,36 = 0,8 \quad (\text{XB.})$$

Операція 035:

$$T_o = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 100 = 765 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$T_{\text{sum-к}} = T_o \cdot \varphi_k = 765 \cdot 10^{-3} \cdot 1,36 = 1,04 \quad (\text{XB.})$$

Операція 040:

$$T_o = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 36 \cdot 100 = 612 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$T_{\text{sum-к}} = T_o \cdot \varphi_k = 612 \cdot 10^{-3} \cdot 1,36 = 0,83 \quad (\text{XB.})$$

II варіант ТП.

Операція 010:

$$T_o = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot (35 \cdot 64 + 45 \cdot 100 + 60 \cdot 22) + 0,037 \cdot 10^{-3} \cdot (60^2 - 45^2 + 45^2 - 35^2) =$$

$$= 894 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$T_{\text{sum-к}} = T_o \cdot \varphi_k = 894 \cdot 10^{-3} \cdot 1,36 = 1,22 \quad (\text{XB.})$$

Операція 015:

$$T_o = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot (35 \cdot 64 + 45 \cdot 100) = 1146 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$T_o = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 44,6 \cdot 3 = 13,4 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$\sum T_o = (1146 + 13,4) \cdot 10^{-3} = 1,16 \quad (\text{XB.});$$

$$T_{\text{sum-к}} = \sum T_o \cdot \varphi_k = 1,16 \cdot 1,50 = 1,74 \quad (\text{XB.})$$

Операція 025:

$$T_o = 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot 14,6 \cdot 64 = 486 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$T_o = 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot (18 \cdot 5,8 + 18 \cdot 10) = 51,2 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$T_o = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10 = 72 \cdot 10^{-3} \quad (\text{XB.});$$

$$\sum T_o = (486 + 51,2 + 72) \cdot 10^{-3} = 0,61 \quad (\text{XB.});$$

$$T_{\text{sum-к}} = \sum T_o \cdot \varphi_k = 0,61 \cdot 1,35 = 0,82 \quad (\text{XB.})$$

Операція 040:

$$T_o = 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 100 = 675 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{min-к}} = T_o \cdot \varphi_k = 675 \cdot 10^{-3} \cdot 1,55 = 1,05 \text{ (хв.)}$$

Операція 045:

$$T_o = 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 36 \cdot 100 = 540 \cdot 10^{-3} \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{min-к}} = T_o \cdot \varphi_k = 540 \cdot 10^{-3} \cdot 1,55 = 0,84 \text{ (хв.)}$$

Приведені годинні витрати визначено за довідковими таблицями [1]. За результатами розрахунків отримано значення технологічної собівартості.

I варіант ТП:

$$\text{операція 010} \quad C_o = \frac{63,6 \cdot 2,79}{60 \cdot 1,3} = 2,36 \text{ (грн.)};$$

$$\text{операція 020} \quad C_o = \frac{59,2 \cdot 0,8}{60 \cdot 1,3} = 0,61 \text{ (грн.)};$$

$$\text{операція 035} \quad C_o = \frac{44,9 \cdot 1,04}{60 \cdot 1,3} = 0,59 \text{ (грн.)};$$

$$\text{операція 040} \quad C_o = \frac{44,9 \cdot 0,83}{60 \cdot 1,3} = 0,48 \text{ (грн.)}$$

Сумарна собівартість операцій, що відрізняються:

$$\sum C_{o,i} = 2,36 + 0,61 + 0,59 + 0,48 = 4,04 \text{ (грн.)}$$

II варіант ТП:

$$\text{операція 010} \quad C_o = \frac{54,5 \cdot 1,22}{60 \cdot 1,3} = 0,852 \text{ (грн.)};$$

$$\text{операція 015} \quad C_o = \frac{63,6 \cdot 1,74}{60 \cdot 1,3} = 1,42 \text{ (грн.)};$$

$$\text{операція 025} \quad C_o = \frac{65,9 \cdot 0,82}{60 \cdot 1,3} = 0,693 \text{ (грн.)};$$

$$\text{операція 040} \quad C_o = \frac{99,2 \cdot 1,05}{60 \cdot 1,3} = 1,34 \text{ (грн.)};$$

$$\text{операція 045} \quad C_o = \frac{99,2 \cdot 0,84}{60 \cdot 1,3} = 1,07 \text{ (грн.)}$$

Сумарна собівартість операцій, що відрізняються:

$$\sum C_{o_{II}} = 0,852 + 1,42 + 0,693 + 1,34 + 1,07 = 5,38 \text{ (грн.)}$$

У результаті порівняльного аналізу встановлено, що *I* варіант маршруту механічної обробки за критерієм мінімальних приведених витрат є економічно доцільнішим ніж *II*.

Річний економічний ефект від застосування маршруту *I* порівняно з маршрутом *II* визначається як:

$$E = (\sum C_{o_{II}} - \sum C_{o_I}) \cdot N_p \text{ [грн.]}, \quad (2.17)$$

$$E = (5,38 - 4,04) \cdot 12000 = 16080 \text{ (грн.)}$$

2.8 Розмірно-точнісне моделювання ТП

2.8.1 Визначення розташування технологічних розмірів

Під час призначення розміщення технологічних розмірів використовуються методичні рекомендації, наведені в джерелах [1, 13]. Обраний варіант простановки технологічних розмірів представлено на розмірній схемі ТП (рис. 2.8).

Конструкторські розміри:

$$K_1 = 22 \pm 0,26 \text{ мм}; \quad K_2 = 87 \text{ мм}; \quad K_3 = 122 \pm 0,5 \text{ мм};$$

$$K_4 = 186 \pm 0,575 \text{ мм}; \quad K_5 = 40 \text{ мм}; \quad K_6 = 64 \pm 1,5 \text{ мм}.$$

2.8.2 Попередня оцінка допусків технологічних розмірів

Призначення допусків заготовки виконано на основі розрахункових даних та робочого креслення заготовки. Для класу точності IT17 встановлено такі значення допусків: $T(Z_1) = 4,0$ мм; $T(Z_2) = 2,1$ мм; $T(Z_3) = 4,6$ мм.

Прийняті допуски технологічних розмірів наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Прийняті допуски технологічних розмірів

Технологічний розмір	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7
Квалітет точності	14	14	12	12	14	12	14
Значення допуску, мм	1,15	1,0	0,4	0,21	0,74	0,35	0,62

2.8.3 Розмірна схема ТП

Розмірна схема ТП представлена на рис. 2.8.

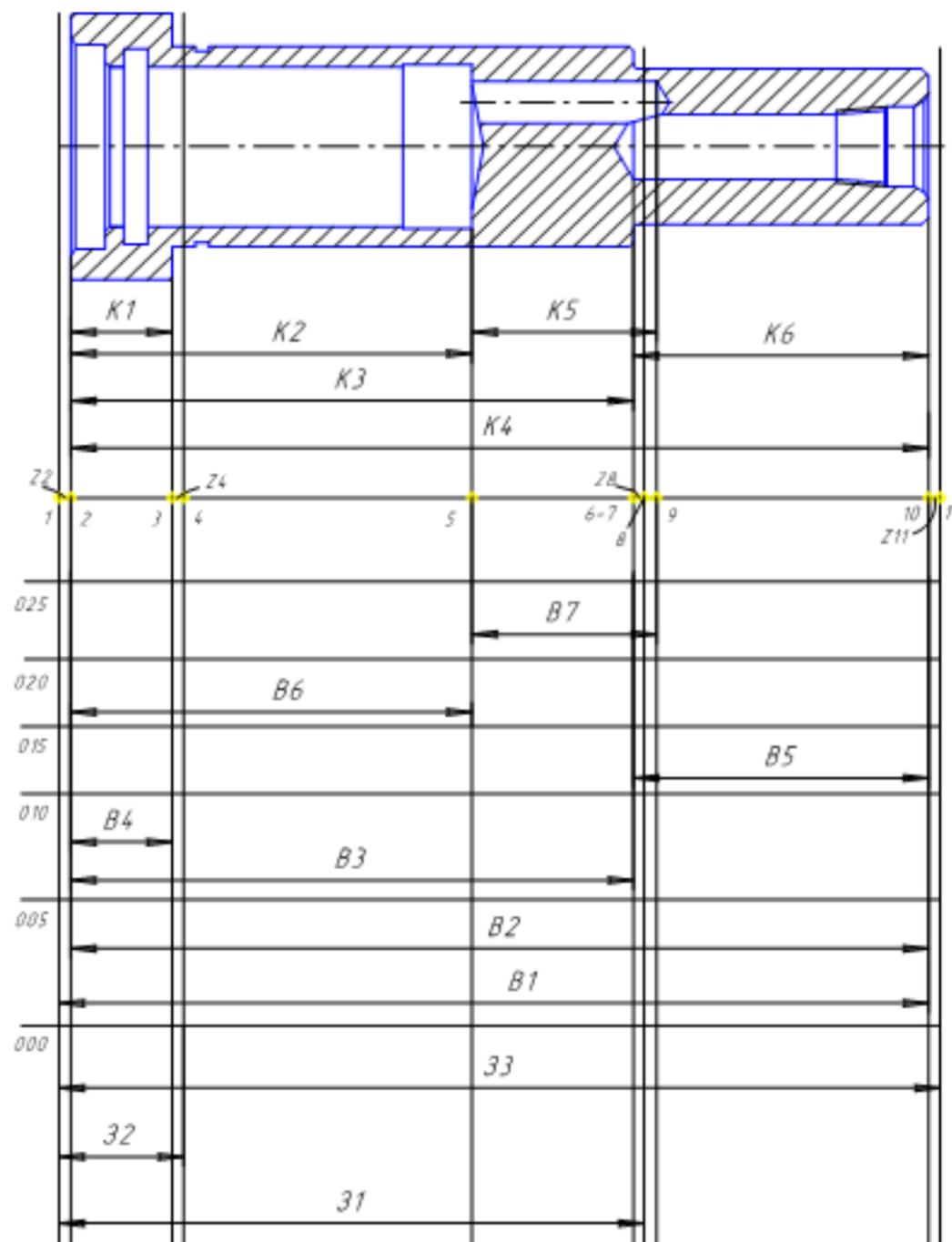


Рисунок 2.8 – Розмірна схема ТП

2.8.4 Похідний, вихідний графі-дерева, суміщений граф

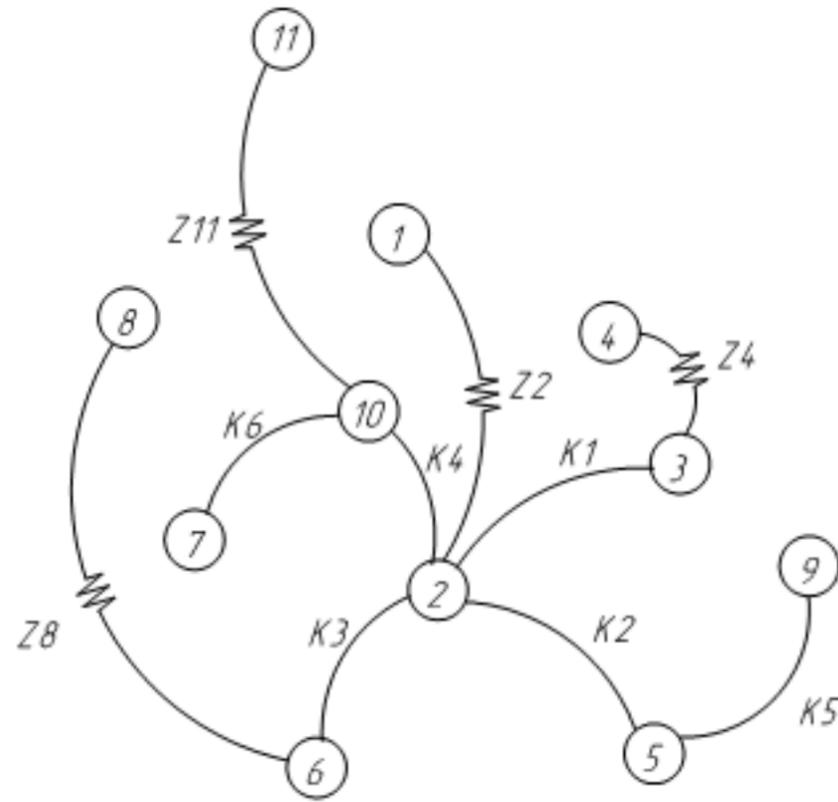


Рисунок 2.9 – Вихідний граф-дерево

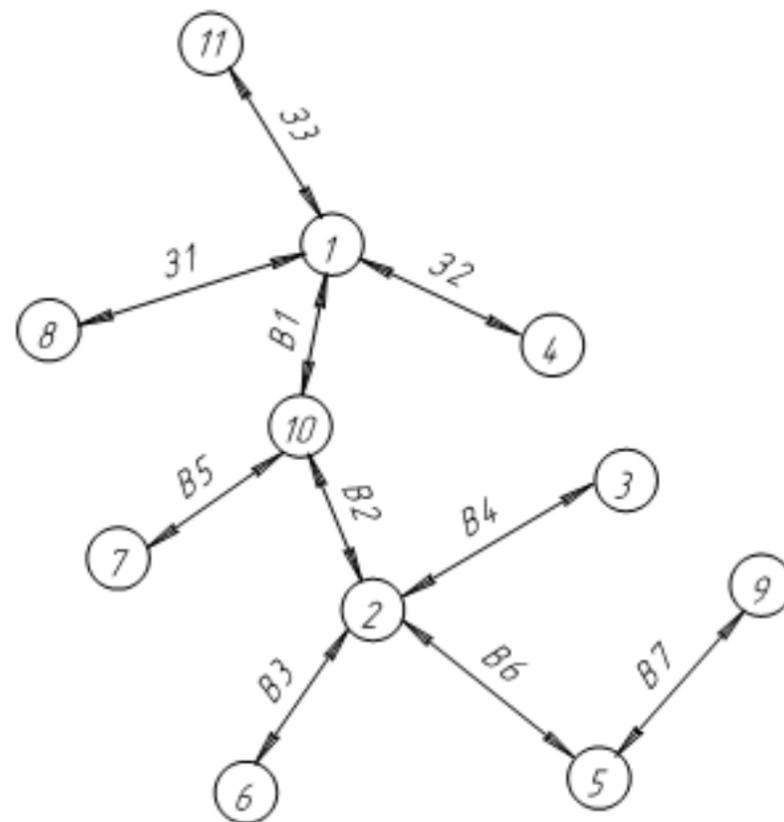


Рисунок 2.10 – Похідний граф-дерево

Таблиця 2.12 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_6+B_5=0$	$K_6=B_5$	B_5
2	$-K_1+B_4=0$	$K_1=B_4$	B_4
3	$-K_3+B_3=0$	$K_3=B_3$	B_3
4	$-K_5+B_7=0$	$K_5=B_7$	B_7
5	$-K_4+B_2=0$	$K_4=B_2$	B_2
6	$-K_2+B_6=0$	$K_2=B_6$	B_6
7	$-Z_2-B_2+B_1=0$	$Z_2=B_2-B_1$	B_1
8	$-Z_{11}+3_3-B_1=0$	$Z_{11}=3_3-B_1$	3_3
9	$-Z_4+3_2-B_4+B_2-B_1=0$	$Z_4=3_2-B_4+B_2-B_1$	3_2
10	$-Z_8-B_1+B_2-B_3+3_1=0$	$Z_8=3_1-B_1+B_2-B_3$	3_1

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Відповідно до наведених вище рівнянь знаходимо значення технологічних розмірів.

- $B_5=K_6=64\pm 1,5$ мм.
- $B_4=K_1=22\pm 0,26$ мм.
- $B_3=K_3=122\pm 0,5$ мм.
- $B_7=K_5=40\pm 0,62$ мм.
- $B_2=K_4=186\pm 0,575$ мм.
- $B_6=K_2=87\pm 0,87$ мм.
- $Z_{2min}=B_{1min}-B_{2max}$;
 $B_{1min}=Z_{2min}+B_{2max}=1,2+186,575=187,775$ (мм);
 $B_{1max}=B_{1min}+T(B_1)=187,775+1,15=188,925$ (мм);
 $Z_{2max}=B_{1max}-B_{2min}=188,925-185,425=3,5$ (мм);
 $B_1=188,925_{-1,15}$ мм.
- $Z_{11min}=3_{3min}-B_{1max}$;
 $3_{3min}=Z_{11min}+B_{1max}=1,2+188,925=190,125$ (мм);
 $3_{3max}=3_{3min}+T(3_3)=190,125+2,1=192,225$ (мм);

$$Z_{11\max} = Z_{3\max} - B_{1\min} = 192,225 - 187,775 = 4,45 \text{ (мм)}.$$

$$9. Z_{4\min} = Z_{2\min} - B_{4\max} + B_{2\min} - B_{1\max};$$

$$Z_{2\min} = Z_{4\min} + B_{4\min} - B_{2\max} - B_{1\min} = 1,1 + 21,74 - 186,575 + 187,775 = 24,04 \text{ (мм)};$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + T(Z_2) = 24,04 + 2,1 = 26,14 \text{ (мм)};$$

$$Z_{4\max} = Z_{2\max} - B_{4\min} + B_{2\max} - B_{1\min} = 26,14 - 21,74 + 186,575 - 187,775 = 3,2 \text{ (мм)}.$$

$$10. Z_{8\min} = Z_{1\min} - B_{1\max} + B_{2\min} - B_{3\max};$$

$$Z_{1\min} = Z_{8\min} + B_{1\min} - B_{2\max} + B_{3\min} = 1,1 + 187,775 - 186,575 + 121,5 = 123,8 \text{ (мм)};$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + T(Z_1) = 123,8 + 4,0 = 127,8 \text{ (мм)};$$

$$Z_{8\max} = Z_{1\max} - B_{1\min} + B_{2\max} - B_{3\min} = 127,8 - 187,775 + 186,575 - 121,5 = 5,1 \text{ (мм)}.$$

Розраховані значення максимальних припусків $Z_{1\max}$ - $Z_{4\max}$ узагальнено та подано в таблиці 2.13. Результати розмірного аналізу, зокрема значення технологічних розмірів B_1 - B_7 , розмірів початкової заготовки Z_1 - Z_3 та відповідні їм допуски, наведено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.13 – Значення максимальних припусків, мм

$Z_{2\max}$	$Z_{4\max}$	$Z_{8\max}$	$Z_{11\max}$
3,5	3,2	5,1	4,45

Таблиця 2.14 – Результати розмірного аналізу, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	max розмір	min розмір				
B_1	188,925	187,775	1,15	188,925	$188,925_{-1,15}$	-
B_2	186,575	185,425	1,0	186	$186 \pm 0,5$	-
B_3	122,5	121,5	1,0	122	$122 \pm 0,5$	-
B_4	22,26	21,74	0,52	22	$22 \pm 0,26$	-
B_5	65,5	62,5	3,0	64	$64 \pm 1,5$	-
B_6	87,87	86,13	1,74	87	$87 \pm 0,87$	-
B_7	40,62	39,38	1,24	40	$40 \pm 0,62$	-
Z_1	127,8	123,8	4,0	125,8	-	$125,8 \pm 2,0$
Z_2	26,14	24,04	2,1	25,09	-	$25,09 \pm 1,05$
Z_3	192,225	190,125	2,1	191,175	-	$191,175 \pm 1,05$

Таким чином, у процесі виконання розмірного аналізу встановлено значення технологічних розмірів B_1 - B_7 , параметрів вихідної заготовки Z_1 - Z_3 та граничних припусків Z . За результатами розрахунків підтверджено, що уточнення допусків технологічних розмірів не потребується.

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів на механічну обробку $\varnothing 36^{+0,062}$ (IT9)

Значення параметрів R_z і T приймаємо згідно з методичними рекомендаціями, наведеними в джерелі [1]. Для поверхні заготовки після операції свердління встановлено $R_z = 40$ мкм, $T = 60$ мкм; після попереднього розточування – $R_z = T = 50$ мкм; на наступному етапі розточування – $R_z = T = 30$ мкм; після остаточного розточування – $R_z = 10$ мкм, $T = 20$ мкм.

Відповідно до [1], сумарне значення просторових відхилень визначається за виразом:

$$\rho_{\text{св}} = \sqrt{C_0^2 + (\Delta_y \cdot l)^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.18)$$

де $C_0 = 30$ мкм – зміщення осі отвору при свердлінні;

$\Delta_y = 0,7$ мкм – питоме відведення свердла;

$l = 87$ мм – довжина свердління.

Тоді:

$$\rho_{\text{св}} = \sqrt{30^2 + (0,7 \cdot 87)^2} = 68 \text{ (мкм)}.$$

Просторові відхилення на наступних переходах механічної обробки:

$$\rho_n = k \cdot \rho_{n-1} \text{ [мкм]};$$

$$\rho_1 = 0,05 \cdot 68 = 3,4 \approx 4 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 4 = 0,1 \approx 0 \text{ (мкм)}.$$

Похибка устанавлення:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_7^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.19)$$

де $\varepsilon_6 = 0$ – похибка базування;

$\varepsilon_7 = 370$ мкм – похибка закріплення при устанавці в самоцентрувальному трьохкулачковому патроні.

Тоді похибка устанавлення $\varepsilon_1 = 730$ мкм.

Мінімальне значення проміжних припусків [1]:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2}) \text{ [мкм]}. \quad (2.20)$$

Мінімальний припуск:

- при розточуванні попередньому:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (40 + 60 + \sqrt{68^2 + 370^2}) = 2 \cdot 476 \text{ (мкм)} = 952 \text{ (мкм)};$$

- при розточуванні попередньому:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{4^2 + 0^2}) = 2 \cdot 104 \text{ (мкм)} = 208 \text{ (мкм)};$$

- при розточуванні остаточному:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (30 + 30 + 40) = 2 \cdot 100 \text{ (мкм)} = 200 \text{ (мкм)};$$

При остаточному розточуванні маємо отримати розмір $d = 36^{+0,062}$ мм.

Розрахункові розміри:

- для розточування остаточного $d_1 = 36,062 - 0,2 = 35,862$ (мм);
- для розточування попереднього $d_2 = 35,862 - 0,416 = 35,446$ (мм);
- для розточування попереднього $d_3 = 35,446 - 0,952 = 34,494$ (мм).

Граничні розміри:

$$36,062 - 0,062 = 36 \text{ (мм);}$$

$$35,862 - 0,1 = 35,762 \text{ (мм);}$$

$$35,446 - 0,16 = 35,286 \text{ (мм);}$$

$$34,494 - 0,62 = 33,874 \text{ (мм).}$$

Граничні значення припусків $2Z_{\min}$ та $2Z_{\max}$:

- для розточування попереднього:

$$2Z_{\min 1} = 35,446 - 34,494 = 0,952 \text{ (мм);}$$

$$2Z_{\max 1} = 35,286 - 33,874 = 1,412 \text{ (мм);}$$

- для розточування попереднього:

$$2Z_{\min 2} = 35,862 - 35,446 = 0,416 \text{ (мм);}$$

$$2Z_{\max 2} = 35,762 - 35,286 = 0,476 \text{ (мм);}$$

- для розточування остаточного:

$$2Z_{\min 3} = 36,062 - 35,862 = 0,2 \text{ (мм);}$$

$$2Z_{\max 3} = 36 - 35,762 = 0,238 \text{ (мм).}$$

Результати виконаних розрахунків показано в таблиці 2.14.

Таблиця 2.15 – Розрахунок припусків і граничних розмірів обробки

 $\varnothing 36^{+0,062}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 36^{+0,062}$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, мкм $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір, мм d_p	Допуск, мкм δ	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
	R_z	T	ρ	ε				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка (після свердління)	40	60	68	–	–	34,494	620	33,874	34,494	–	–
розточування попереднє	50	50	4	370	2·476	35,446	160	35,286	35,446	0,952	1,412
розточування попереднє	30	30	–	–	2·208	35,862	100	35,762	35,862	0,416	0,476
розточування остаточне	10	20	–	40	2·100	36,062	62	36	36,062	0,2	0,238
Всього										1,568	2,126

Загальні припуски $Z_{0\min}$ та $Z_{0\max}$:

$$2Z_{0\min} = 0,952 + 0,416 + 0,2 = 1,568 \quad (\text{мкм});$$

$$2Z_{0\max} = 1,412 + 0,476 + 0,238 = 2,126 \quad (\text{мкм}).$$

Виконуємо перевірку вірності виконаних розрахунків:

$$2Z_{\max3} - 2Z_{\min3} = 238 - 200 = 38 \quad (\text{мкм}); \quad \delta_3 - \delta_4 = 100 - 62 = 38 \quad (\text{мкм});$$

$$2Z_{\max2} - 2Z_{\min2} = 476 - 416 = 60 \quad (\text{мкм}); \quad \delta_2 - \delta_3 = 160 - 100 = 60 \quad (\text{мкм});$$

$$2Z_{\max1} - 2Z_{\min1} = 1412 - 952 = 460 \quad (\text{мкм}); \quad \delta_1 - \delta_2 = 620 - 160 = 460 \quad (\text{мкм}).$$

Таким чином, виконані розрахунки є коректними та не вимагають додаткового уточнення.

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

Таблиця 2.16 – Припуски та міжопераційні розміри

Поверхня $\varnothing 45_{-0,24}^{-0,08}$, $R_a = 1,6$ мкм							
Технологічні переходи обробки	Розрахунковий мінімальний припуск $2Z_{\min}$, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	–	49,36	2000	49,36	51,36	–	–
1. Точіння попереднє	2·1800	45,76	620	45,76	46,38	3,6	4,98
2. Точіння попереднє	2·350	45,06	250	45,06	45,31	0,7	1,07
3. Точіння остаточне	2·150	44,76	160	44,76	44,92	0,3	0,39
Поверхня $\varnothing 60h14$, $R_a = 12,5$ мкм							
Заготовка	–	63,23	2200	63,23	65,43	–	–
1. Точіння однократне	2·1800	59,63	740	59,63	60,37	3,6	5,06
Поверхня $\varnothing 35_{-0,16}$, $R_a = 3,2$ мкм							
Заготовка	–	38,84	1600	38,84	40,44	–	–
1. Точіння попереднє	2·1700	35,44	620	35,44	36,06	3,4	4,38
2. Точіння остаточне	2·300	34,84	160	34,84	35	0,6	1,06

2.10 Призначення режимів різання

Виконаємо аналітичний розрахунок режимів різання для операції точіння поверхні $\varnothing 60$ відповідно до методик, наведених у джерелах [1, 14–17].

Операція 010 – токарна обробка на верстаті з ЧПК, виконання точіння $\varnothing 60$.

Для обробки використовується токарний верстат з ЧПК моделі 16К20Ф3.

Як ріжучий інструмент застосовується підрізний різець, оснащений твердосплавною пластиною марки Т15К6.

Геометрія ріжучої частини інструмента характеризується такими параметрами: головний кут у плані – $\varphi = 45^\circ$, передній кут – $\gamma = 10^\circ$, кут нахилу головної різальної кромки – $\lambda = 0^\circ$, ширина фаски різальної кромки –

$f = 0,5$ мм, радіус заокруглення різальної кромки – $r = 0,03$ мм, радіус вершини різця – $r_v = 0,5$ мм.

Параметри режиму різання визначаємо за нормативними рекомендаціями. Значення подачі приймаємо за довідковими таблицями: для чорнового точіння різцем з розміром державки 16×25 мм та глибиною різання $t = 1,3$ мм подача становить $S = 0,5$ мм/об.

Швидкість різання розраховується за залежністю:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v \text{ [м/хв.],} \quad (2.21)$$

де $C_v = 350$, $x = 0,15$, $y = 0,35$, $m = 0,20$ – коефіцієнт та показники степеня;

$T = 60$ хв. – стійкість інструменту;

K_v – поправковий коефіцієнт;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{rv}, \quad (2.22)$$

де K_{mv} – поправковий коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу заготовки;

K_{lv} – поправковий коефіцієнт, який характеризує стан оброблюваної поверхні;

K_{rv} – поправковий коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу ріжучого інструмента.

Отримаємо

$$K_v = 0,72 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,72 .$$

Швидкість різання:

$$v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1,3^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,72 = 136,2 \text{ (м/хв.)}$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 136,2}{3,14 \cdot 60} = 722 \text{ (об/хв.)} \quad (2.23)$$

Сила різання:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p \text{ [Н]}, \quad (2.24)$$

де $C_p = 350$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = -0,15$ – коефіцієнти і показники степеня.

Поправковий коефіцієнт, що враховує умови різання:

$$K_v = K_{M_p} \cdot K_{v_p} \cdot K_{z_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p}, \quad (2.25)$$

$$K_v = 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,78.$$

Отримаємо

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,3^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 136,2^{-0,15} \cdot 0,78 = 865,5 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання:

$$N_{\rho z} = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = \frac{865,5 \cdot 136,2}{1020 \cdot 60} = 1,9 \text{ (кВт)}. \quad (2.26)$$

Отже

$$N_{\rho z} = 1,9 \text{ кВт} < N_B = 10 \text{ кВт}.$$

Таким чином, обраний верстат є придатним для виконання механічної обробки, оскільки його встановлена потужність перевищує розрахункову потребу.

Аналітичний розрахунок режимів різання для переходу розточування $\varnothing 36^{+0,062}$ [1, 14–17].

Операція 015 – токарна обробка на верстаті з ЧПК, виконання розточування $\varnothing 36^{+0,062}$.

Для обробки використовується токарний верстат з ЧПК моделі 1В320Ф30.

Як ріжучий інструмент застосовується розточувальний різець, оснащений твердосплавною пластиною марки Т15К6.

Геометрія ріжучої частини інструмента характеризується такими параметрами: головний кут у плані – $\varphi = 45^\circ$, передній кут – $\gamma = 10^\circ$, кут нахилу головної різальної кромки – $\lambda = 0^\circ$, ширина фаски різальної кромки – $f = 0,5$ мм, радіус заокруглення різальної кромки – $r = 0,03$ мм, радіус вершини різця – $r_v = 0,5$ мм.

Параметри режиму різання визначаємо за нормативними рекомендаціями. Значення подачі приймаємо за довідковими таблицями: для чорнової обробки різцем з розміром державки 16×25 мм та глибиною різання $t = 2,8$ мм подача становить $S = 0,7$ мм/об.

Швидкість різання розраховується за залежністю:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v \quad [\text{м/хв.}], \quad (2.27)$$

де $C_v = 350$ – коефіцієнт;

$x = 0,15$, $y = 0,35$, $m = 0,20$ – показники степеня;

$T = 60$ хв. – стійкість інструменту;

K_v – поправковий коефіцієнт;

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Dv} \cdot K_{Lv}, \quad (2.28)$$

де K_{mv} – поправковий коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу заготовки;

K_{mv} – поправковий коефіцієнт, який характеризує стан оброблюваної поверхні;

K_{iv} – поправковий коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу ріжучого інструмента.

Отримаємо

$$K_v = 0,72 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,72 .$$

Швидкість різання:

$$v = \frac{350}{60^{0,2} 2,8^{0,15} 0,7^{0,35}} \cdot 0,72 = 107,8 \text{ (м/хв.)}$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 107,8}{3,14 \cdot 36} = 953 \text{ (об/хв.)}$$

Сила різання:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p \text{ [Н]}, \quad (2.29)$$

де $C_p = 300$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = -0,15$ – коефіцієнти і показники степеня.

Поправковий коефіцієнт, що враховує умови різання:

$$K_v = K_{mp} \cdot K_{sp} \cdot K_{ip} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp} ,$$

$$K_v = 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,78 .$$

Отримаємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,8^{1,0} \cdot 0,7^{0,75} \cdot 107,8^{-0,15} \cdot 0,78 = 2485 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{2485 \cdot 107,8}{1020 \cdot 60} = 4,3 \text{ (кВт)}.$$

Отже

$$N_{\text{різ}} = 4,3 \text{ кВт} < N_B = 6,2 \text{ кВт}.$$

Таким чином, обраний верстат є придатним для виконання механічної обробки, оскільки його встановлена потужність перевищує розрахункову потребу.

Розглянемо операцію 020, що передбачає виконання свердління отвору Ø14,6 мм. Обробка здійснюється на верстаті з ЧПК моделі 2P135Ф30. Як ріжучий інструмент використовується спіральне свердло з матеріалом різальної частини зі швидкорізальної сталі P6M5.

Геометричні параметри свердла характеризуються кутом при вершині $2\varphi = 118^\circ$ та кутом нахилу спіралі $\psi = 55^\circ$.

Глибина різання приймається рівною половині діаметра оброблюваного отвору і в даному випадку становить $t = 7,3$ мм.

Подачу встановлено відповідно до діаметра свердла і вона дорівнює $s = 0,26$ мм/об.

Значення швидкості різання визначається за розрахунковою залежністю:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^n S^r} K_v \text{ [м/хв.],} \quad (2.30)$$

де $T = 45$ хв. – стійкість інструменту;

$C_v = 9,8$ – коефіцієнт;

$y = 0,5$, $m = 0,20$, $q = 0,4$ – показники степеня;

K_v – поправковий коефіцієнт;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \quad (2.31)$$

де $K_{mv} = 0,74$ – поправковий коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу заготовки;

$K_{uv} = 1,0$ – поправковий коефіцієнт, який характеризує вплив матеріалу ріжучого інструмента;

$K_{lv} = 0,85$ – поправковий коефіцієнт, який враховує вплив глибини отвору, що свердлиться.

Отримаємо

$$K_v = 0,74 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 0,63$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{9,8 \cdot 14,6^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 0,26^{0,5}} \cdot 0,63 = 16,5 \text{ (м/хв.)}$$

Крутний момент при свердлінні:

$$M = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p \text{ [Н·м]}, \quad (2.32)$$

де $C_M = 0,0345$, $q = 2,0$, $y = 0,8$ – коефіцієнт і показники степеню.

$K_p = 0,78$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки.

Отримаємо

$$M = 10 \cdot 0,0345 \cdot 14,6^{2,0} \cdot 0,26^{0,8} \cdot 0,78 = 19,5 \text{ (Н·м)}.$$

Осьова сила при свердлінні:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p \text{ [Н]}, \quad (2.33)$$

де $C_p = 68$, $q = 1,0$, $y = 0,7$ – коефіцієнт і показники степеню.

Осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 14,6^{1,0} \cdot 0,26^{0,7} \cdot 0,78 = 3016 \text{ (Н)}.$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 16,5}{3,14 \cdot 14,6} = 360 \text{ (об/хв.)}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{M_{sp} n}{9750} = \frac{19,5 \cdot 360}{9750} = 0,72 \text{ (кВт)}. \quad (2.34)$$

Отже

$$N_{pis} = 0,72 \text{ кВт} < N_B = 3,7 \text{ кВт}.$$

Таким чином, обраний верстат є придатним для виконання механічної обробки, оскільки його встановлена потужність перевищує розрахункову потребу.

Для решти переходів режими різання призначимо по нормативам [1, 14-17]. Результати оформимо у вигляді таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Зведена таблиця режимів різання

Найменування операції	Подача S, мм/об	Глибина різання t, мм	Швидкість різання v, м/хв.	Частота обертання n, об/хв.	Сила різання P, Н	Потужність N, кВт
1	2	3	4	5	6	7
Фрезерувально-центрувальна - фрезерувати торці - центрувати отвори	0,15	1,5	170	270	4530	1,2
	0,1	1,0	35,3	1125	1800	0,62
Токарна з ЧПК - точити попередньо - точити остаточно - точити канавку	0,5	1,3	136,2	722	865,5	1,9
	0,3	0,4	56,5	400	770	0,71
	0,5	0,2	58,8	420	330	0,32
Токарно-револьверна з ЧПК - свердлити - точити - розточити однократно	0,35	16,4	24,8	220	1240	5,02
	0,6	1,8	42,4	225	5050	3,5
	0,3	5	151,7	1050	3200	5,93
- розточити отвір попередньо - розточити канавку - розточити канавку - розточити отвір остаточно	0,7	2,8	107,8	953	2485	4,3
	0,15	4	176,9	1280	1600	4,62
	0,12	0,5	186	1600	184	0,56
	0,08	0,25	186,6	1650	640	0,195
Свердлильна з ЧПК - свердлити - зенкерувати - нарізати різь - зенкерувати - зенкувати - зенкувати	0,26	7,3	16,5	360	3016	0,72
	0,6	0,7	25,3	552	244	0,28
	0,5	1,5	27,9	608	275	1,71
	0,6	1,0	25,1	444	375	0,38
	0,7	1,25	23,1	359	542	0,49
	0,7	1,75	22,6	300	811	0,64
Свердлильна - свердлити	0,2	4,75	23,3	780	2900	0,73
Токарна з ЧПК - точити	0,06	0,15	186,6	1320	62,4	0,19
Токарна з ЧПК - точити	0,05	0,16	186,6	1320	62,4	0,19

2.11 Математичне моделювання ТП та оптимізація режимів різання

Для оптимізації режимів використано комп'ютерну програму [1].
Результати виконаної роботи показано на рис. 2.12-2.13.

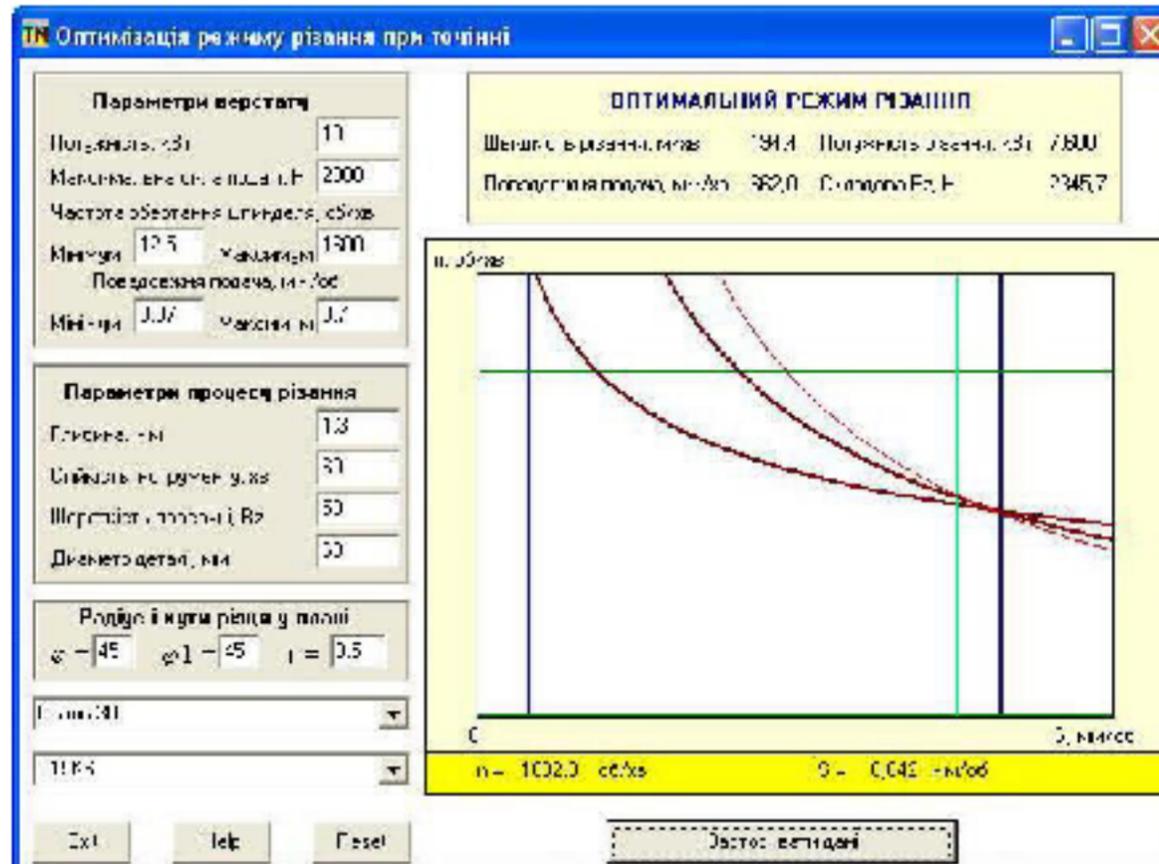


Рисунок 2.12 – Оптимізація режимів різання (точіння однократне $\varnothing 60$)

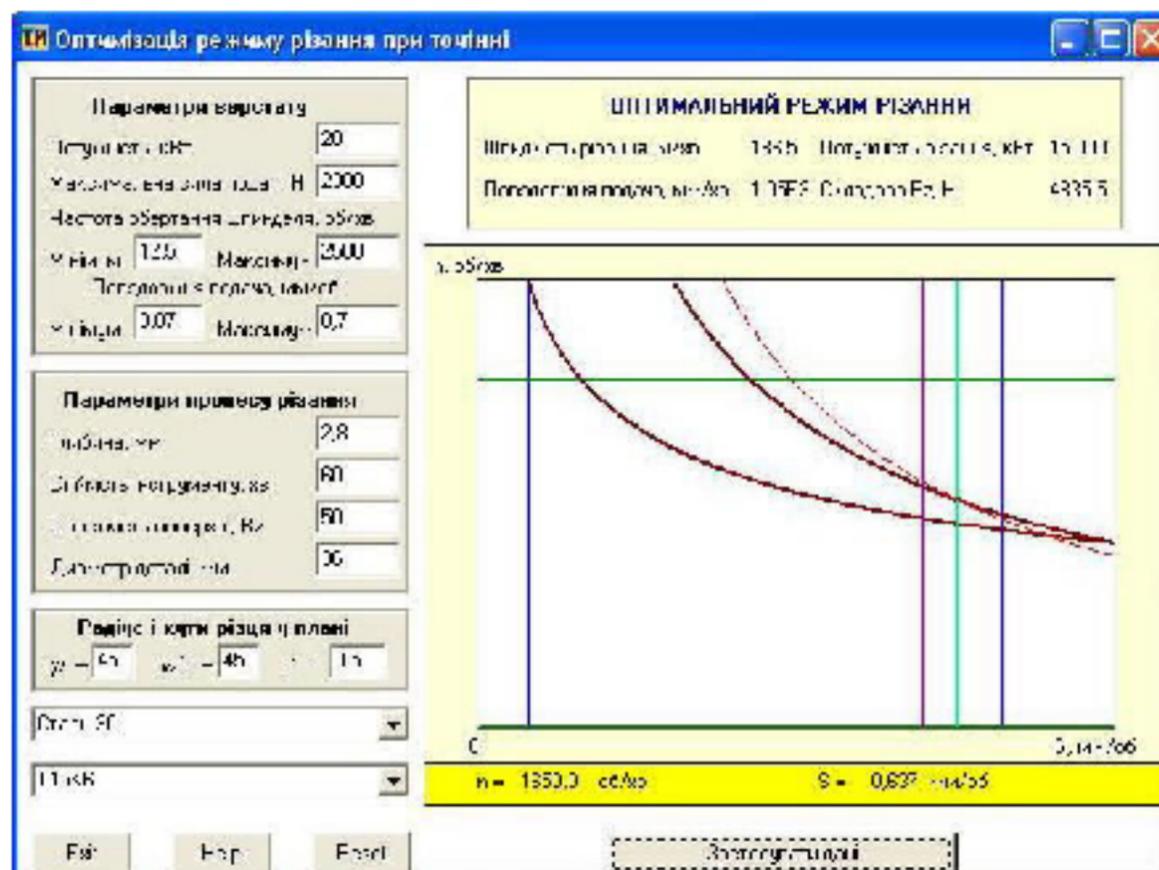


Рисунок 2.13 – Оптимізація режимів різання (розточування попереднє $\varnothing 36$)

Дані, отримані за допомогою програми оптимізації (рис. 2.12–2.13), незначно відрізняються від прийнятих режимів різання. Це дозволяє забезпечити максимальну продуктивність обробки на верстатах з ЧПК.

2.12 Визначення технічних норм часу

Штучно-калькуляційний часу $T_{шт-к}$ [1, 2, 14-17]:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт} \text{ [хв.]}, \quad (2.35)$$

де $T_{шт}$ – штучний час;

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{об} + T_{всп} \text{ [хв.]}, \quad (2.36)$$

де $T_{п-з}$ – підготовчо-заклучний час;

n – кількість деталей в партії.

$$n = \frac{N \cdot t}{\Phi} = \frac{3000 \cdot 6}{250} = 72 \text{ (шт.)},$$

де N – програма випуску;

Φ – кількість робочих днів у році;

t – кількість днів запасу на складі;

T_o – основний час.

Основний час:

$$t_m = \frac{L_{р.х}}{S_o n} \text{ [хв.]},$$

де $L_{р.х}$ – довжина робочого ходу;

S_o – подача;

n – частота обертання;

$T_{доп}$ – допоміжний час.

Допоміжний час:

$$T_{доп} = T_{у.с.} + T_{з.о.} + T_{уп} + T_{из} \text{ [хв.]}, \quad (2.37)$$

де $T_{у.с.}$ – час на встановлення та зняття деталі, хв.;

$T_{з.о.}$ – час на закріплення та відкріплення деталі, хв.;

$T_{уп}$ – час на заходи керування, хв.;

$T_{из}$ – час на вимірювання деталі, хв.;

$T_{об}$ – час на обслуговування робочого місця, хв.

Час на обслуговування робочого місця $T_{об}$ складається з часу на організаційне обслуговування $T_{орг}$ та часу на технічне обслуговування робочого місця $T_{тех}$:

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг} \text{ [хв.]}, \quad (2.38)$$

де $T_{відп}$ – час перерв на відпочинок та особисті потреби, хв.

Результати розрахунків норм часу по операціям представлені в табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Технічні норми часу по операціям, хв.

Номер і найменування операції	T_o	$T_{доп}$			$T_{оп}$	$T_{об}$		$T_{відп}$	$T_{шт}$	$T_{п-з}$	n	$T_{шт-к}$
		$T_{у.с.+T_{з.о.}}$	$T_{уп}$	$T_{из}$		$T_{тех}$	$T_{орг}$					
005 Фрезерувально-центрувальна	0,57	0,142	0,167	0,11	0,98	0,015	0,014	0,089	1,107	25	72	1,45
010 Токарна з ЧПК	1,85	0,27			2,12	0,212			2,33	19,4	72	2,6
015 Токарно-револьверна з ЧПК	3,73	0,33			4,06	0,37			4,43	19,4	72	4,7
020 Свердлильна з ЧПК	0,99	0,088			1,078	0,09			1,168	23,25	72	1,49
025 Свердлильна	0,86	0,266	0,41	0,033	1,57	0,094			1,661	14	72	1,86
035 Токарна з ЧПК	1,55	0,27			1,82	0,182			2,002	19,4	72	2,27
040 Токарна з ЧПК	1,48	0,47	0,13	0,144	2,22	0,044	0,044	0,20	2,512	11	72	2,66

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОДВИГУНА

3.1 Вступ та постановка мети роботи

У сучасному машинобудуванні гідравлічні приводи посідають одне з провідних місць та широко застосовуються у складі мобільної техніки й різноманітного технологічного обладнання. Багато машин і механізмів оснащуються гідроприводами завдяки їх надійності, компактності та можливості передавання значних зусиль.

Деталь «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020», для якої розроблено удосконалений ТП механічної обробки, є конструктивним елементом гідроциліндра, що входить до складу гідравлічного приводу.

Основним функціональним вузлом виконавчого контуру гідроприводу є гідравлічний двигун у поєднанні з насосом. Саме цей агрегат забезпечує перетворення енергії потоку робочої рідини, створеного насосом, у механічну енергію з параметрами, необхідними для стабільної та ефективної роботи технологічної машини. За характером руху вихідної ланки гідродвигуни поділяються на дві основні групи: двигуни поступального руху – гідроциліндри, та двигуни обертального руху – гідромотори.

Масове впровадження гідравлічних приводів зумовлює потребу в автоматизації розрахунків основних параметрів гідродвигунів. Це дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці фахівців, які займаються проектуванням, виготовленням, експлуатацією та технічним обслуговуванням машин і обладнання з гідроприводом [18–24].

Метою даної роботи є створення комп'ютерної програми для автоматизованого визначення параметрів гідравлічних двигунів (гідроциліндрів і гідромоторів) за заданими вхідними даними. Запропонований програмний продукт може бути використаний інженерами-практиками, а також студентами під час виконання розрахунків у галузі гідравліки та гідроприводів, зокрема при виконанні курсових робіт з дисципліни «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи».

Методичні рекомендації та алгоритми визначення параметрів гідродвигунів і їх вибору для виконавчого контуру гідроприводу наведені у відповідних джерелах [18, 19, 21, 22].

3.2 Алгоритм розрахунку параметрів і вибір гідроциліндра

При розрахунку гідроприводу з гідроциліндром вибирається залежно від заданого робочого циклу необхідна схема гідроциліндра (рис. 3.1).

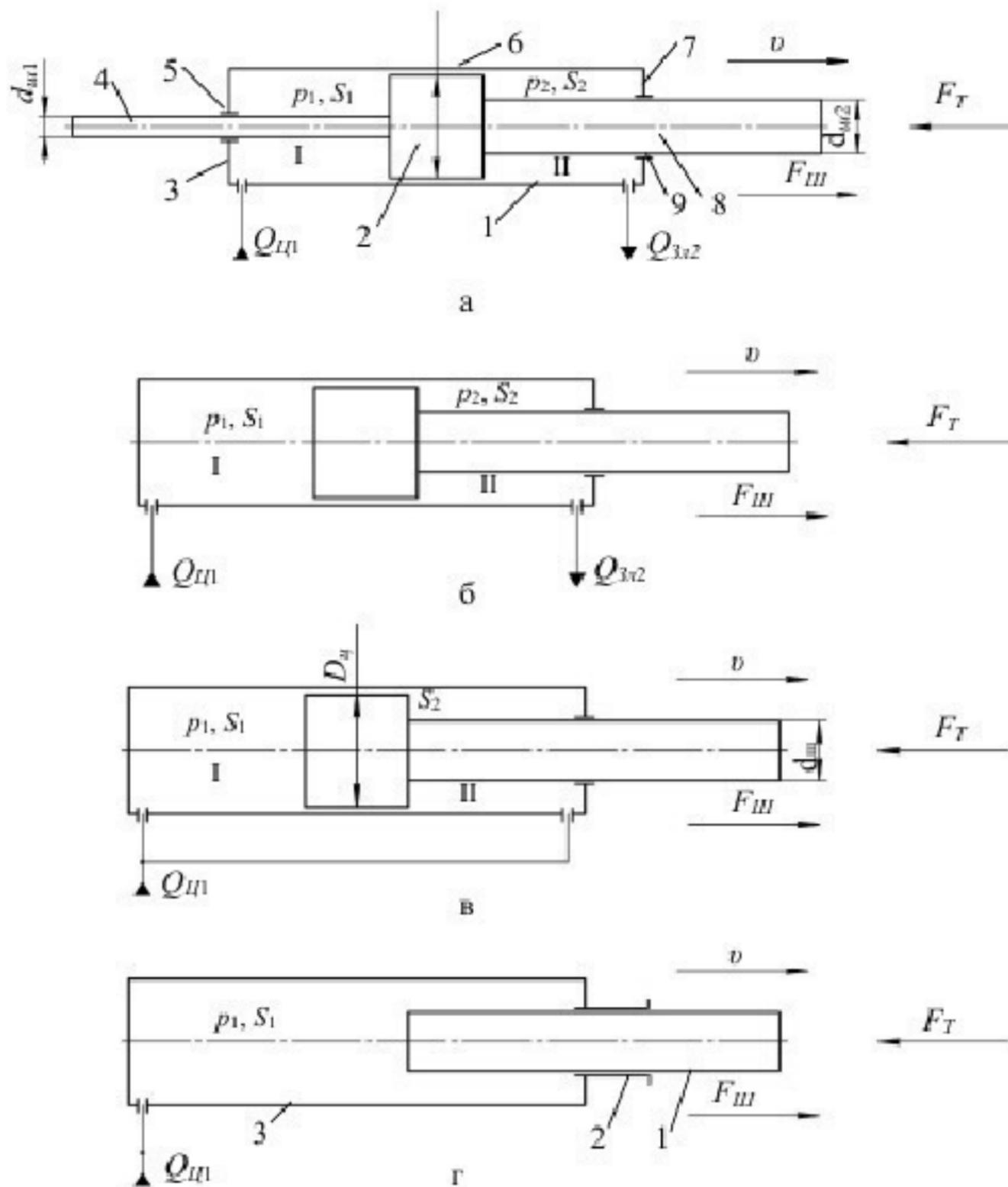


Рисунок 3.1 – Схеми гідроциліндрів: а – несиметричний з двобічним штоком; б – несиметричний з одnobічним штоком; в – диференційний; г – плунжерний

Ефективна робоча площа поршня гідроциліндра визначається відповідно до прийнятої розрахункової схеми (див. рис. 3.1). З цією метою складається рівняння рівноваги сил, що діють на поршень у процесі роботи гідроциліндра. Для гідроциліндра несиметричної конструкції з одностороннім штоком, який широко застосовується у мобільній техніці та технологічному обладнанні (див. рис. 3.1, б), доцільно використовувати співвідношення, наведені в [18, 19, 21, 22]:

$$F_{ш} - F_{т} - b_{ш} \cdot v - F_{тф}(\nu, p_1, p_2, \tau, F_{тф0}) - G \cdot \cos \alpha = 0 \quad (3.1)$$

або

$$F_{ш} = F_{т} = p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2 - b_{ш} \cdot v - F_{тф}(\nu, p_1, p_2, \tau, F_{тф0}) - G \cdot \cos \alpha. \quad (3.2)$$

Рівняння 3.2 після перетворень можна привести до вигляду (при $G \cdot \cos \alpha = 0$):

$$p_1 \cdot S_1 \cdot \left(1 - \frac{p_2 \cdot S_2}{p_1 \cdot S_1}\right) = F_{ш \max} \cdot \left(1 + \frac{b_{ш} \cdot v + F_{тф0}}{F_{ш \max}}\right), \quad (3.3)$$

де $\left(1 - \frac{p_2 \cdot S_2}{p_1 \cdot S_1}\right) = \eta_{рех}$ – ККД режиму руху поршня гідроциліндра, який

враховує втрати енергії, викликані наявністю протитиску p_2 (при $p_1 > p_2$);

$F_{ш \max}$ – максимальне значення навантаження на шток ($F_{ш \max} = F_{т \max}$).

Позначимо

$$S_2 / S_1 = k_{ш}; \quad p_2 / p_1 = k_p; \quad \frac{b_{ш} \cdot v + F_{тф0}}{F_{ш \max}} = k_b.$$

Коефіцієнт $k_{ш}$ характеризує ступінь несиметричності гідроциліндра та застосовується для визначення ефективної площі поршня $S_2 = S_1 \cdot k_{ш}$, а також площі поперечного перерізу штока $S_{шт} = S_1 - S_2 = S_1 \cdot (1 - k_{ш})$. Рекомендовані межі $k_{ш} = 0,5 \dots 0,85$.

Коефіцієнт k_p використовується для встановлення величини робочого тиску p_2 як частки тиску p_1 , $p_2 = p_1 \cdot k_p$. Таким чином, задання значення коефіцієнта k_p дозволяє попередньо оцінити частину тиску p_1 , що втрачається у гідросистемі виконавчого контуру як у напірній, так і у зливній лініях, $k_p = 0,10 \dots 0,25$.

Коефіцієнт k_b враховує вплив сил в'язкого та сухого тертя і визначається як частка від основної силової дії $F_{III \max}$, $k_b = 0,08 \dots 0,15$.

З урахуванням прийнятих позначень рівняння (3.3) може бути приведене до такого вигляду:

$$S_1 = \frac{F_{III \max} \cdot (1 + k_b)}{p_{1,p} \cdot (1 - k_{II} \cdot k_p)} \text{ [м}^2\text{]}. \quad (3.4)$$

Для визначення параметра S_1 за залежністю (3.4) попередньо задають значення робочого тиску $p_{1,p}$, використовуючи відповідні довідкові дані [18, 19], при цьому величина тиску вибирається залежно від заданого значення $F_{III \max}$.

Аналогічним чином формуються розрахункові залежності і для гідроциліндрів, виконаних за іншими конструктивними схемами (див. рис. 3.1).

На наступному етапі виконується визначення розрахункового діаметра гідроциліндра $D_{Црог}$:

$$D_{Црог} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_1} \text{ [м]}. \quad (3.5)$$

Розраховане значення $D_{Црог}$ округляється до найближчого стандартного розміру $D_{Цст}$ відповідно до рядів типових значень або за довідниковими матеріалами [18, 19].

У випадку, коли отриманий діаметр $D_{Црог}$ істотно відрізняється від стандартних величин $D_{Цст}$, виконується коригування вихідного параметра $p_{1,p}$

або обраної конструктивної схеми гідроциліндра з подальшим повторним виконанням розрахунків за залежностями (3.1–3.5).

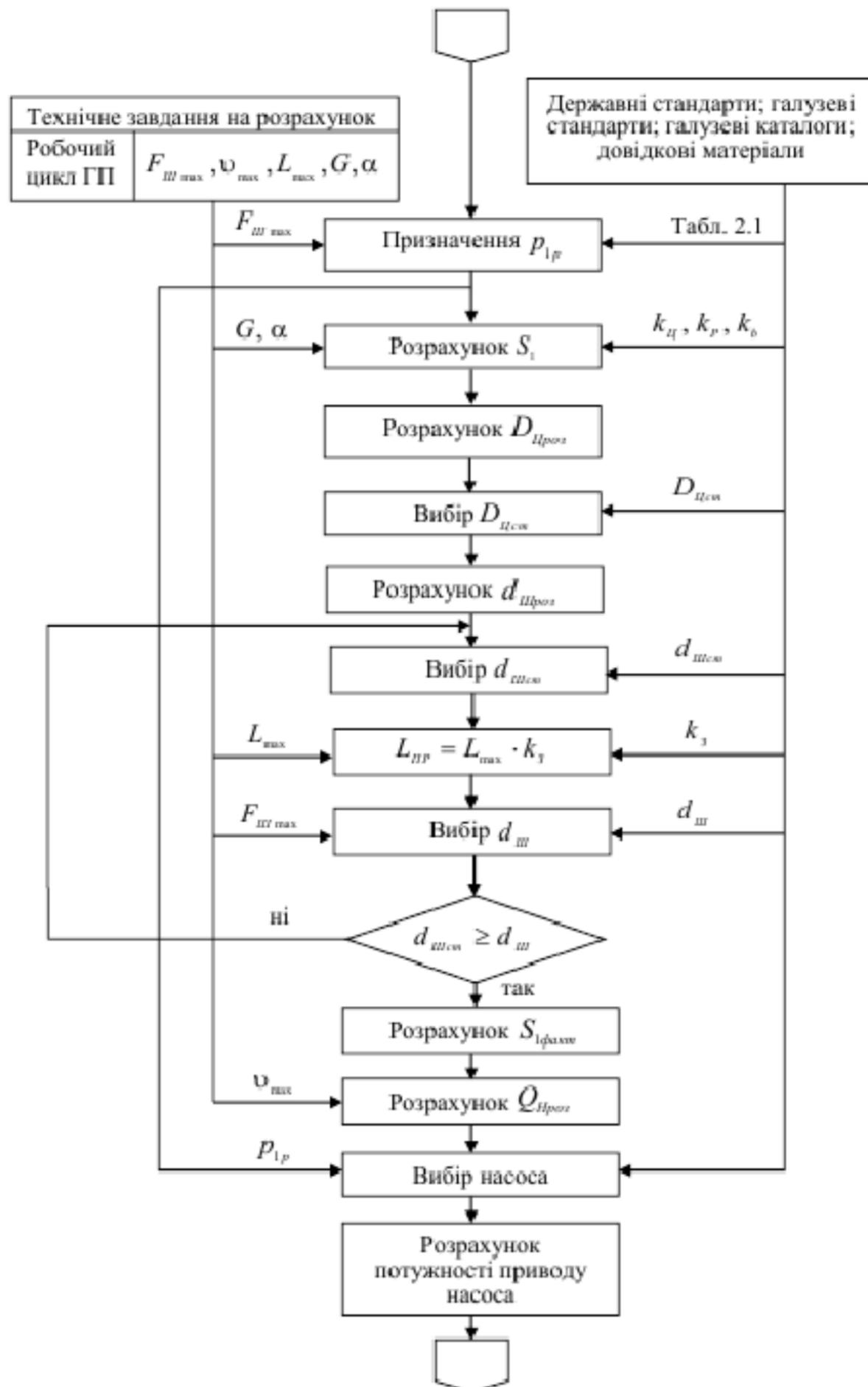


Рисунок 3.2 – Алгоритм розрахунку гідроприводу з гідроциліндром

Після цього здійснюється визначення діаметра штока $d_{шроз}$:

$$d_{шроз} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{ш}} \text{ [М]}, \quad (3.6)$$

де $S_{III} = S_1 \cdot (1 - k_{II})$.

На наступному етапі за матеріалами галузевих каталогів підбирається стандартне (нормалізоване) значення відповідного розміру d_{IIIcv} .

За потреби після цього виконується перевірний розрахунок гідроциліндра на стійкість з урахуванням заданого ходу поршня L_{max} та коефіцієнта закріплення k_3 .

Послідовність виконання розрахунків гідроприводу з гідроциліндром подано у вигляді алгоритму на рис. 3.2.

Позначення, що використовуються у формулах (3.1)-(3.6) та на рис. 3.2 розшифровуються в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Прийняті позначення

Позначення	Параметр
1	2
$F_{III max}$	максимальне значення навантаження на шток гідроциліндра
v_{max}	максимальна швидкість руху поршня гідроциліндра
L_{max}	максимальний хід поршня за конструкцією
G	вага вузлів, які переміщуються поршнем гідроциліндра під кутом α до горизонту
p_{1p}	робочий тиск в гідроприводі
S_1	розрахункова площа поршня гідроциліндра
k_{II}	коефіцієнт, який визначає несиметричність гідроциліндра
k_p	коефіцієнт, який визначає втрати тиску у гідросистемі виконавчого контуру в шляхових і місцевих опорах у нагнітальній і зливній магістралях
k_b	коефіцієнт, який визначає сили в'язкого і сухого тертя як частку сили максимального навантаження на шток гідроциліндра
D_{IIpov}	діаметр поршня гідроциліндра розрахунковий
D_{IIcv}	стандартне значення діаметра поршня гідроциліндра
d_{IIIpov}	діаметр штока гідроциліндра розрахунковий
d_{IIIcv}	стандартне значення діаметра штока гідроциліндра
L_{IIIp}	приведений хід поршня
k_3	коефіцієнт, який характеризує спосіб закріплення гідроциліндра

Продовження таблиці 3.1

1	2
$d_{шт}$	діаметр штока, визначений з умови стійкості штока за довідниковою номограмою
$S_{1\text{ факт}}$	ефективна площа поршня гідроциліндра
$Q_{гроз}$	розрахункова подача насоса

3.3 Алгоритм розрахунку параметрів і вибір гідромотора

При розрахунку гідромотора необхідно визначити характерний об'єм $q'_{гроз}$, або ж робочий об'єм $q_{гроз} = 2 \cdot \pi \cdot q'_{гроз}$ гідромотора. Для цього використовується рівняння моментів сил на валу гідромотора (аналогічне рівнянню 3.1):

$$M_{кр} - M_{т} - b_M \cdot \omega - M_{тф0}(\omega, p_1, p_2, \tau, M_{тф0}) = 0. \quad (3.7)$$

Теоретичний крутний момент $M_{кр}$ на валу гідромотора

$$M_{кр} = (p_1 - p_2) \cdot q'_M, \quad (3.8)$$

де p_1, p_2 – тиск в лініях нагнітання і зливу відповідно.

Тоді рівняння (3.7) можна перетворити до такого вигляду:

$$(p_1 - p_2) \cdot \frac{q_M}{2\pi} = M_{т\max} \cdot \left(1 + \frac{b_M \cdot \omega + M_{тф0}}{M_{кр\max}} \right). \quad (3.9)$$

У результаті послідовних алгебраїчних перетворень рівняння (3.9) отримаємо розрахункове значення робочого об'єму $q_{гроз}$, на підставі якого здійснюється вибір типорозміру гідромотора:

$$q_{гроз} = 2\pi \cdot \frac{M_{кр\max} \cdot (1 + k_{bm})}{p_{1p} \cdot (1 - k_p)} [\text{М}^3], \quad (3.10)$$

$$\text{де } k_p = p_2 / p_1; \quad k_{\text{вн}} = \frac{b_M \cdot \omega + M_{\text{Тер 0}}}{M_{\text{КР max}}}.$$

Величина p_{1p} робочого тиску призначається згідно з довідниковими таблицями [18, 19].

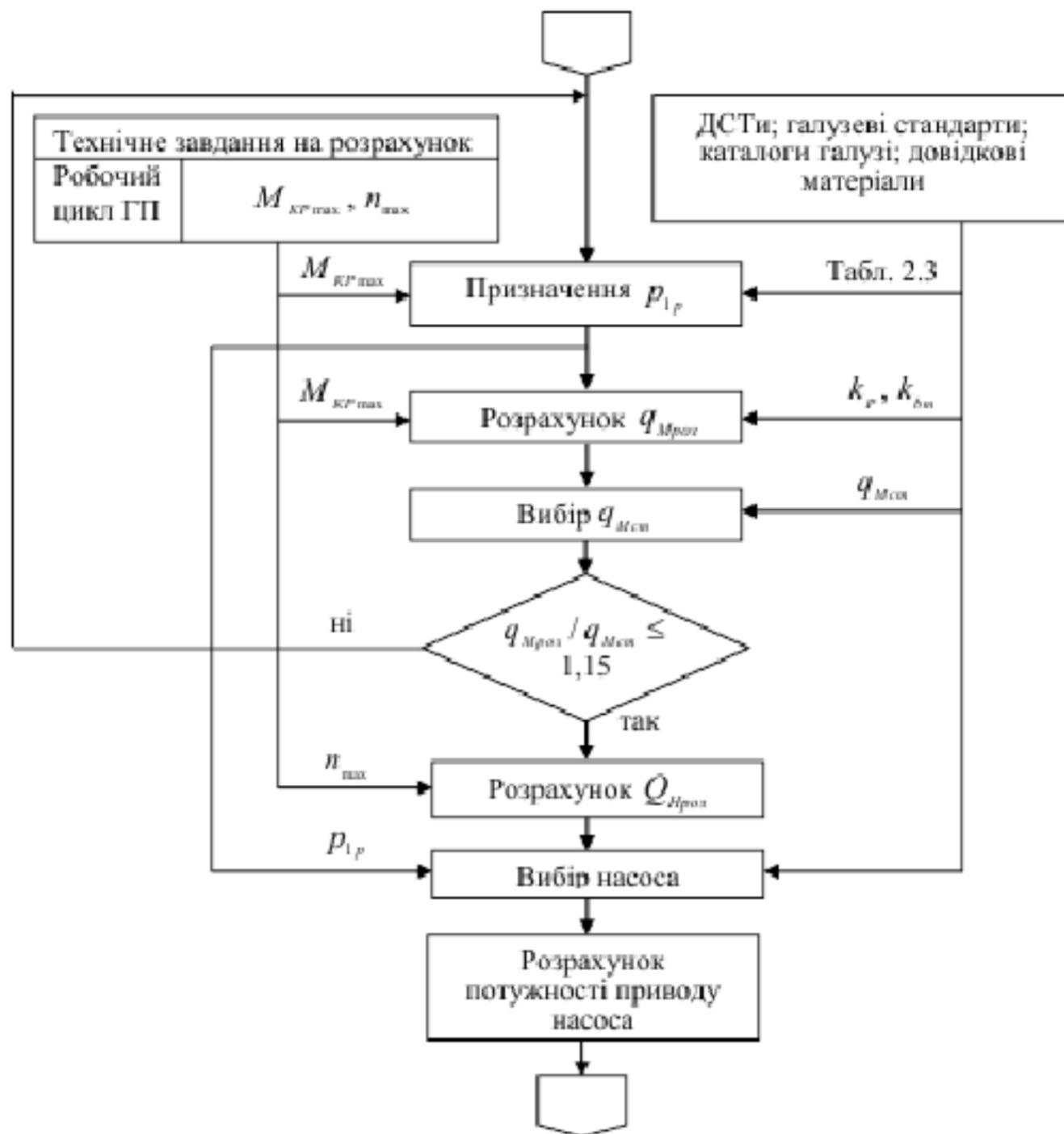


Рисунок 3.3 – Алгоритм розрахунку гідроприводу з гідромотором

Коефіцієнт визначає втрати тиску $k_p = 0,10 \dots 0,25$.

Коефіцієнт $k_{\text{вн}}$ характеризує вплив в'язкого та сухого тертя і визначає відповідні моменти як частку від розрахункового моменту $M_{\text{КР max}}$; $k_{\text{вн}} = 0,08 \dots 0,15$.

На підставі обчисленого значення $q_{M \text{prod}}$ здійснюється вибір параметра $q_{M \text{std}}$, що відповідає серійному типорозміру гідромотора, прийнятому для даної

галузі, або визначається за довідковими джерелами [18, 19]. Зазвичай виконується умова $q_{Мсш} \geq q_{Мроз}$, причому вибір здійснюється таким чином, щоб виконувалася нерівність $q_{Мсш} / q_{Мроз} \leq 1,15$. У разі невиконання цієї умови розглядається можливість зміни вихідного параметра p_{1p} , після чого розрахунок повторюється.

Послідовність виконання розрахунків гідроприводу з гідромотором подано у вигляді алгоритму на рис. 3.3.

Позначення, що використовуються у формулах (3.7)-(3.10) та на рис. 3.3 розшифровуються в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Прийняті позначення

Позначення	Параметр
$M_{КР\ max}$	максимальний крутний момент на валу гідромотора
n_{\max}	максимальна частота обертання вала гідромотора
p_{1p}	робочий тиск в гідроприводі
$q_{Мроз}$	розрахунковий робочий об'єм гідромотора
k_p	коефіцієнт, який визначає втрати тиску у гідросистемі виконавчого контуру в шляхових і місцевих опорах у нагнітальній і зливній магістралях
$k_{бу}$	коефіцієнт, який визначає моменти в'язкого і сухого тертя як частку максимального технологічного моменту на валу гідромотора
$q_{Мсш}$	стандартне значення робочого об'єму, що відповідає серійному типорозміру гідромотора для даної галузі
$Q_{Гроз}$	розрахункова подача насоса

3.4 Комп'ютерна програма для автоматизації розрахунку параметрів гідродвигуна

Створена комп'ютерна програма «Розрахунок параметрів гідродвигуна» призначена для визначення основних розрахункових характеристик гідравлічних двигунів – гідроциліндрів і гідромоторів – на основі заданих вихідних даних. До таких даних належать величина навантаження, робочий

тиск у гідроприводі, а також коефіцієнти, що враховують втрати тиску в елементах гідросистеми й втрати енергії на в'язке та сухе тертя в гідродвигуні [21–23].

Після запуску програмного продукту користувачеві пропонується обрати відповідний режим роботи шляхом переходу на вкладку «Розрахунок параметрів гідроциліндра» або «Розрахунок параметрів гідромотора».

Зовнішній вигляд інтерфейсу програми при виборі режиму розрахунку гідроциліндра наведено на рисунку 3.4.

Розрахунок параметрів гідроциліндра

Розрахунок параметрів гідроциліндра | Розрахунок параметрів гідромотора

S_1 S_2

P_1 P_2 F_T

Вхідні дані:

Навантаження на шток гідроциліндра, F_{1max} кН

Коефіцієнт $k_{ц}$, який визначає несиметричність гідроциліндра
($k_{ц} = 0,5 \dots 0,95$, менші значення брати при роботі штока на стиск)

Коефіцієнт $k_{р}$, який визначає втрати тиску в гідросистемі
(рекомендовано $k_{р} = 0,10 \dots 0,25$)

Коефіцієнт $k_{т}$, який визначає втрати на віязке та сухе тертя в гідродвигуні
(рекомендовано $k_{т} = 0,08 \dots 0,16$)

Робочий тиск в гідроприводі, p_r МПа

Вихідні дані:

Розрахунковий діаметр гідроциліндра, $D_{ц\text{ роз}}$ $\times 10^{-3}$ м

Стандартне значення діаметра гідроциліндра, $D_{ц\text{ ст}}$ $\times 10^{-3}$ м

Ефективна площа поршня, S_1 $\times 10^{-4}$ м²

Розрахунковий діаметр штока, $d_{ц\text{ роз}}$ $\times 10^{-3}$ м

Стандартне значення діаметра штока, $d_{ц\text{ ст}}$ $\times 10^{-3}$ м

Площа поршня зі сторони штока, S_2 $\times 10^{-4}$ м²

Параметри гідроциліндра:

$F_{Tmax} = 45$ кН, $p_r = 16$ МПа,
 $D_{ц} = 80$ мм, $d_{ц} = 50$ мм.

Рисунок 3.4 – Інтерфейс програми для розрахунку параметрів гідроциліндра

У цьому режимі необхідно ввести такі початкові параметри: навантаження, що діє на шток гідроциліндра; коефіцієнт, який характеризує конструктивну несиметричність гідроциліндра; коефіцієнт втрат тиску в

гідросистемі; коефіцієнт, що враховує втрати на в'язке та сухе тертя; робочий тиск у гідроприводі, значення якого програма автоматично рекомендує залежно від прикладеного навантаження.

За результатами розрахунку програма формує вихідні дані, що містять: розрахунковий та стандартний діаметри поршня гідроциліндра; ефективну площу поршня; розрахункове і нормалізоване значення діаметра штока; площу поршня зі сторони штока. Передбачена також можливість ручного задання стандартних діаметрів поршня і штока з автоматичним перерахунком усіх пов'язаних параметрів.

Інтерфейс програми у режимі «Розрахунок параметрів гідромотора» наведено на рисунку 3.5.

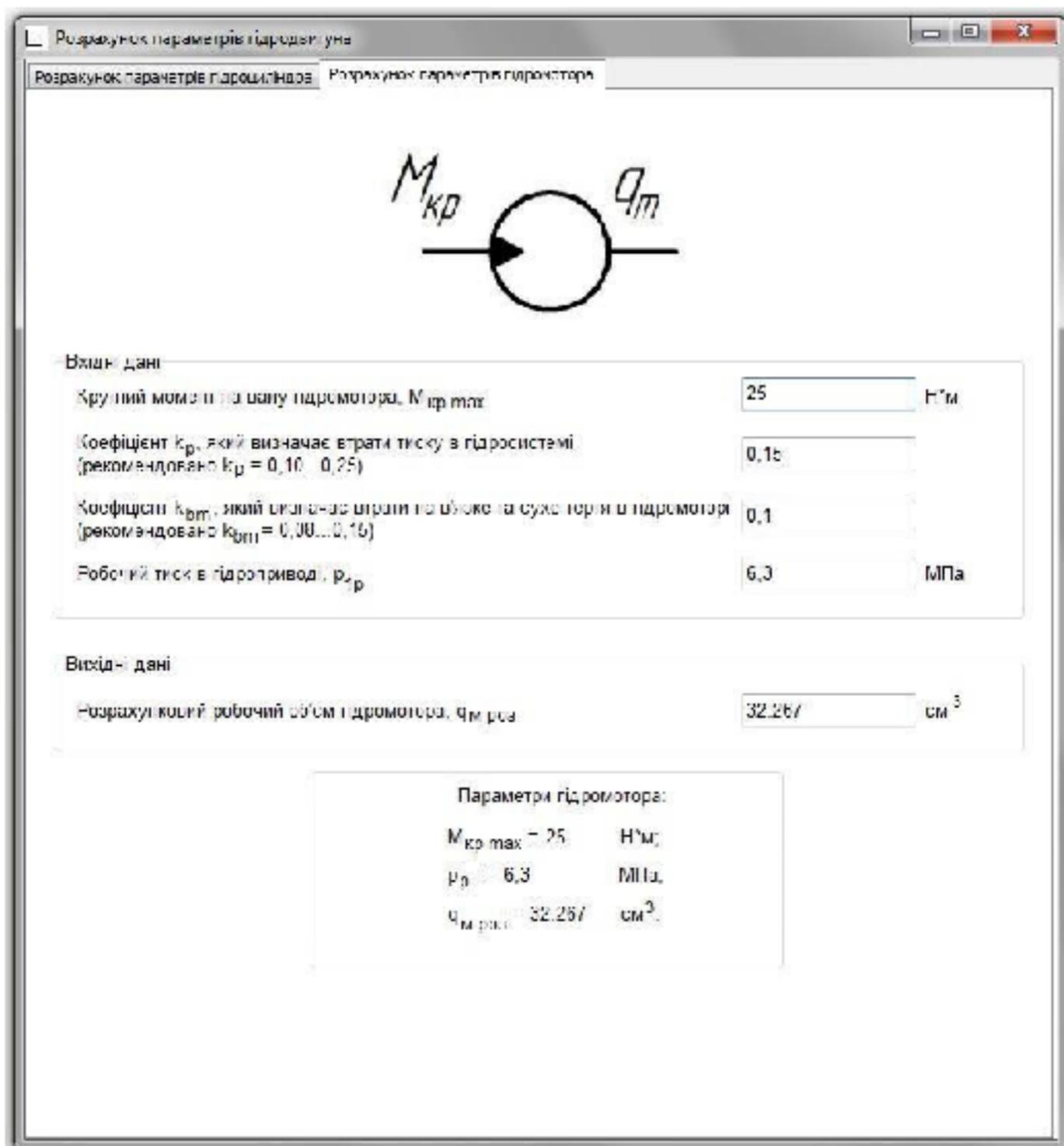


Рисунок 3.5 – Інтерфейс програми для розрахунку параметрів гідромотора

Для виконання розрахунків у цьому режимі користувачеві необхідно ввести такі вихідні дані: крутний момент на валу гідромотора; коефіцієнт втрат тиску в гідросистемі; коефіцієнт, що враховує втрати на в'язке та сухе тертя в гідромоторі; робочий тиск гідроприводу, який програма автоматично пропонує відповідно до заданого крутного моменту.

У результаті обчислень користувач отримує значення розрахункового робочого об'єму гідромотора.

3.5 Висновки

У роботі було вдосконалено алгоритм розрахунків та створено комп'ютерну програму, яка забезпечує визначення основних параметрів гідравлічних двигунів, зокрема гідроциліндрів і гідромоторів, на основі заданих вихідних даних: навантаження, робочого тиску в гідроприводі та коефіцієнтів, що враховують втрати тиску в гідросистемі та енергії на тертя в гідродвигуні. Програма відрізняється зручним інтерфейсом, містить необхідні довідкові дані й може бути ефективно використана інженерами та студентами для проведення розрахунків у галузі гідравліки та гідроприводів.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОЦИЛІНДРА Н.065.15.020»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Розрахунок приведеної програми виконується згідно формули [2, 25]:

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{np,i} = N_{p,np} \cdot K_{p,np} + N_1 \cdot K_{np,1} + N_2 \cdot K_{np,2} + N_3 \cdot K_{np,3} + N_4 \cdot K_{np,4} \text{ [шт.]}, \quad (4.1)$$

де $N_{p,np}$ – програма випуску деталі-представника; N_1, N_2, N_3 – програма випуску окремих деталей; K_{np} – загальний коефіцієнт приведення.

У цьому випадку використано ще три додаткові деталі, інформація про які наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика деталей приведеної програми

	Програма випуску, шт.												Маса, кг	
Деталь-представник	12000												1,31	
Деталь 1	30000												0,7	
Деталь 2	4000												1,5	
Деталь 3	5000												2,6	
Кількість поверхонь відповідного квалітету IT, шт.														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Деталь-представник	0	0	0	0	3	1	2	1	2	32	1	3		
Деталь 1	0	1	0	3	0	4	0	0	0	10	0	0		
Деталь 2	0	1	0	8	9	12	0	4	8	0	0	0		
Деталь 3	0	6	0	4	3	0	0	10	0	6	0	0		
Кількість відповідних шорсткостей Ra (мкм), шт.														
	0,16	0,32	0,8	1,25	3,2	6,3	12,5	25						
Деталь-представник	0	0	0	2	2	5	36	0						
Деталь 1	1	0	3	0	4	0	0	10						
Деталь 2	1	0	8	9	12	0	4	8						
Деталь 3	6	0	4	3	0	0	10	6						

Загальний коефіцієнт приведення:

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

де K_1 – коефіцієнт приведення за масою;

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

де m_{np} – маса представника;

m_i – маса деталі розглядуваного виробу;

$$K_1^I = \sqrt[3]{\left(\frac{0,7}{1,31}\right)^2} = 0,66;$$

$$K_1^{II} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,5}{1,31}\right)^2} = 1,09;$$

$$K_1^{III} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,6}{1,31}\right)^2} = 1,26.$$

K_2 – коефіцієнт приведення за серійністю;

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

де N_{np} – програма випуску деталі-представника;

N_i – програма випуску i -ої деталі;

$\alpha = 0,15$ – для серійного машинобудування;

$$K_2^I = \left(\frac{12000}{30000} \right)^{0,15} = 0,78 ;$$

$$K_2^{II} = \left(\frac{12000}{4000} \right)^{0,15} = 0,96 ;$$

$$K_2^{III} = \left(\frac{12000}{5000} \right)^{0,15} = 1,25 .$$

K_3 – коефіцієнт приведення за складністю;

$$K_3 = \left(\frac{\overline{K_{Ti}}}{K_{Tnp}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{R_{ai}}{R_{np}} \right)^{\alpha_2} = \frac{(\overline{K_{Ti}})^{\alpha_1}}{(K_{Tnp})^{\alpha_1}} \cdot \frac{(R_{ai})^{\alpha_2}}{(R_{np})^{\alpha_2}}, \quad (4.5)$$

де K_{Ti} – середній квалітет і-ої деталі;

R_{ai} – середня шорсткість і-ої деталі.

$$R_{anp}=10,0; \quad K_{Tnp}=13,51;$$

$$R_{a1}=14,74; \quad K_1=11,67;$$

$$R_{a2}=7,29; \quad K_2=10,07;$$

$$R_{a3}=9,76; \quad K_3=10,31.$$

$$(K_{Tnp})^{\alpha_1} = 0,749 ; \quad (R_{np})^{\alpha_2} = 0,95 ;$$

$$(K_{T1})^{\alpha_1} = 0,933 ; \quad (R_{a1})^{\alpha_2} = 0,95 ;$$

$$(K_{T2})^{\alpha_1} = 1,0126 ; \quad (R_{a2})^{\alpha_2} = 0,9771 ;$$

$$(K_{T3})^{\alpha_1} = 1,0138 ; \quad (R_{a3})^{\alpha_2} = 0,9524 .$$

$$K_3^I = \frac{0,933}{0,749} \cdot \frac{0,95}{0,95} = 1,25 ;$$

$$K_3^{II} = \frac{1,0186}{0,749} \cdot \frac{0,9771}{0,95} = 1,4 ;$$

$$K_3^{III} = \frac{1,0138}{0,749} \cdot \frac{0,9524}{0,95} = 1,36 .$$

Отримали $K_{np1} = 0,66 \cdot 0,78 \cdot 1,25 = 0,64$;

$$K_{np2} = 1,09 \cdot 0,96 \cdot 1,4 = 1,465$$
 ;
$$K_{np3} = 1,26 \cdot 1,25 \cdot 1,36 = 2,14$$
 .

Отже, приведена програма:

$$N_{np} = 12000 + 30000 \cdot 0,64 + 4000 \cdot 1,465 + 5000 \cdot 2,14 = 47760 \text{ (шт.)}$$

Результати розрахунків зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Номер виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнти приведення				Приведена програма, шт.
			K_1	K_2	K_3	K_{np}	
Деталь-представник	12000	1,31	1	1	1	1	12000
Деталь 1	30000	0,7	0,66	0,78	1,25	0,64	19200
Деталь 2	4000	1,5	1,09	0,96	1,4	1,465	5860
Деталь 3	5000	2,6	1,26	1,25	1,36	2,14	10700
Всього							47760

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

4.2.1 Визначення кількості верстатів

Кількості верстатів [2, 25]:

$$C = \frac{N_{np} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot \Phi_d}, \quad (4.6)$$

де N_{np} – приведена річна програма випуску деталей;

$T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час;

Φ_d – дійсний фонд часу роботи обладнання.

Штучно-калькуляційний час був розрахований в попередніх пунктах.

Наведемо значення $T_{шт-к}$, T_o в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Норми часу

Модель верстату	T_o , хв.	$T_{шт-к}$, хв.
MP-76M	0,57	1,45
16K20Ф3	1,85	2,6
1B320Ф30	3,73	4,7
2P135Ф3	0,99	1,49
2H118	0,86	1,86
МК6801Ф3	1,55	2,27
МК6801Ф3	1,48	2,66

Підставивши значення в формулу (4.6), отримаємо:

- для MP-76M: $C = \frac{47760 \cdot 1,45}{60 \cdot 4060} = 0,28$, $C_{пр}=1$;

- для 16K20Ф3: $C = \frac{47760 \cdot 2,6}{60 \cdot 3890} = 0,53$, $C_{пр}=1$;

- для 1B320Ф30: $C = \frac{47760 \cdot 4,7}{60 \cdot 3890} = 0,97$, $C_{пр}=1$;

- для 2P135Ф3: $C = \frac{47760 \cdot 1,49}{60 \cdot 3890} = 0,31$, $C_{пр}=1$;

- для 2H118: $C = \frac{47760 \cdot 1,86}{60 \cdot 4060} = 0,37$, $C_{пр}=1$;

- для МК6801Ф3: $C = \frac{47760 \cdot 2,27}{60 \cdot 3890} = 0,46$, $C_{пр}=1$;

- для МК6801Ф3: $C = \frac{47760 \cdot 2,66}{60 \cdot 4060} = 0,52$, $C_{пр}=1$.

4.2.2 Визначення коефіцієнтів завантаження

Коефіцієнт завантаження обладнання [2, 25]:

$$\eta_3 = \frac{C_p}{C_{np}}. \quad (4.7)$$

$$\text{Для МР-76М: } \eta_3 = \frac{0,28}{1} \cdot 100 \% = 28 \% .$$

$$\text{Для 16К20Ф3: } \eta_3 = \frac{0,53}{1} \cdot 100 \% = 53 \% .$$

$$\text{Для 1В320Ф30: } \eta_3 = \frac{0,97}{1} \cdot 100 \% = 97 \% .$$

$$\text{Для 2Р135Ф3: } \eta_3 = \frac{0,31}{1} \cdot 100 \% = 31 \% .$$

$$\text{Для 2Н118: } \eta_3 = \frac{0,37}{1} \cdot 100 \% = 37 \% .$$

$$\text{Для МК6801Ф3: } \eta_3 = \frac{0,46}{1} \cdot 100 \% = 46 \% .$$

$$\text{Для МК6801Ф3: } \eta_3 = \frac{0,52}{1} \cdot 100 \% = 52 \% .$$

Середнє значення коефіцієнта завантаження:

$$\eta_{\text{ср}} = \frac{28 + 53 + 97 + 31 + 37 + 46 + 52}{7} = 49,14 \% .$$

Коефіцієнт використання обладнання за основним часом знаходиться за формулою:

$$\eta_{30} = \frac{T_o}{T_{шт-к}}. \quad (4.8)$$

$$\text{Для МР-76М: } \eta_{30} = \frac{0,57}{1,45} \cdot 100 \% = 39,3 \% .$$

$$\text{Для 16К20Ф3: } \eta_{30} = \frac{1,85}{2,6} \cdot 100 \% = 71,2 \% .$$

$$\text{Для 1В320Ф30: } \eta_{30} = \frac{3,73}{4,7} \cdot 100 \% = 79,4 \% .$$

$$\text{Для 2Р135Ф3: } \eta_{30} = \frac{0,99}{1,49} \cdot 100 \% = 66,4 \% .$$

$$\text{Для 2Н118: } \eta_{30} = \frac{0,86}{1,86} \cdot 100 \% = 46,2 \% .$$

$$\text{Для МК6801Ф3: } \eta_{30} = \frac{1,55}{2,27} \cdot 100 \% = 68,3 \% .$$

$$\text{Для МК6801Ф3: } \eta_{30} = \frac{1,48}{2,66} \cdot 100 \% = 55,6 \% .$$

Середнє значення коефіцієнта використання обладнання за основним часом:

$$\eta_{\text{сер}} = \frac{39,3 + 71,2 + 79,4 + 66,4 + 46,2 + 68,3 + 55,6}{7} = 60,9 \% .$$

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

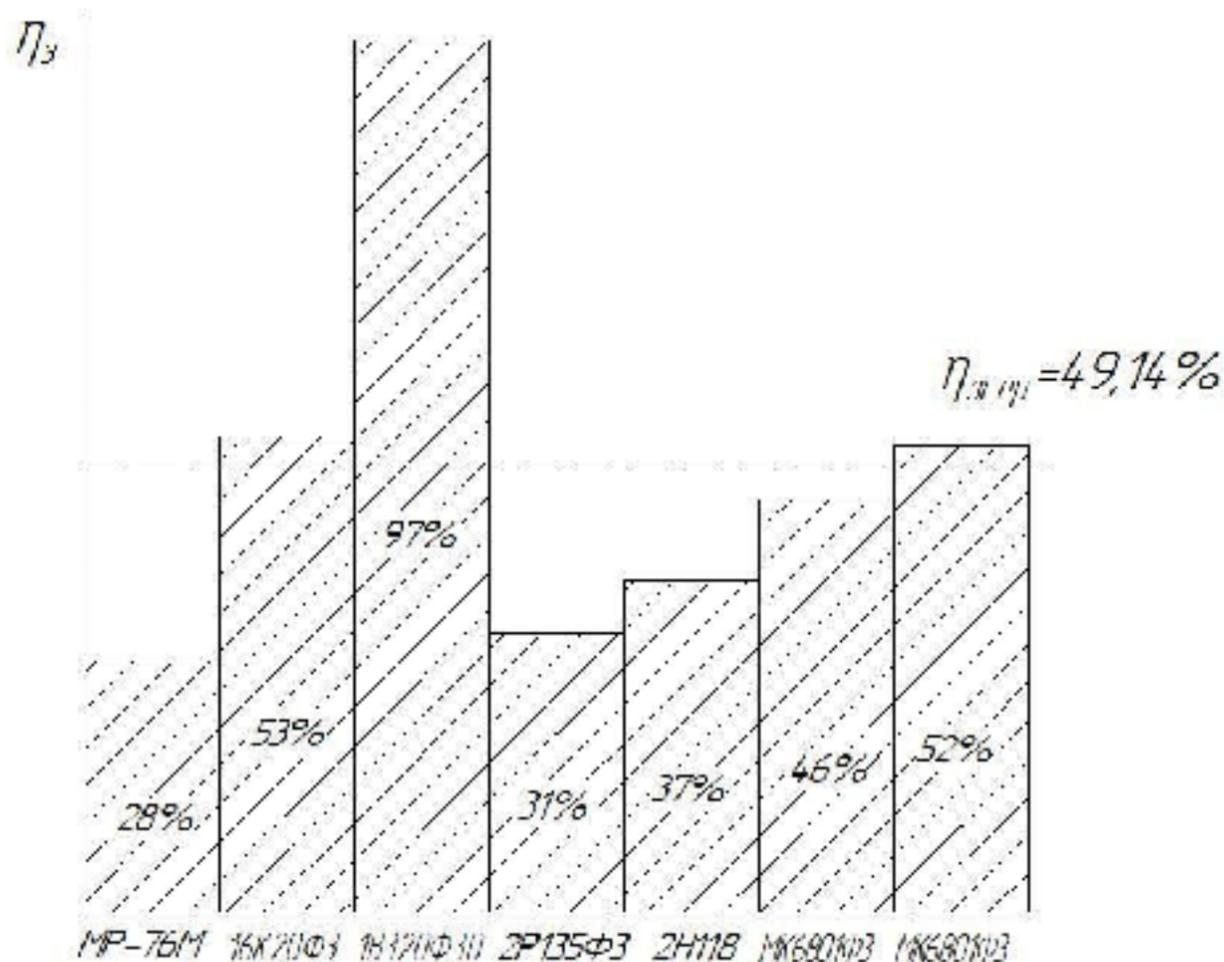


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

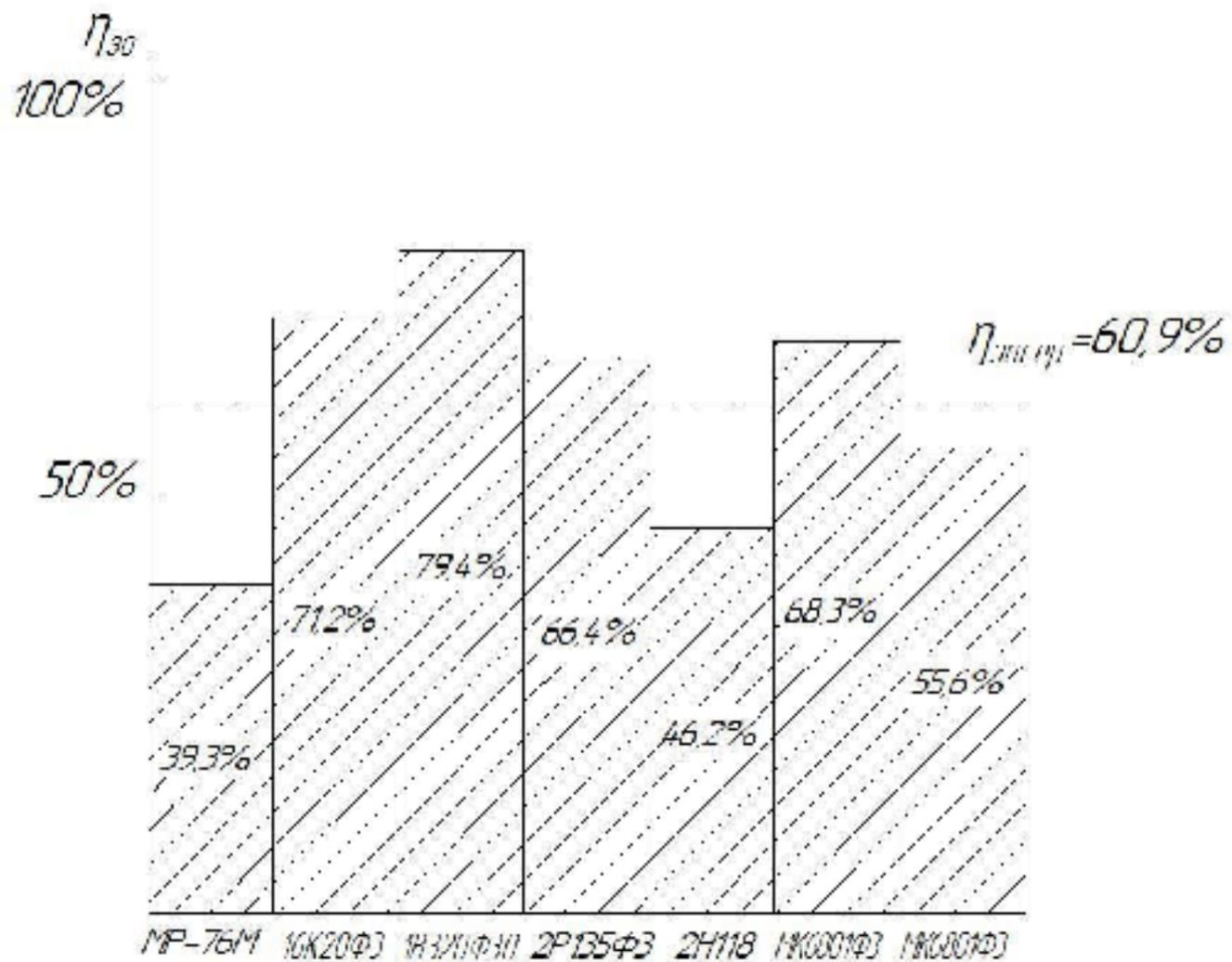


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Середнє значення коефіцієнта завантаження становить 49,14%, що вказує на недостатнє використання виробничих потужностей. Для досягнення рекомендованого рівня завантаження в межах 75–85% необхідно здійснити довантаження всіх верстатів, при цьому плановий обсяг випуску деталей має складати близько 77 850 шт.

Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом дорівнює 60,9%, що підтверджує правильність побудови технологічного процесу, оскільки основна частка штучно-калькуляційного часу припадає безпосередньо на операції різання.

4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Розрахунок кількості робітників-верстатників [2, 25]:

$$P_o = \frac{C_{np} \cdot \Phi_D \cdot \eta_z \cdot \eta_o}{\Phi_B \cdot K_M}, \quad (4.9)$$

де C_{np} – прийнята кількість верстатів, шт.; Φ_D – дійсний річний фонд роботи верстатника, год.; η_z та η_o – коефіцієнти завантаження та використання обладнання, для середньо серійного виробництва $\eta_z \cdot \eta_o = 0,85$; Φ_B – ефективний річний фонд роботи верстатника, год.; K_M – коефіцієнт багатостанкового обслуговування.

Отже

$$P_{o005} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,28 \cdot 0,39}{1840 \cdot 1} = 0,24 ; P_{np005} = 1 ;$$

$$P_{o010} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,53 \cdot 0,71}{1840 \cdot 1} = 0,8 ; P_{np010} = 1 ;$$

$$P_{o015} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,97 \cdot 0,79}{1840 \cdot 1} = 1,62 ; P_{np015} = 2 ;$$

$$P_{o020} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,31 \cdot 0,66}{1840 \cdot 1} = 0,43 ; P_{np020} = 1 ;$$

$$P_{o025} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,37 \cdot 0,46}{1840 \cdot 1} = 0,38 ; P_{np025} = 1 ;$$

$$P_{o030} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,46 \cdot 0,68}{1840 \cdot 1} = 0,66 ; P_{np030} = 1 ;$$

$$P_{o035} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,52 \cdot 0,56}{1840 \cdot 1} = 0,64 ; P_{np035} = 1 .$$

Прийmemo 8 основних робітників, але на операціях 005, 020-035 вони мають бути довантажені обробкою інших деталей (крім врахованих в приведеній програмі).

Кількість допоміжних робітників:

$$P_{доп} = 0,23 \cdot 8 = 1,84 .$$

Прийmemo 2 допоміжних робітника.

Кількість ІТР:

$$P_{\text{ІТР}} = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ .}$$

Прийmemo 2 ІТР.

Кількість СКП:

$$P_{\text{СКП}} = 0,019 \cdot 8 = 0,152 \text{ .}$$

Прийmemo кількість службовців 1 чол.

Кількість МОП:

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (8 + 2 + 2 + 1) = 0,26 \text{ .}$$

Прийmemo кількість МОП 1 чол.

Результати занесемо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок кількості працівників на ділянці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість, чол.
Основні робітники-верстатники	$P_o = \frac{C_{\text{вр}} \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{о}}}{\Phi_{\text{в}} \cdot K_{\text{м}}}$	4,77	8
Допоміжні робітники	23%	1,84	2
ІТР	20%	1,6	2
СКП	1,9%	0,152	1
МОП	2%	0,26	1

**5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ
ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОЦИЛІНДРА Н.065.15.020»**

5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки

Технологічний аудит проводять з метою оцінки комерційного потенціалу розробки, яка була розроблена і створена в результаті науково-технічної діяльності.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів, які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1 [26].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	«0»	«1»	«2»	«3»	«4»
1	2	3	4	5	6
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки потрібно звести в таблицю за зразком таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	1
2	1	2	1
3	2	2	3
4	1	1	2
5	2	3	3
6	2	1	2
7	4	3	3
8	2	1	2
9	3	4	3
10	2	3	2
11	2	4	2
12	3	4	4
Сума балів	СБ ₁ = 26	СБ ₂ = 30	СБ ₃ = 28
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{26 + 30 + 28}{3} = 28$		

Згідно таблиці 5.2 розробка має рівень комерційного потенціалу середній.

Так як в даній розробці використовується стандартне обладнання, то всі дії можуть виконуватися на підприємстві.

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

Потенційними покупцями нового товару можуть бути малі та середні машинобудівні та ремонтні підприємства з дрібносерійним, серійним та великосерійним виробництвом, які мають на меті виготовляти деталі.

Так як дане інноваційне рішення проектується, розраховується і впроваджується лише на даному виробництві, то використовуватись воно буде лише на даному підприємстві.

Оцінювання рівня якості інноваційного рішення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанту інженерного рішення.

В даній магістерській роботі під час оцінювання якості продукції доцільно визначати абсолютний і відносний її рівні.

Абсолютний рівень якості інноваційного товару знаходять обчисленням вибраних для його вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати інноваційне рішення, вимоги замовника до нього, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо). Всі ці дані для кожного параметра заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри інноваційного рішення

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Кількість верстатів	10			40%
Кількість основних робітників	10			40%
Середній розряд робітників	8			20%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

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

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

$$K_{a.a.} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,4 + 8 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 11,7.$$

Визначимо відносний рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості аналогу (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	10	7	1,43	0,4
Кількість основних робітників, чол.	14	8	1,75	0,4
Середній розряд робітників	5	3	1,67	0,2
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,38	0,49	1,29	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,54	0,61	1,13	0,15
Собівартість заготовки, грн.	51,36	46,57	-	-

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

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

або

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

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{н.к.} = 1,43 \cdot 0,4 + 1,75 \cdot 0,4 + 1,67 \cdot 0,2 + 1,29 \cdot 0,15 + 1,13 \cdot 0,15 = 1,97.$$

Значення відносного показника якості інноваційного рішення більше одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару-конкурента.

Конкурентоспроможність продукції – це комплексна багатоаспектна характеристика товару, що визначає його переваги на ринку порівняно з аналогічними товарами-конкурентами як за ступенем відповідності конкретній потребі, так і за витратами на їх задоволення.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками для нашої інноваційної розробки є технічні параметри, а також економія підприємства на втратах від браку.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (K) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{н.к.}}{I_{е.к.}}, \quad (5.5)$$

де $I_{н.к.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е.к.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

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

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

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

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 1,97. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{51,36}{46,57} = 1,1.$$

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

$$K = \frac{1,97}{1,1} = 1,79.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»

5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу K , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [26]:

$$K = Z_o + Z_{дод} + Z_n + B_{буд} + B_{обл} + B_{тпр} + B_{осн} + B_{інв} + B_{пу} + B_{ме} + B_{ос} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

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

Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

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

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

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

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

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

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

$B_{ме}$ – передвиробничі витрати, грн.; $B_{ос}$ – вартість оборотних засобів, грн.

5.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

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

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.	Прим.
Керівник проекту	16000	727,27	10	7272,73	
Інженер-технолог	14000	636,36	8	5090,91	
Інженер-конструктор	14000	636,36	8	5090,91	
Економіст	14000	636,36	8	5090,91	
Всього				z_o	22545,46

5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

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

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

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

5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

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

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

де H_m – норма нарахування на заробітну плату розробників.

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

5.2.5 Вартість будівлі, що її займає дільниця

У нашому випадку не передбачається будівництво дільниці, тому ми розрахуємо вартість переобладнання існуючої дільниці. В цьому випадку можна обчислити витрати на переобладнання власних старих приміщень для облаштування удосконаленого технологічного процесу за формулою:

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

де $C_{\text{пр}}$ – приблизна вартість переобладнання 1 м² власних приміщень ($C_{\text{пр}} \approx 200 \dots 1000 \text{ грн./м}^2$);

$S_{\text{заг}}$ – загальна площа виробничої дільниці, м².

$$B_{\text{буд.}} = 1000 \cdot 140 = 140000 \text{ (грн.)}$$

5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

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

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

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

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

k – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В320Ф30	617000	1	1,1	678700
2	Токарний з ЧПК МК6801Ф3	602000	1	1,1	662200
Всього					1340900

Придбані верстати були у використанні.

Всі інші верстати (МР-76М, 16К20Ф3, 2Р135Ф3, 2Н118, 2К227В), необхідні для виконання технологічного процесу, є в наявності на базовому підприємстві.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці (моделі верстатів: 1Б265П-8К (2 шт.), 1Г340П, 3М151).

Всього реалізовано верстатів орієнтовно на 300000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обл}} = 1340900 - 300000 = 1040900 \text{ (грн.)}$$

5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

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

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

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

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

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

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

K_u – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{мо} = 1040900 \cdot 0,10 = 104090 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осв} = 104090 \cdot 0,25 = 26022,5 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{кст} = 0,1 \cdot 104090 = 10409 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{ост} = B_{мо} + B_{осв} + B_{кст} \text{ [грн.];} \quad (5.16)$$

$$B_{ост} = 104090 + 26022,5 + 10409 = 140521,5 \text{ (грн.)}$$

5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

5.2.10 Вартість програм керування

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

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

$$B_{\text{пр}} = 0,1 \cdot 1040900 = 104090 \text{ (грн.)}$$

5.2.11 Величина передвиробничих витрат

Так як передвиробничі витрати – це частина одноразових (пускових) витрат, що пов'язані із підготовкою та освоєнням виробництва. В даному випадку вони не враховуються, так як виробництво існує і виконується його модернізація.

5.2.12 Величина оборотних засобів

Оборотні засоби – це сукупність оборотних фондів виробництва і фондів обігу, що беруть участь у виробничому процесі. В існуючому виробничому процесі вони є в наявності і тому при удосконаленні окремих операцій технологічного процесу дільниці вони можуть не враховуватися.

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$\begin{aligned} K &= 22545,46 + 2254,55 + 5456 + 140000 + 1040900 + 140521,5 + 104090 = \\ &= 1455767,51 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

5.3.1 Сировина та матеріали

Для визначення потреби в матеріалах окрім їх номенклатури необхідно мати норми витрат матеріалів на одиницю продукції.

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» складає 46,57 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

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

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

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

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, $C_e = 10,5$ грн.;

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

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

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Номер операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-76М	6,6	0,0095	0,66

Продовження таблиці 5.7

1	2	3	4
010 Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3	10	0,031	3,26
015 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В320Ф30	6,2	0,062	4,04
020 Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК 2Р135Ф3	3,7	0,017	0,66
025 Вертикально-свердлильний верстат 2Н118	2,2	0,014	0,32
035 Токарний з ЧПК МК6801Ф3	5,5	0,026	1,5
040 Токарний з ЧПК МК6801Ф3	4,0	0,025	1,05
Всього			Σ 11,49

5.3.3 Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \text{ [грн.],} \quad (5.19)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год.; t_i – час роботи робітника на визначеній i -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

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

де M_m – розмір мінімальної місячної заробітної плати, $M_m = 8000$ грн. (з 01.01.2025 р.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств машинобудування до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$c = (8000 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 92,05 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-76М	0,024	3	1,35	92,05	2,21
010 Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3	0,043	3	1,35	92,05	3,96
015 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В320Ф30	0,078	3	1,35	92,05	7,18
020 Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК 2Р135Ф3	0,025	3	1,35	92,05	2,3
025 Вертикально-свердлильний верстат 2Н118	0,031	3	1,35	92,05	2,85
035 Токарний з ЧПК МК6801Ф3	0,039	3	1,35	92,05	3,59
040 Токарний з ЧПК МК6801Ф3	0,044	3	1,35	92,05	4,05
Всього					Σ 26,14

5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

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

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

$$z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 26,14 = 2,61 \text{ (грн.)}$$

5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок робітників $z_{\text{є}}$ розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників за формулою:

$$z_{\text{є}} = (z_{\text{ос}} + z_{\text{доп}}) \cdot H_{\text{є}} \text{ [грн.]}, \quad (5.22)$$

де $H_{\text{є}}$ – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$z_{\text{є}} = (26,14 + 2,61) \cdot 0,22 = 6,33 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальноновиробничих статей витрат

Величину загальноновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 26,14 = 65,35 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	46,57	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	11,49	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$З_p$	26,14	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$З_{доб}$	2,61	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$З_v$	6,33	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{вир}$	65,35	
Всього	S_v	158,49	

5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

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

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

S_v – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2025 року, $w = 20\%$.

Необхідність врахування податку на додану вартість виникає у зв'язку з тим, що коли буде встановлюватись верхня межа ціни, а потім договірна ціна, то ціна базового виробу зазвичай містить цей податок.

$$C_{\text{нп}} = 158,49 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 228,23 \text{ (грн.)}$$

5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ($C_{\text{вир}}$) захищає інтереси споживача і визначається тією ціною, яку споживач готовий сплатити за продукцію з кращою споживчою якістю.

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється $C_{\text{вир}} = 228,23$ грн.

5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

$S_{\text{в}}$ – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[228,23 - \frac{(228,23 - 46,57) \cdot 16,67}{100} - 158,49 - \frac{10 \cdot 158,49}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 47760 = \\ &= 924575,71 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

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

5.6.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

Дане удосконалення передбачає одноразові капітальні вкладення, тому NPV можна визначити за формулою:

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{924575,71}{(1+0,2)^1} + \frac{924575,71}{(1+0,2)^2} + \frac{924575,71}{(1+0,2)^3} + \frac{924575,71}{(1+0,2)^4} - 1455767,51 = \\ &= 10222,83 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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

5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

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

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

A_t – амортизаційні відрахування у t -му році функціонування проекту на обладнання, яке безпосередньо було використано для розробки інноваційного рішення, грн.;

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

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

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{924575,71 + 924575,71 + 924575,71 + 924575,71}{1455767,51}} - 1 = 0,26 .$$

5.6.3 Розрахунок терміну окупності

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

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

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

ΔK – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

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

$$T_o = \frac{1455767,51}{924575,71} = 1,57 \text{ (року)}.$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020», які включають витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали тощо.

За результатами всіх розрахунків виявлено, що для впровадження удосконаленого технологічного процесу потрібно 1455767,51 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 924575,71 грн., термін окупності 1,57 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» доцільне для впровадження.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі виконано удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020». При цьому можна зробити такі висновки.

1. Проведено огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; проаналізовано базовий технологічний процес; запропоновано шляхи удосконалення базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020».

2. Розглянуто два способи виготовлення заготовки: штампування на КГШП та штампування на ГKM. Техніко-економічне порівняння розглянутих способів виготовлення заготовки показало, що доцільнішим способом виготовлення заготовки для даної деталі буде штампування на ГKM.

3. Враховуючи недоліки базового маршруту, розроблено варіанти удосконаленого маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу.

4. Удосконалено алгоритм та розроблено комп'ютерну програму «Розрахунок параметрів гідродвигуна» призначену для розрахунку основних параметрів гідравлічного двигуна, зокрема гідроциліндра або гідромотора, за заданими вхідними даними навантаження, робочого тиску в гідроприводі та коефіцієнтів, що враховують втрати тиску в гідросистемі та втрати на тертя в гідродвигуні. Програма має зручний інтерфейс, містить набір довідникових даних і може бути корисна інженерам, студентам для розрахунків у сфері гідравліки та гідроприводу.

5. 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 гідроциліндра Н.065.15.020».

6. В економічній частині розраховано економічну доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу, розраховано прибуток за рік виробника та термін окупності капітальних вкладень.

У графічній частині представлено креслення деталі, 3D-модель деталі, креслення заготовки, графічне зображення удосконаленого маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020», схеми з таблицями, що пояснюють розмірний аналіз технологічного процесу, карта налагоджень на операцію, результати розробки комп'ютерної програми для автоматизації розрахунку параметрів гідродвигуна, план дільниці та техніко-економічні показники.

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, 2016. 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. Основи технології машинобудування. Частина 1 : практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
5. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
7. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
8. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
9. Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А., Руткевич В. С., Моторна О. О. Практикум з навчальної дисципліни «Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування» : навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 354 с.
10. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.

11. Дусанюк Ж. П., Сивак І. О., Дусанюк С. В., Репінський С. В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 105 с.
12. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 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. 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.
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. Веселовська Н. Р., Іскович-Лотоцький Р. Д., Ковальова І. М. Теорія різання та інструмент : навчальний посібник. Вінниця, 2018. 297 с.
18. Буренніков Ю. А., Немировський І. А., Козлов Л. Г. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 273 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. Буренніков Ю. А., Дерібо О. В., Козлов Л. Г., Пурдик В. П., Репінський С. В. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи, гідропневмоавтоматика : лабораторний практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 100 с.

21. Буренніков Ю. А., Репінський С. В., Андрусишен В. Ю., Захарченко А. О., Цекот М. В. Автоматизація розрахунку параметрів гідродвигуна. Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. Електрон. текст. дані. 2018. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/5319>.

22. Репінський С. В., Паславська О. В., Подоляк В. А., Андрусишен В. Ю. Комп'ютерна програма «Розрахунок параметрів гідродвигуна». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 86413. К. : Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Зареєстр. 26.02.2019.

23. Буренніков Ю. А., Дерібо О. В., Репінський С. В. Засоби автоматизації розрахунку параметрів гідродвигуна. Вісник ВПІ, вип. 4. С. 207–213, Серп. 2025.

24. Репінський С. В., Лозовський В. Г., Брижак О. А., Васильєв О. В. Удосконалення приводу шлюзового затвору обладнання для зберігання і переробки зернових культур. Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024). Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20745>.

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

26. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. Вінниця : ВНТУ, 2021. 42 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідроциліндра Н.065.15.020»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 12,89 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____ Сердюк О. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

Репінський С. В., к.т.н., доц. каф. ТАМ
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____
(підпис)

Васильєв О. В.
(прізвище, ініціали)

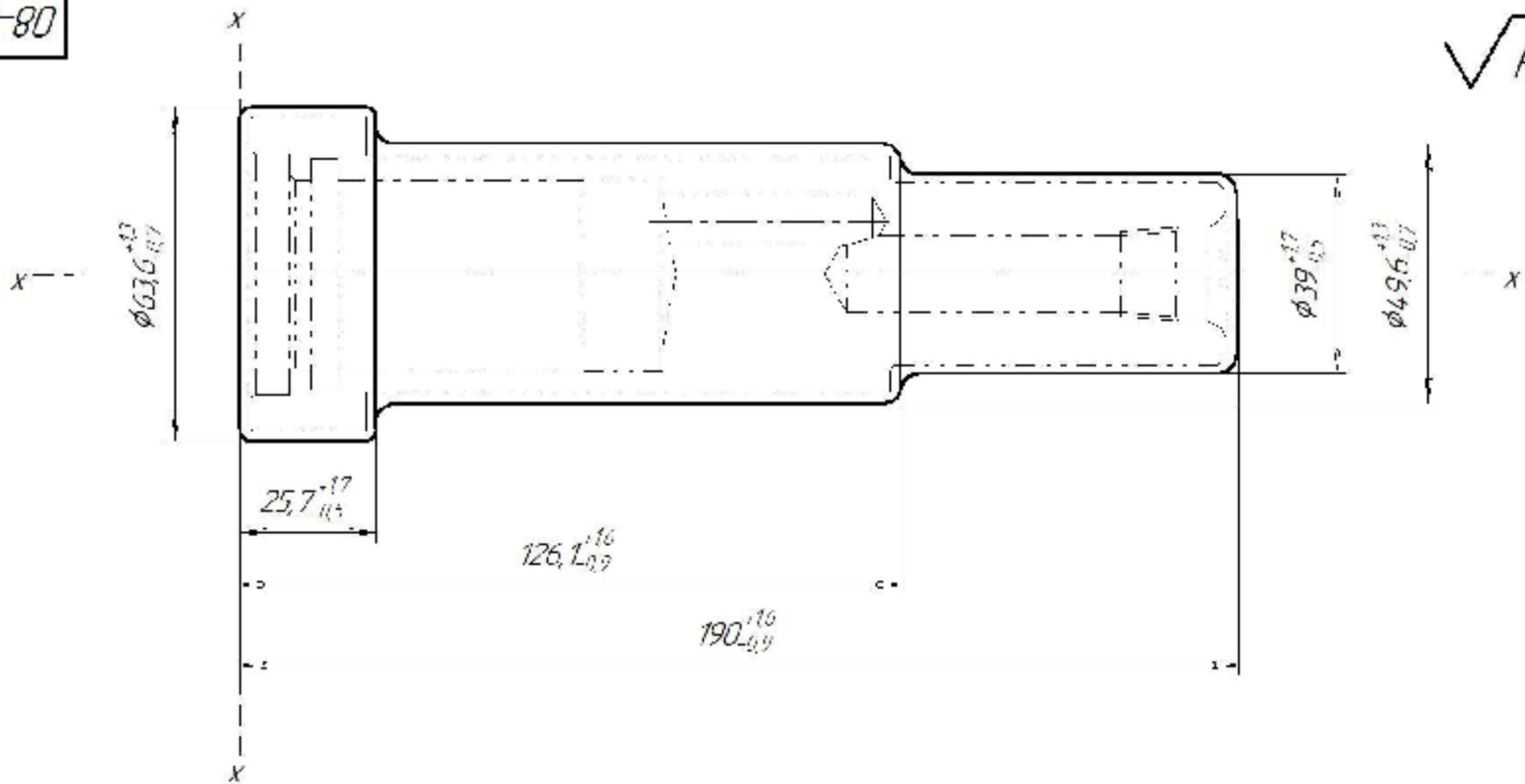
Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

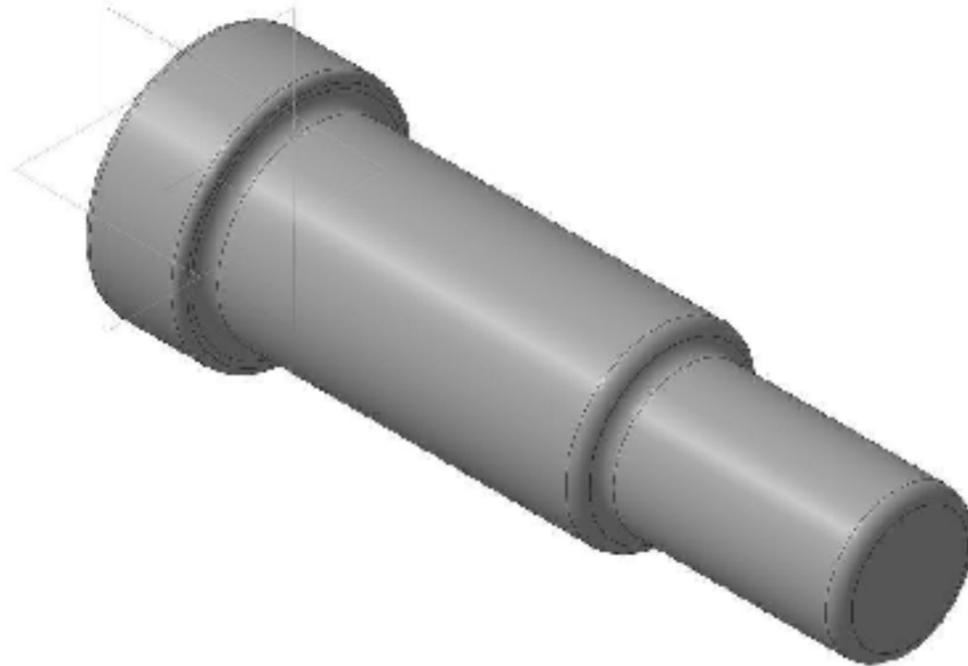
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ
«КОРПУС ГІДРОЦИЛІНДРА Н.065.15.020»

08-64.МКР.021.00.001

√ Ra 32 (√)



3D-модель заготовки

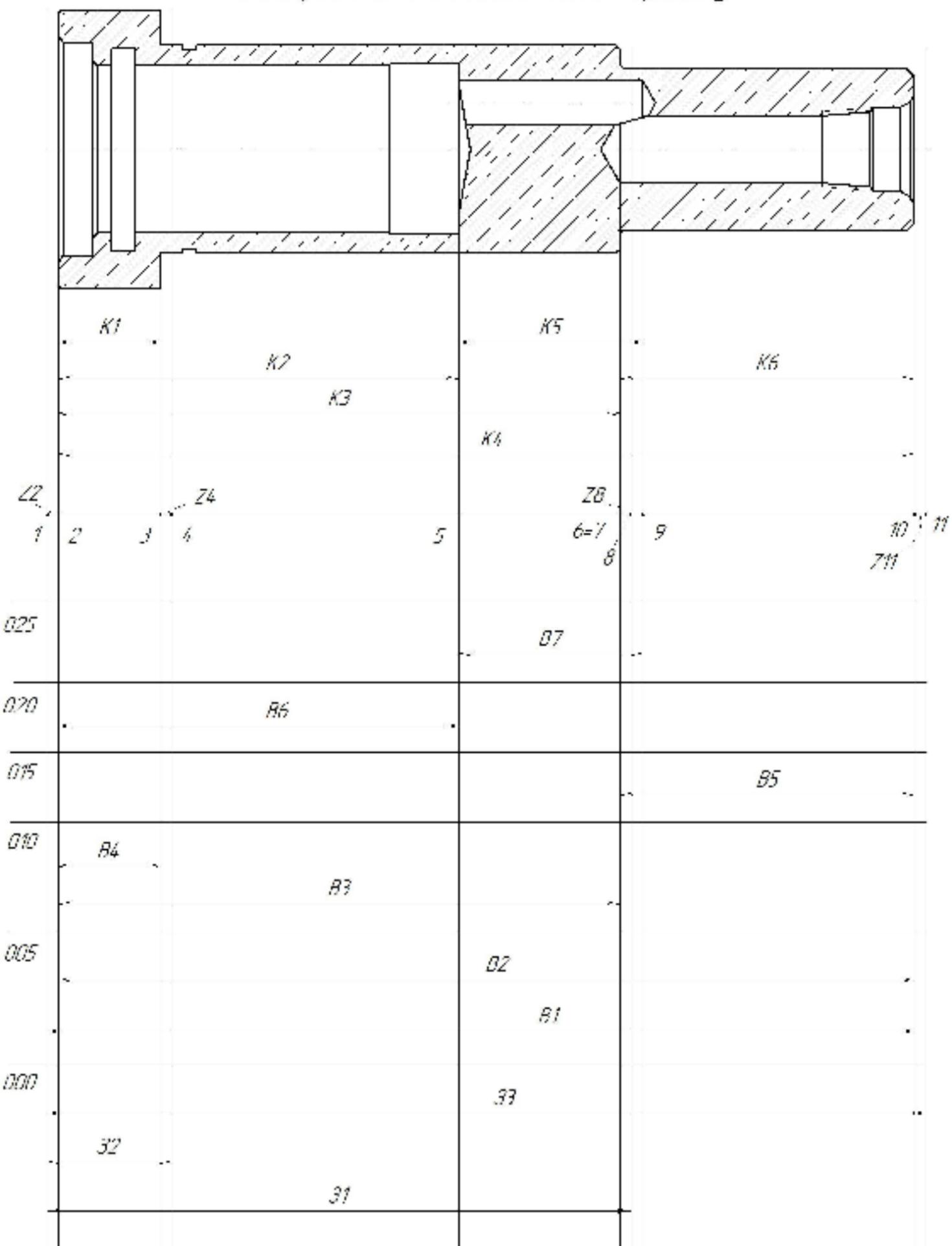


1. Твердість 54...60 HRC.
2. Точність заготовки Т4-М1-С2 ГОСТ 7505-89.
3. Невказані ливарні радіуси R3, штампувальні нахили 1...20.
4. Допускаємий заусенець 3 мм.
5. Допустимі зміщення по площині роз'єму 0,6.
6. Невказані допуски радіусів заокруглень 0,5 мм.

				08-64.МКР.021.00.001			
Конт. Ділячі	№ докум.	Підп.	Візм.	Корпус гідроциліндра (ликивки на ГКМ)	Лист	Маса	Кількість
Розроб.	Васильєв О.В.					2,7	11
Проф.	Резнішани І.М.				Лист 1	Листов 1	
Т.контр.					Сталь 35 ГОСТ 1050-88		
Н.контр.	Сердюк О.В.				ВНТУ		
Унів.	Клишій Л.Г.				ст. гр. 2ПМ-24М		

Розмірний аналіз технологічного процесу

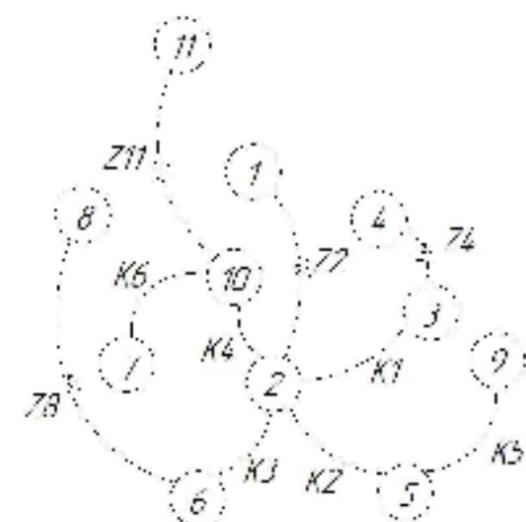
Розмірна схема технологічного процесу



Похідний граф-дерево



Вихідний граф-дерево



Суміщений граф



Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допусків цих розмірів, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	max розмір	min розмір				
B ₁	188,925	187,775	1,15	188,925	188,925 _{±0,15}	-
B ₂	186,575	185,125	1,0	186	186 _{±0,5}	-
B ₃	122,5	121,5	1,0	122	122 _{±0,5}	-
B ₄	22,26	21,74	0,52	22	22±0,26	-
B ₅	65,5	62,5	3,0	64	64±1,5	-
B ₆	87,87	86,13	1,74	87	87±0,87	-
B ₇	40,62	39,38	1,24	40	40±0,62	-
Z ₁	127,8	123,8	4,0	125,8	-	125,8±2,0
Z ₂	26,14	24,04	2,1	25,09	-	25,09±1,05
Z ₃	192,225	190,125	2,1	191,175	-	191,175±1,05

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОДВИГУНА

Метою роботи є розробка комп'ютерної програми, призначеної для автоматизації розрахунку параметрів гідравлічного двигуна (гідроциліндра, гідромотора) за заданими вхідними даними і корисної для інженерів, студентів для розрахунків у сфері гідравліки та гідроприводу, зокрема при виконанні курсової роботи з дисципліни «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи».

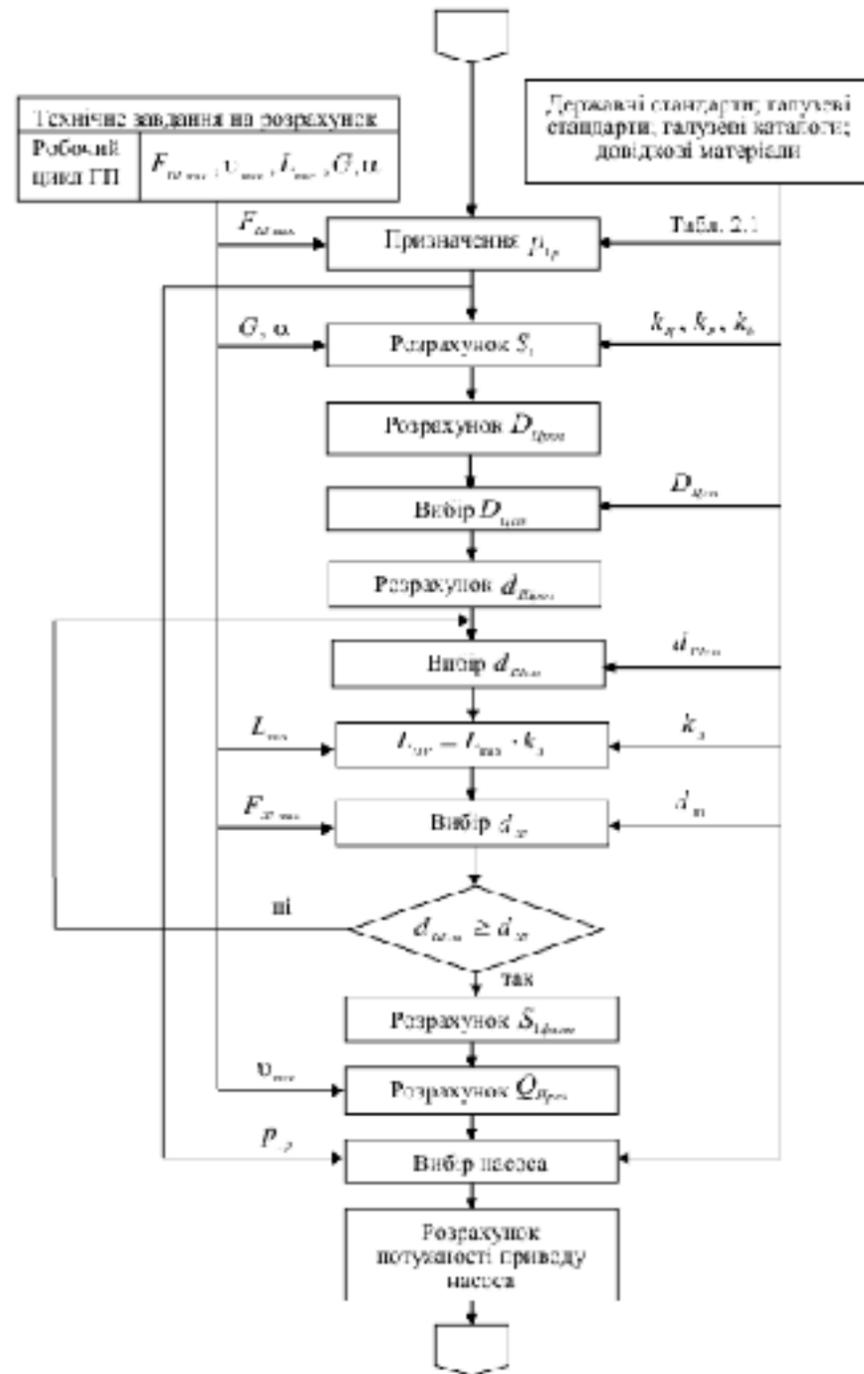


Рисунок 1 – Алгоритм розрахунку гідроприводу з гідроциліндром

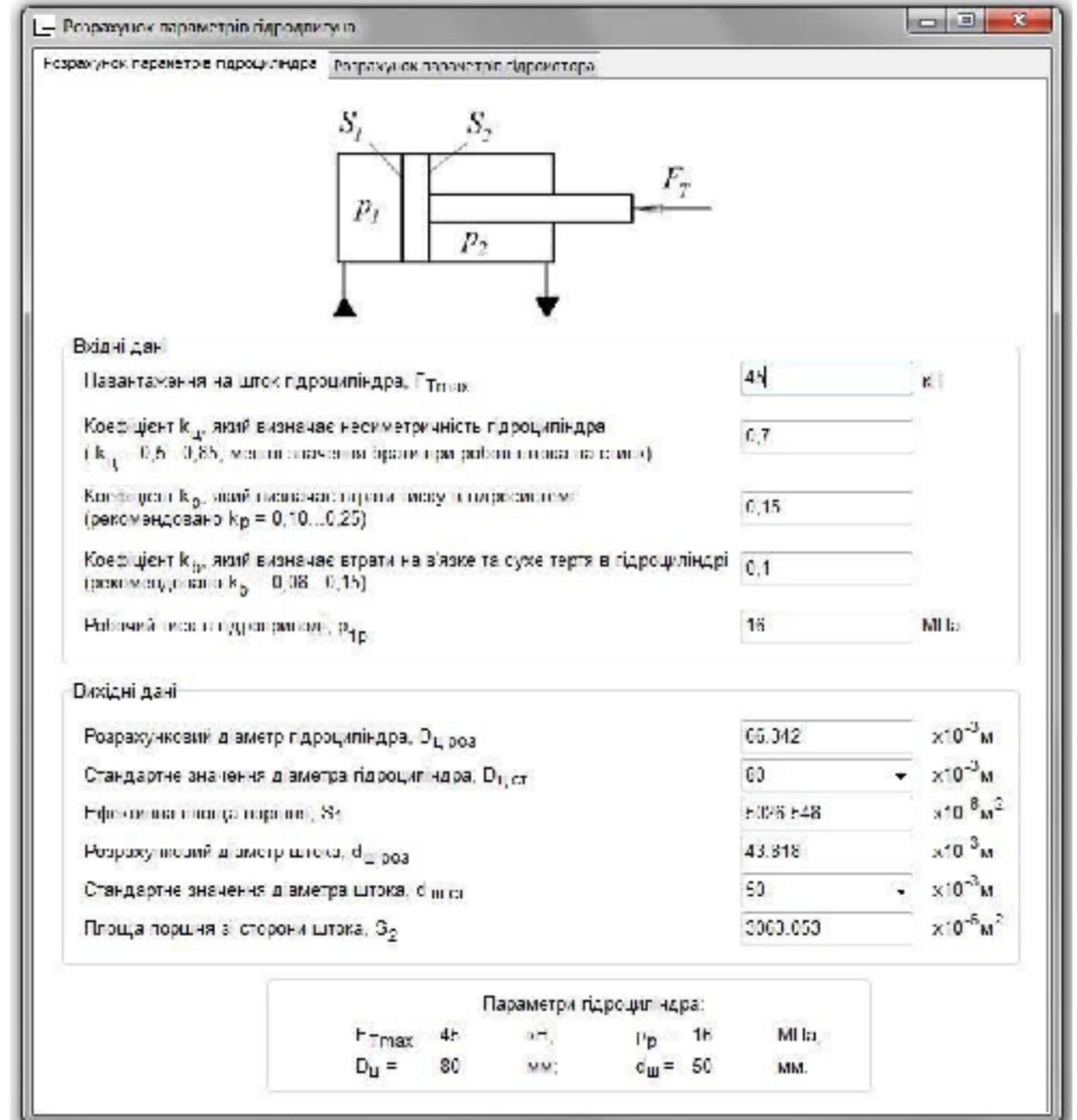


Рисунок 2 – Інтерфейс програми для розрахунку параметрів гідроциліндра

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОДВИГУНА (продовження)

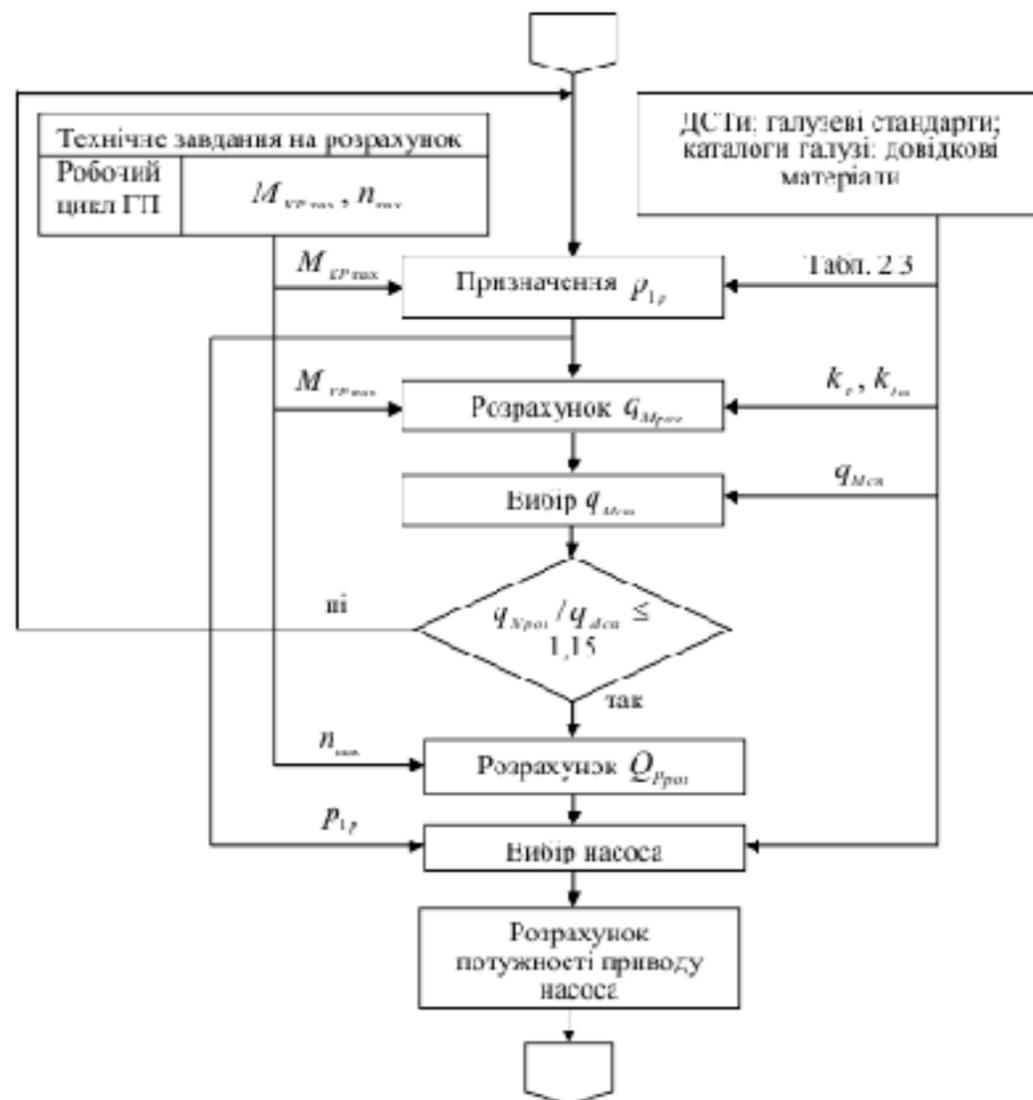
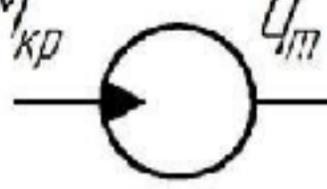


Рисунок 3 – Алгоритм розрахунку гідроприводу з гідромотором

$M_{кр}$  $q_{гп}$

Вхідні дані

Крутий момент на валу гідромотора, $M_{кр\max}$	<input type="text" value="25"/>	Н*м
Коефіцієнт $k_{гп}$, який визначає втрати тиску в гідросистемі (рекомендовано $k_{гп} = 0,10 \dots 0,25$)	<input type="text" value="0,15"/>	
Коефіцієнт $k_{гпм}$, який визначає втрати на в'язке та сухе тертя в гідромоторі (рекомендовано $k_{гпм} = 0,00 \dots 0,15$)	<input type="text" value="0,1"/>	
Робочий тиск в гідроприводі, $p_{гп}$	<input type="text" value="6,3"/>	МПа

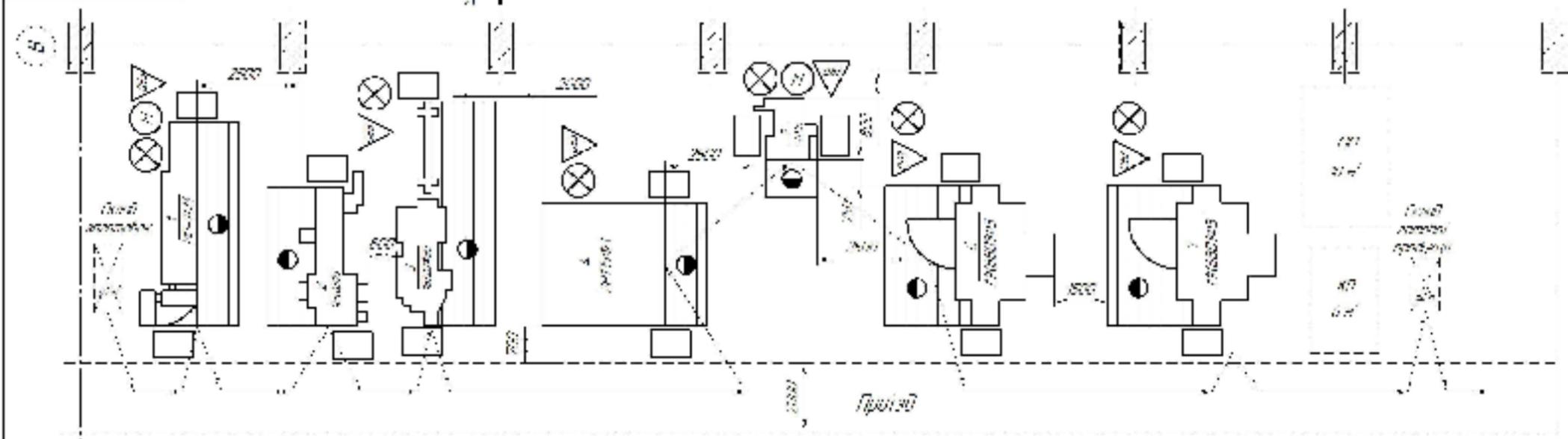
Вихідні дані

Розрахунковий робочий об'єм гідромотора, $q_{гп\max}$	<input type="text" value="32,26"/>	см ³
---	------------------------------------	-----------------

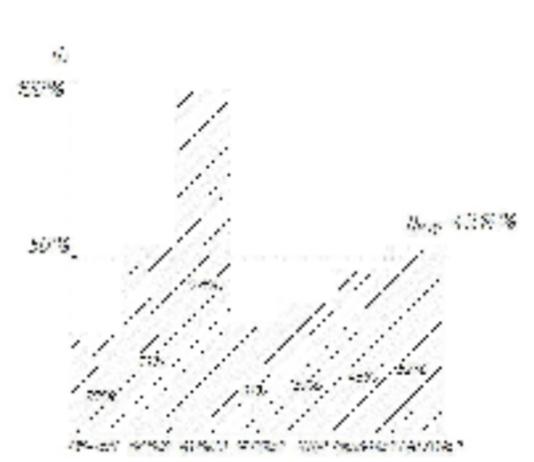
Параметри гідромотора:

$M_{кр\max} = 25$ Н*м,
 $p_{гп} = 6,3$ МПа,
 $q_{гп\max} = 32,26$ см³.

Рисунок 4 – Інтерфейс програми для розрахунку параметрів гідромотора



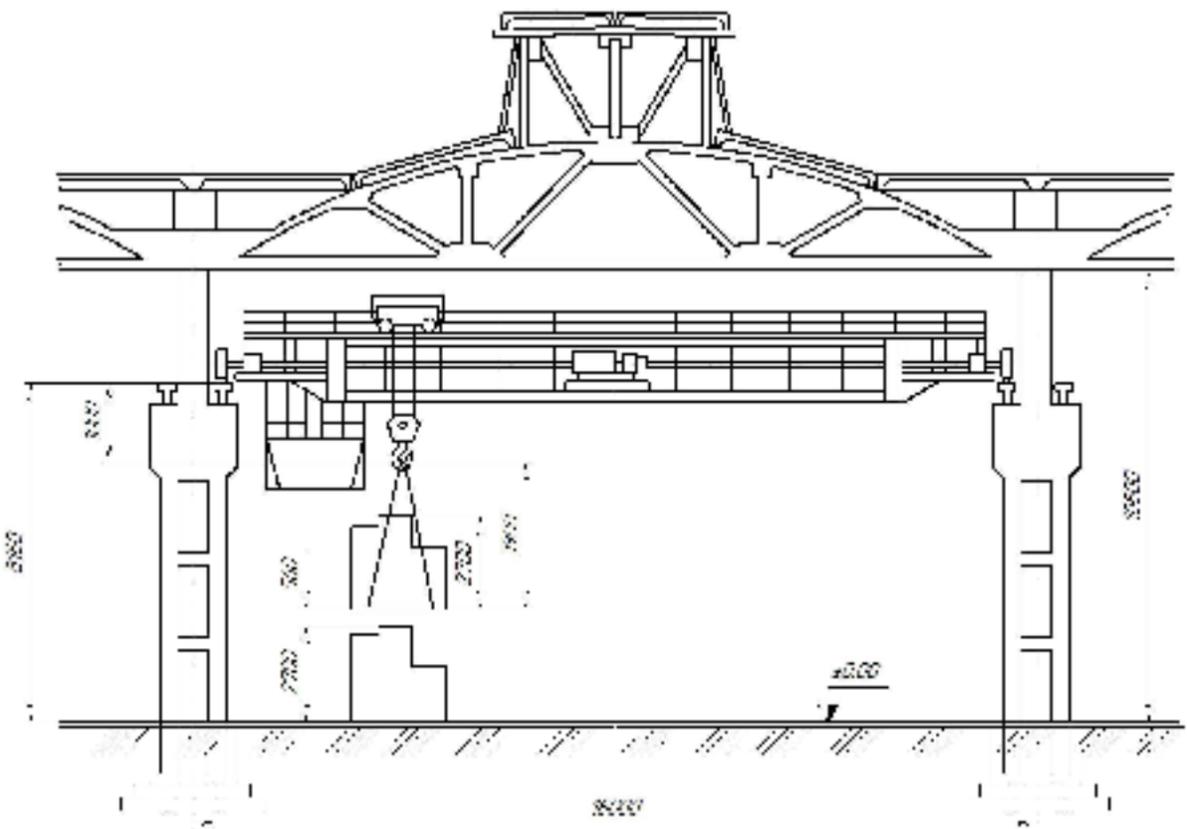
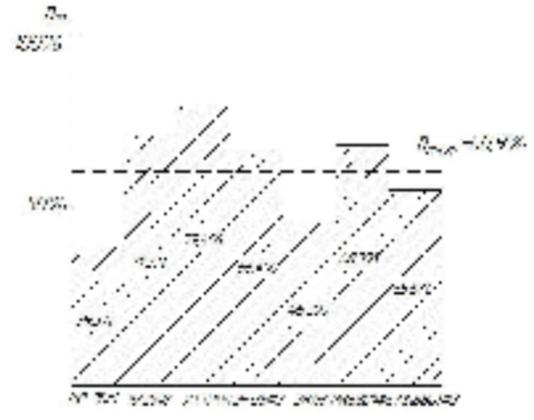
Графік завантаження обладнання



Центр дільниці



Графік використання обладнання за певними зонами



Абсолютні техніко-економічні показники

1. Площа виробничих приміщень - 47760 кв.м
2. Площі виробництва - 110 м²
Диліжери - 178 м²
3. Кількість виробничого обладнання - 7 шт.
4. Кількість працівників основних - 8 чол.
Допоміжних - 2 чол.
5. Транспортування вантажів - електроприводом.
Вантажопідйомність - 0,5 т.

Об'єкт: 64.МКР.07.100.500.В.3			
План дільниці механічних виробок		Лист 1	Листов 1
№	Назва	Кількість	Вартість
1	Обладнання	7	175
2	Допоміжні	2	200
3	Основні	8	200
4	Виробничі приміщення	47760	1000000
5	Диліжери	178	100000
6	Виробничі площі	110	100000
7	Виробничі приміщення	47760	1000000
8	Допоміжні	2	200
9	Основні	8	200
10	Виробничі приміщення	47760	1000000
11	Допоміжні	2	200
12	Основні	8	200
13	Виробничі приміщення	47760	1000000
14	Допоміжні	2	200
15	Основні	8	200
16	Виробничі приміщення	47760	1000000
17	Допоміжні	2	200
18	Основні	8	200
19	Виробничі приміщення	47760	1000000
20	Допоміжні	2	200
21	Основні	8	200
22	Виробничі приміщення	47760	1000000
23	Допоміжні	2	200
24	Основні	8	200
25	Виробничі приміщення	47760	1000000
26	Допоміжні	2	200
27	Основні	8	200
28	Виробничі приміщення	47760	1000000
29	Допоміжні	2	200
30	Основні	8	200
31	Виробничі приміщення	47760	1000000
32	Допоміжні	2	200
33	Основні	8	200
34	Виробничі приміщення	47760	1000000
35	Допоміжні	2	200
36	Основні	8	200
37	Виробничі приміщення	47760	1000000
38	Допоміжні	2	200
39	Основні	8	200
40	Виробничі приміщення	47760	1000000
41	Допоміжні	2	200
42	Основні	8	200
43	Виробничі приміщення	47760	1000000
44	Допоміжні	2	200
45	Основні	8	200
46	Виробничі приміщення	47760	1000000
47	Допоміжні	2	200
48	Основні	8	200
49	Виробничі приміщення	47760	1000000
50	Допоміжні	2	200
51	Основні	8	200
52	Виробничі приміщення	47760	1000000
53	Допоміжні	2	200
54	Основні	8	200
55	Виробничі приміщення	47760	1000000
56	Допоміжні	2	200
57	Основні	8	200
58	Виробничі приміщення	47760	1000000
59	Допоміжні	2	200
60	Основні	8	200
61	Виробничі приміщення	47760	1000000
62	Допоміжні	2	200
63	Основні	8	200
64	Виробничі приміщення	47760	1000000
65	Допоміжні	2	200
66	Основні	8	200
67	Виробничі приміщення	47760	1000000
68	Допоміжні	2	200
69	Основні	8	200
70	Виробничі приміщення	47760	1000000
71	Допоміжні	2	200
72	Основні	8	200
73	Виробничі приміщення	47760	1000000
74	Допоміжні	2	200
75	Основні	8	200
76	Виробничі приміщення	47760	1000000
77	Допоміжні	2	200
78	Основні	8	200
79	Виробничі приміщення	47760	1000000
80	Допоміжні	2	200
81	Основні	8	200
82	Виробничі приміщення	47760	1000000
83	Допоміжні	2	200
84	Основні	8	200
85	Виробничі приміщення	47760	1000000
86	Допоміжні	2	200
87	Основні	8	200
88	Виробничі приміщення	47760	1000000
89	Допоміжні	2	200
90	Основні	8	200
91	Виробничі приміщення	47760	1000000
92	Допоміжні	2	200
93	Основні	8	200
94	Виробничі приміщення	47760	1000000
95	Допоміжні	2	200
96	Основні	8	200
97	Виробничі приміщення	47760	1000000
98	Допоміжні	2	200
99	Основні	8	200
100	Виробничі приміщення	47760	1000000

Техніко-економічні показники спроектованого технологічного процесу та ділянки механічної обробки

Показники	По базовому технологічному процесу	По удосконаленому технологічному процесу
Маса деталі, кг	1,31	1,31
Річна програма випуску деталі, шт.	12000	12000
Маса заготовки, кг	3,02	2,7
Коефіцієнт точності маси заготовки	0,43	0,49
Основний час обробки деталі по операціях, що відрізняються, хв.	16,8	11,03
Штучно-калькуляційний час обробки деталі, хв.	28,6	17,03
Кількість верстатів, шт.	10	7
Кількість основних працівників, чол.	14	8
Середній розряд робітників	5	3
Середній коефіцієнт завантаження верстатів, %	38	49
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом, %	54	61
Площа, зайнята верстатами, м ²	200	140
Капітальні вкладення, грн.	-	1455767,51
Собівартість деталі, грн.	228,3	158,49
Прибуток за рік, грн./рік	-	924575,71
Термін окупності капітальних вкладень, років	-	1,57