

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

на тему:

«Розробка оптимальної компоновки горизонтального трьохшпиндельного
верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь з дослідженням
властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців»
«Development of the optimal layout of a horizontal three-spindle machine for complex
machining of spherical surfaces with research into the properties of replaceable
tungsten-free three-layer cutting inserts for cutters»

Виконавець: здобувач вищої освіти 2 року
магістратури, групи ПМ-24М-3,
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
Ілля ІВАНОВ

Керівник: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

Рецензент: доц., к.т.н.

Руслан ОСІН

Завідувач кафедри: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-наукова програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
Андрій ГРЕЧКА

«___» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Іллі ІВАНОВА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка оптимальної компоновки горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь з дослідженням властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців
2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Андрій ГРЕЧКА
3. Строк подання роботи до захисту «16» грудня 2025 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: розробка оптимальної компоновки та основних вузлів горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь та дослідження властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців, що використовуються для обробки сферичних поверхонь

Завдання:

- вибрати верстат, який повинен стати базою для розробки проектного верстата;
- розробити оптимальний варіант компоновки проектного верстата;
- дослідити властивості змінних без вольфрамових тришарових ріжучих пластин;
- розробити технологічний процес обробки верхньої кулькової опори для проектного верстата;
- розробка спеціальних основних вузлів проектного верстата та їх основних характеристик;
- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності використання горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 2	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 3	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 4	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ	Вересень 2025	Вик.
2	ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМІННИХ БЕЗ ВОЛЬФРАМОВИХ ТРИШАРОВИХ РІЗУЧИХ ПЛАСТИН	Вересень 2025	Вик.
3	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ	Листопад 2025	Вик.
4	РОЗРОБКА КОМПОНОВКИ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК	Листопад 2025	Вик.
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	Листопад 2025	Вик.
6	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Грудень 2025	Вик.
7	ГРАФІЧНА ЧАСТИНА ТА ОФОРМЛЕННЯ	Грудень 2025	Вик.

Дата видачі завдання « 01 » вересня 2025 р.

Керівник роботи _____ Андрій ГРЕЧКА
(підпис)

Завдання прийнято до виконання 01 » вересня 2025 р.

Здобувач _____ Ілля ІВАНОВ
(підпис)

Анотація

Ілля ІВАНОВ. Розробка оптимальної компоновки горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь з дослідженням властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2025. – 81 с. Матеріали презентації 7 аркушів.

Метою роботи є розробка оптимальної компоновки та основних вузлів горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь та дослідження властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців, що використовуються для обробки сферичних поверхонь.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі задачі: обрано верстат, який повинен стати базою для розробки проектного верстата; розроблено оптимальний варіант компоновки проектного верстата; досліджено властивості змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин; розроблено технологічний процес обробки верхньої кулькової опори для проектного верстата; розроблено спеціальні основні вузли проектного верстата та їх основні характеристики; виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності використання горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь.

Актуальність: розробка оптимальної компоновки та основних вузлів горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь та дослідження властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців, що використовуються для обробки сферичних поверхонь

Практичне значення: Розроблено прогресивний верстат для обробки кулькових опор та досліджено властивості змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців, що використовуються для обробки сферичних поверхонь.

Ключові слова: сферичні поверхні, безвольфрамові тришарові ріжучі пластини, трьохшпиндельний верстат, кулькові опори.

Abstract

Illia IVANOV. Development of the optimal layout of a horizontal three-spindle machine for complex machining of spherical surfaces with research into the properties of replaceable tungsten-free three-layer cutting inserts for cutters. Master's Thesis: CNTU, 2025. - 81 p. Presentation materials 7 il.

The aim of the work is to develop an optimal layout and the main units of a horizontal three-spindle machine tool for comprehensive machining of spherical surfaces, as well as to study the properties of replaceable tungsten-free three-layer cutting inserts used for machining spherical surfaces.

To achieve this goal, the following tasks were completed: a machine tool was selected as a base for designing the new machine; an optimal layout of the designed machine tool was developed; the properties of replaceable tungsten-free three-layer cutting inserts were examined; a technological process for machining an upper ball joint for the designed machine was developed; special main units of the designed machine and their key characteristics were created; a techno-economic justification for the feasibility of using a horizontal three-spindle machine tool for comprehensive machining of spherical surfaces was carried out.

Relevance: The development of an advanced machine tool for machining ball joints used in the front suspension system is an important task. A vehicle with a damaged front suspension—whose key components include ball joints—poses a significant safety risk during operation. Typically, this hazard can be eliminated by replacing the ball joints in the vehicle's front suspension. To ensure that companies and manufacturers have adequate supplies of spare parts, there is a need to design and produce machine tools intended for machining ball joints.

Practical significance: An advanced machine tool for machining ball joints has been developed, and the properties of replaceable tungsten-free three-layer cutting inserts used for spherical surface machining have been studied.

Keywords: spherical surfaces, tungsten-free three-layer cutting inserts, three-spindle machine tool, ball joints.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ	10
1.1. Аналітичний огляд відомих способів обробки верхньої кулькової опори автомобіля ВАЗ.....	10
1.2. Огляд нормалізованих вузлів	11
1.3. Аналіз варіантів компоновок алмазно-розточувальних верстатів та розробка оптимальної компоновки проектного верстата.....	12
1.4. Визначення ряду питань, які вирішуватимуться в дипломній роботі.	13
Розділ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМІННИХ БЕЗ ВОЛЬФРАМОВИХ ТРИШАРОВИХ РІЗУЧИХ ПЛАСТИН.....	14
Розділ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ.....	17
3.1. Призначення та конструкція деталі	17
3.2. Аналіз технологічності конструкції кулькового пальця.....	18
3.3. Базування деталі при обробці на проектованому верстаті.....	19
3.4. Розробка технологічного маршруту обробки кулькового пальця на проектованому верстаті.....	20
3.5. Розрахунок режимів різання.....	21
3.6. Технічне нормування операції виконуваної на проектованому верстаті.....	25
Розділ 4. РОЗРОБКА КОМПОНОВКИ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	29
4.1. Призначення, принцип роботи проектного верстата та його складальних одиниць.....	29
4.2. Проектування та розрахунок привода обертання обточувальної головки	32
4.2.1. Вибір електродвигуна.....	32
4.2.2. Проектування та розрахунок клинопасової передачі	33
4.2.3. Перевірочний розрахунок шпонкових з'єднань на електродвигуні та шпинделі	35
4.2.3.1. Перевірочний розрахунок шпонки на шпинделі	36
4.2.3.2. Перевірочний розрахунок шпонки на валу електродвигуна.....	36
4.3. Проектування та розрахунок привода обертання шліфувальної головки.....	37
4.3.1. Вибір електродвигуна	37
4.3.2. Проектування та розрахунок клинопасової передачі.....	37
4.3.3. Перевірочний розрахунок шпонки на електродвигуні та шпинделі.	40
4.3.3.1. Перевірочний розрахунок шпонки на шпинделі	40
4.3.3.2. Перевірочний розрахунок шпонки на валу електродвигуна.....	41
4.4. Перевірочний розрахунок напрямних силового стола.....	41
4.5. Проектування та розрахунок механізму малих подач.....	48
4.6. Проектування та розрахунок інструментальної насадки шліфувальної головки.....	50
4.7. Проектування контрольного пристрою.....	51

4.8	Вибір гідро та мастильної системи.....	51
4.8.1	Опис роботи гідросхеми	52
4.8.2	Опис роботи системи змазки.....	53
4.8.3	Система охолодження.....	53
4.9	Вибір електрообладнання верстата.....	54
4.9.1	Коротка характеристика електрообладнання.....	54
4.9.2	Відомості про систему живлення електрообладнання.....	55
4.9.3	Опис режимів роботи.....	55
4.9.4	Відомості про головні блокування, системи сигналізації та захисту.....	57
4.9.5	Вказівки по монтажу, демонтажу та експлуатації.....	58
4.9.6	Відомості про первинний пуск.....	59
Розділ 5.	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ ВЕРСТАТА.....	60
5.1	Загальні вихідні дані.....	60
5.2	Визначення витрат на конструкторську підготовку виробництва....	61
5.3	Визначення витрат на технологічну підготовку виробництва.....	64
5.4	Визначення витрат на виготовлення об'єкта та обґрунтування його оптової ціни.....	67
5.5	Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки) на новому обладнанні.....	72
5.6	Розрахунок показників економічної ефективності.....	76
Загальні висновки.....		78
Список використаних літературних джерел.....		79

Вступ

Основними напрямками економічного та соціального розвитку країни відмічається особлива роль машинобудування як бази розвитку всього народного господарства. Розвиток машинобудування повинен здійснюватись переважно інтенсивним шляхом, тобто за рахунок комплексної автоматизації та механізації, використання прогресивних технологій, без збільшення (а інколи і із скороченням) кількості робочих місць.

Вдосконалення сучасних верстатів повинно забезпечувати підвищення швидкості робочих та допоміжних рухів при відповідному підвищенні потужності привода головного руху. Виключне значення набуває підвищення надійності верстатів за рахунок насичення їх засобами контролю та вимірювання, а також введення у верстати систем діагностування.

Сучасні металорізальні верстати забезпечують виключно високу точність оброблених деталей. Відповідальні поверхні найбільш важливих деталей машин та приводів оброблюють на верстатах з похибкою в долях мікрометрів, а шорсткість поверхні при алмазному точінні не перевищує сотих долей мікрометра. Умови до точності в машинобудуванні постійно ростуть, і це, в свою чергу, ставить нові задачі перед верстатобудуванням.

Мета дипломної роботи – розробка оптимальної компоновки та основних вузлів горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь та дослідження властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців, що використовуються для обробки сферичних поверхонь.

Створення прогресивного верстата для обробки кулькових опор, які використовуються в передній підвісці, є актуальною задачею. Автомобіль з пошкодженою передньою підвіскою, основними деталями якої є кулькові опори, є небезпечним в експлуатації. Як правило, ця небезпека, може бути усунена при заміні кулькових опор в передній підвісці автомобіля. Щоб забезпечити підприємства і фірми в запасних частинах, виникає необхідність в проектуванні та виготовленні верстатів для обробки кулькових опор.

Конкурентоспроможність верстатного обладнання повинна вирішуватись, як на стадії проектування, так і при виготовленні верстата, для цього необхідно:

- підвищувати надійність обладнання при високому рівні його автоматизації;
- знижувати собівартість - при цьому зберігати на високому рівні його техніко-економічні показники;
- добиватися повної безпеки його експлуатації - при високому рівні культури виробництва.

Тема дипломної роботи: «Розробка оптимальної компоновки горизонтального трьохшпиндельного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь з дослідженням властивостей змінних безвольфрамових тришарових ріжучих пластин різців», а саме обробки кулькових опор автомобіля - актуальна по-своєму змісту, а спроектований верстат може знайти застосування в різних галузях сучасного машинобудування.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1. Аналітичний огляд відомих способів обробки верхньої кулькової опори автомобіля ВАЗ

Для обробки кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм в верхній кульковій опорі автомобіля ВАЗ використовуються верстати Одеського заводу алмазно-розточувальних верстатів.

Горизонтальний викінчувально-розточувальний верстат з рухомим столом моделі ОС 4566 використовувався для обробки кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$. Робота цього верстата основана на принципі тонкого точіння. Різання виконується на середніх швидкостях, малих подачах та глибинах, тобто стружка, що знімається має дуже малу площину перерізу. Головним рухом верстата є обертання шпинделів, рух подачі здійснює стіл. Передача обертання з електродвигуна на шпиндель здійснюється клинопасовою передачею. В верстаті використаний гідравлічний привод подачі, який просто вирішує складні задачі пов'язані з автоматизацією циклу переміщення столу і досягнення ним необхідних швидкостей. Крім цього, гідропривод забезпечує закріплення та фіксацію деталі, що обробляється. Верстат працює по циклу, який складається з прискорених та робочих переміщень столу, вмикання та вимикання обертів відповідних шпинделів та їх послідовним гальмуванням. Різальний інструмент закріплюють в спеціальних отворах борштанги, які мають центрувальний хвостовик та круглий фланець, при допомозі якого борштанги закріплюються до шпинделя розточувальної головки.

Алмазно-розточувальний верстат підвищеної точності з рухомим столом моделі ОС 790 також використовується для обробки кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$.

Верстат являється напівавтоматом, який дозволяє програмувати автоматичний цикл шляхом перестановки штекерів на комутаторі налагоджування циклів і кулачків в бічному Т-подібному пазу. Число обертів шпинделя залежить від наладки і може змінюватись за допомогою змінних шківів, або при допомозі встановленого електродвигуна, який може мати 1000, 1500, 3000

хв⁻¹. На верстаті передбачено безступінчасте регулювання робочої подачі стола в межах від 10 до 500 мм/хв і встановлюється рукоятками двох дроселів з регуляторами, які знаходяться на кришці гідропанелі на передній стінці верстата.

Обробка кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм в верхній кульковій опорі автомобіля ВАЗ на перелічених верстатах малопродуктивна, а верстати можуть налагоджуватись тільки на напівавтоматичний цикл. Тому, для обробки кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм в верхній кульковій опорі необхідно створити більш продуктивне обладнання з високим ступенем автоматизації. Розробка такого верстата буде вестись на базі алмазно-розточувального верстата моделі

ОС 790.

1.2. Огляд нормалізованих вузлів

При розробці компоновки спеціального верстата для точіння та шліфування верхньої кулькової опори $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм автомобіля ВАЗ, який буде створюватись на основі алмазно-розточувального верстата, вибираємо два напрямки:

- перший напрямок – вибір стандартних вузлів та базових деталей, які можна примініти при створенні компоновки проектного верстата;
- другий напрямок – розробка та проектування спеціальних вузлів, які необхідно внести в компоновку проектного верстата.

Стандартними вузлами всієї групи алмазно-розточувальних верстатів є: станини, столи силові, розточувальні головки, платформи, шпиндельні вузли, борштанги і т.і.

Для проектування спеціального верстата для точіння та шліфування кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм найбільш придатними є нормалізовані вузли алмазно-розточувального верстата моделі ОС 790, який спроектовано та виготовлено в СКБАРВ м. Одеси. Для розточувальних головок та шпиндельної головки необхідно буде внести відповідні зміни в їх приводи. Силові столи, станину та платформи повністю, без змін, будуть застосовані в компоновці проектного верстата.

1.3. Аналіз варіантів компоновок алмазно-розточувальних верстатів та розробка оптимальної компоновки проектного верстата

Верстати компонуються по принципу агрегування, тобто створення на базі нормалізованих, уніфікованих та оригінальних складальних одиниць спеціальних верстатів з оптимальною концентрацією технологічних операцій. Компоновка залежить від кількості та взаємного розташування оброблюваних та базових поверхонь в деталі.

Основним принципом компоновки є кількість горизонтальних, горизонтально-вертикальних чи вертикальних оброблюваних поверхонь в деталі, їх розмірів та типорозміри уніфікованих вузлів. Алмазно-розточувальні верстати характеризуються високим ступенем уніфікації, простотою та надійністю конструкції, централізованою системою змашування, дають можливість застосовувати сучасні високопродуктивні різальні матеріали. Верстати можуть поставлятися з спеціальним оснащенням: пристрої для фіксування та закріплення оброблюваних деталей, інструментом та пристроями для обслуговування верстата. Верстати також можуть оснащуватися автоматичними пристроями для установки та зняття деталей, вузлами під налагоджування різального інструменту.

Оптимальний варіант компоновки спеціального верстата для точіння та шліфування кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм розроблений на базі компоновки алмазно-розточувального верстата моделі ОС 790.

Компоновка спеціального автомата виконана по принципу агрегування, яка складається із нормалізованих вузлів та складальних одиниць змонтованих на станині. До довгої станини приєднана мала станина, що утворює основу верстата. На довгій станині спеціального автомата установлені два силових столи, на платформах яких змонтовані шпиндельні головки з їх приводами. Правий стіл має механізм малих подач. На малій станині установлена підставка, на якій монтується шпиндельна головка, яка оснащена патроном і механізмом затиску оброблюваної деталі. Привід обертання головки – двохсторонній, для забезпечення режимів точіння та шліфування. Над головкою змонтований механізм завантаження та розвантаження деталей. Біля малої станини

встановлений бак з МОР, який має фільтра грубого та тонкого очищення охолоджуючої рідини.

З боку лівого торця довгої станини розташовані електрична шафа та гідроагрегат, а з боку правого торця – гідроагрегат. До станини прикріплений пульт керування з кнопками та лампочками сигналізації і перемикачами режимів роботи.

Зона обробки заготовок закрыта кожухом.

1.4. Визначення ряду питань, які вирішуватимуться в дипломній роботі

При проектуванні спеціального верстата для точіння та шліфування верхньої кулькової опори автомобіля ВАЗ необхідно вирішити наступні питання:

- вибрати верстат, який повинен стати базою для розробки проектного верстата;
- розробка оптимального варіанту компоновки проектного верстата;
- дослідження властивостей змінних без вольфрамових тришарових ріжучих пластин;
- розробити технологічний процес обробки верхньої кулькової опори для проектного верстата;
- розробка спеціальних основних вузлів проектного верстата та їх основних характеристик;
- розробити заходи по виконанню вимог безпеки при роботі на верстаті;
- виконати організаційні та техніко-економічні розрахунки і визначити економічну ефективність проектного верстата;
- зробити висновки про доцільність використання спеціального верстата для точіння та шліфування верхньої кулькової опори автомобіля ВАЗ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМІННИХ БЕЗ ВОЛЬФРАМОВИХ ТРИШАРОВИХ РІЖУЧИХ ПЛАСТИН

Кіровоградський завод “Гідросила” розробив спосіб виготовлення тришарових ріжучих пластин. Цей спосіб високопродуктивний і дозволяє отримувати пластини практично будь-якої товщини та форми при низькій трудомісткості виготовлення.

Тришарові пластини мають основу з без вольфрамового твердого сплаву КНТ26 та поверхневі шари (товщина $0,5 \div 1$ мм) з сплаву КНТ16. Різна кількість нікелю та молібдену в основі та поверхневих шарах забезпечує різноманітні фізико-механічні властивості по перетину пластини.

Кожний шар пластини пресують з відповідної порошкової суміші, а потім їх спікають в шарувату заготовку.

В основі пластин, величина зерен $1,5 \div 2$ мкм, а в поверхневих шарах $2,5 \div 3$ мкм. Рентгеноструктурний аналіз мікро шліфів тришарових пластин, проведений за допомогою мікро аналізатора Самесу (Японія) показав, що в шарах перетину практично збереглася початкова різниця концентрацій зв’язки, а її перерозподіл не перевищував 6%.

Для виявлення ріжучих властивостей тришарових пластин були проведені порівняльні випробування суцільних пластин (типорозміру SNMA-120408 ГОСТ 19042-80) з твердих сплавів Т5К10 та КНТ16 та тришарових пластин по твердості та міцності. По цим параметрам було випробувано 90 та 150 зразків відповідно з кожного сплаву. За критерій твердості була прийнята твердість по Роквеллу, а за критерій міцності – межа міцності при поперечному згині.

З кривих розподілення твердості та міцності видно, що твердість поверхневого шару тришарових пластин вище твердості стандартних пластин та становить в середньому HRA $90 \div 91$, а міцність їх при згині $\sigma_z = 1400 \div 1500$ МПа, тобто близька по міцності пластин Т5К10. Випробування пластин на зносостійкість (при точінні) та на міцність (при фрезеруванні) були проведені в

лабораторних та виробничих умовах. Пластини типорозміру SNMA-120408 закріплювали в державках механічно.

При точінні оброблювали сталі 45, 40X та 38ХГНМ, та чавун СЧ40. Режими різання: глибина різання $t = 1$ мм; подача $s = 0,3$ мм/об; швидкість різання $v = 30 \div 200$ м/хв. За критерій зносу приймаємо знос по задній поверхні пластини $h_3 = 0,5$ мм; при випробуванні фіксували час досягнення вказаного зносу.

За результатами випробування побудовані залежності стійкості T від швидкості V для всіх пластин, що досліджуються та для різних оброблюваних матеріалів. З залежностей, отриманих при точінні сталі 38ХГНМ видно, що зносостійкість тришарових пластин в $1,2 \div 1,7$ рази вище зносостійкості стандартних пластин. Аналогічні залежності були одержані при обробці сталей 45 та 40X, та чавуна.

Випробування різців на зносостійкість та твердість дали однакові результати, тому для класу оброблюваних та ріжучих матеріалів, які розглядаються, твердість можна прийняти за критерій зносостійкості.

При фрезеруванні оброблювали сталі 40X та 45. Режим різання при обробці сталі 40X : $t = 2$ мм, $v = 65$ м/хв, $s_z = 0,52 \div 1,4$ мм/зуб. Результати випробувань довели, що при обробці сталі 40X міцність тришарових пластин вище, ніж пластин КНТ16, та нижче, ніж міцність пластин Т5К10.

В теперішній час виробляється більша кількість марок твердих сплавів, які відрізняються за міцністю та зносостійкістю. При виборі твердого сплаву перевагу тій чи іншій марці віддають головним чином в залежності від виду обробки (чистова, напівчистова, чорнова). При чистовій обробці використовують пластини з високою зносостійкістю та меншою міцністю, при чорновій – з високою міцністю та меншою зносостійкістю.

Тришарові пластини поєднують в собі високу міцність (яка визначається міцністю основи) та високу зносостійкість (що визначається твердістю поверхневих шарів). Це дозволяє значно скоротити кількість марок твердих сплавів, які застосовуються.

В даній роботі досліджені міцність залежності без вольфрамкових твердих сплавів типу КНТ при різних товщинах зразків, в яких місткість зв'язки по об'єму становить 0; 10; 20; 30; 40; 50. В загальному виді залежність, яка зв'язує міцність

σ_3 при згині та товщину S зразка, є нелінійною, але в першому наближенні передбачається можливим її реалізувати в координатах σ_3-S^2 . Тоді міцність зразка зручно характеризувати (при незмінній товщині) кутом нахилу прямої $\sigma_3(S^2)$.

При умові скорочення кількості марок твердих сплавів можливо уявити в вигляді формули:

$$[\sigma_3]_y \leq S_0^2 \operatorname{tg} \alpha + S_n^2 \operatorname{tg} \alpha_n = [\sigma_3]_m ,$$

де S_0 - товщина основи (серцевини) з високим вмістом зв'язки, що забезпечує рівномірність тришарового зв'язка суцільному, призначеному для чорнової обробки;

α_0 - кут нахилу прямої $\sigma_{3,0}(S^2)$;

S_n - товщина поверхневого шару з низьким вмістом зв'язки, що забезпечує рівну твердість тришарового зразка суцільному, призначеному для чистової обробки;

α_n - кут нахилу прямої $\sigma_{3,n}(S^2)$;

$\sigma_{3,0}$ та $\sigma_{3,n}$ - міцність при згині основи та поверхневого шару зразків;

$[\sigma_3]_c$ - межа міцності при згині суцільного зразка;

$[\sigma_3]_m$ - межа міцності при згині тришарового зразка.

Співвідношення вибраних товщин шарів та зміст зв'язки в них перевіряють по умові пластичної міцності. Для цього температурне поле по товщині поверхневого шару порівнюють з температурною залежністю твердості сплаву основи, після чого остаточно вибирають твердий сплав для тришарових пластин.

Висновок: використання змінних тришарових без вольфрамових ріжучих пластин дозволить:

1. Скоротити номенклатуру виготовлених твердосплавних пластин (наприклад, тришарові пластини зі сплаву КНТ26 з мало вольфрамовим покриттям TW14 замінюють пластини зі сплавів Т5К10, Т4К8, ВК6, ВК4, КНТ20).
2. Підвищити продуктивність обробки на 40-50 %, так як одночасно підвищуються міцність та зносостійкість ріжучих пластин.
3. Обмежити нанесення покриття на тверді сплави після спікання.
4. Скоротити витрати вольфраму, танталу, кобальту.
5. Використати безвольфрамові тверді сплави для чорнової обробки легованих сталей та чавунів.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ

3.1. Призначення та конструкція деталі

Кульковий палець є шарнірним з'єднанням ричага передньої підвіски з поворотним кулаком і забезпечує передачу всіх видів навантажень від колеса до кузова, які виникають при русі автомобіля з одночасним поворотом і вертикальними переміщеннями керованих передніх коліс.

Пальці кулькові верхні виготовляються як запасні частини для автомобілів ВАЗ 2101, ВАЗ 2102, ВАЗ 2103, ВАЗ 2104, ВАЗ 2105, ВАЗ 2106, ВАЗ 2107, ВАЗ 2121 та їх модифікацій і призначені для ремонту передньої підвіски шляхом заміни спрацьованих пальців.

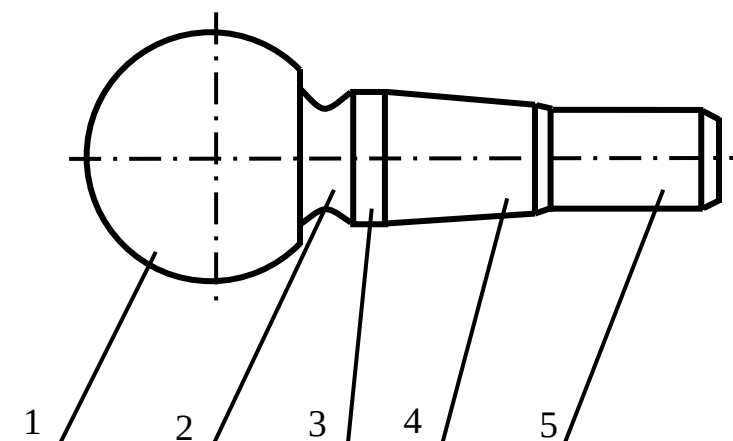


Рис.3.1. Загальний вигляд кулькового пальця та його поверхні:

- 1 – кулькова поверхня;
- 2 – підготовник – галтель;
- 3 – шийка;
- 4 – конусна поверхня;
- 5 – різбовий палець.

Кульковий палець має п'ять основних поверхонь (рис.3.1), які необхідно обробити.

Таблиця 3.1.

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

Сталь	C	Mn	Cr	Ni	Mo, V
38ХГНМ	0,35-0,43	0,80-1,10	0,50-0,80	0,70-1,00	0,2-0,5

Таблиця 3.2.

Механічні властивості хромонікелевих сталей (ГОСТ 4543-71)

Сталь	Температура, °С		σ _Т	σ _В	Δ ₅	ψ	а _н	Після відпалу
	Загартування	Відпускання	Мпа		%		Дж/см ²	
			не менше					
38ХГНМ	850	570	700	800	12	-	100	22

Таблиця 3.3.

Технологічні властивості

Сталь	Температура критичних точок, °C		Температура кування, °C		Методи зварювання
	Ac ₁	Ac ₃	початку	кінця	Складно зварюється
	725	830	1200	800	

3.2. Аналіз технологічності конструкції кулькового пальця

Верхній кульковий палець виготовляється із легованої сталі 38ХГНМ по ГОСТ 10702-78. Заготовку отримують при допомозі холодної висадки на високопродуктивних автоматах із каліброваного матеріалу. При холодній висадці заготовка підлягає під дію навантажень, які викликають повздовжній згин. Для запобігання появи браку процес холодної висадки виконують за декілька переходів. Холодна висадка дозволяє отримувати поперечні розміри деталі з точністю 8-9 квалітету; розміри по довжині з точністю 11-12 квалітету; досягнутий параметр шорсткості поверхонь $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм, що дозволяє вести подальшу механічну обробку з мінімальними припусками, підвищуючи шорсткість кулі пальця до $Ra = 0,8 \dots 0,32$ мкм.

Найкращим способом досягнення заданої точності при обробці кульки є точіння та шліфування з однієї установки. При взаємному обертанні деталі та різального інструмента (головка для обточування кульки, головка для її шліфування) розташованого під кутом $21^{\circ}49'28''$, при чому досягається дуже висока круглість, відхилення від якої не перевищують 0,3 мкм.

Деталь після механічної обробки підлягає поліпшенню (26 – 32 HRCэ), що підвищує ударну міцність та довговічність. Деталь достатньо технологічна (рис.3.2), при чому допустиме застосування високопродуктивних режимів обробки; має зручні базові поверхні для початкових операцій та порівняно проста в конструкції. Поверхні обертання 2,3,4,5 (рис. 3.1.) з заданою їх точністю можуть бути оброблені на багатошпиндельних верстатах. Кулькова поверхня 1 буде оброблятися на проектованому верстаті. При обробці кулькової поверхні необхідно отримати $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм та шорсткість 0,8 мкм (рис. 3.2.).

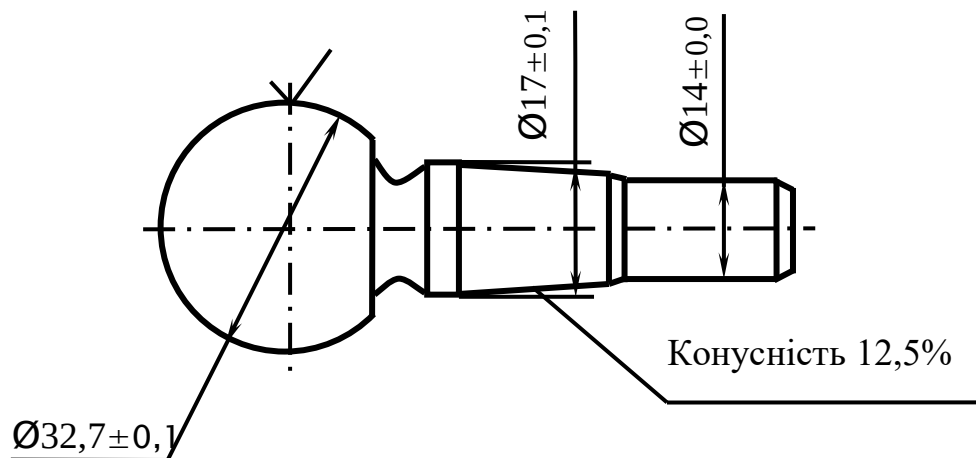


Рис.3.2. Ескіз кулькового пальця.

3.3. Базування деталі при обробці на проектованому верстаті

Для надійного закріплення деталі при обробці на проектованому верстаті, досягнення заданої точності та чистоти обробки кульки $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм з

$R_a = 0,8$ мкм намічаємо наступний метод базування і закріплення кулькового пальця (рис. 3.3.). Для підвищення продуктивності і зниження трудомісткості обробки деталі використовуємо цанговий патрон для передбаченого метода базування.

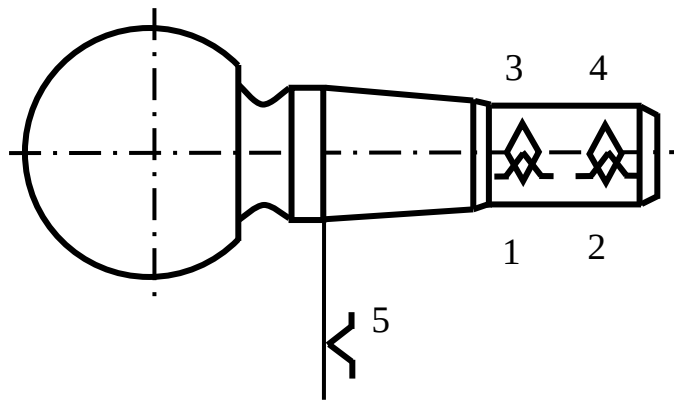


Рис.3.3. Схема базування деталі.

Конструкторською базою є конусна поверхня з більшим діаметром $\varnothing 17-0,1$ мм і конусом 12,5% та зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 14 \pm 0,06$ мм.

Технологічна база є вісь конусної та зовнішньої циліндричної поверхні, що веде до збігу конструкторської та технологічної бази.

3.4. Розробка технологічного маршруту обробки кулькового пальця на проєктованому верстаті

Технологічний маршрут обробки деталі на спеціальному горизонтальному трьохшпіндельному напівавтоматі буде складатись з наступних переходів:

1. Завантаження вручну заготовок в накопичувач (похилий скліз);
2. Доставляння заготовок автооператором до цангового патрона, при чому повинна виконуватись співвісність заготовки з цанговим патроном;
3. Подача заготовки в цанговий патрон циліндром вивантаження;
4. Затиск заготовки гідроциліндром;
5. Підведення стола з токарною головкою та вмикання низько обертового приводу;
6. Точіння деталі;
7. Відвід стола з токарною головкою та вимикання низько обертового приводу
8. Підвід стола з шліфувальною головкою та вмикання високо обертового приводу;
9. Шліфування деталі;

10. Відвід стола з шліфувальною головкою та вимикання високо обертового приводу;

11. Відтиск деталі гідроциліндром;

12. Вивантаження деталі циліндром вивантаження;

13. Переміщення деталі штовхачем на збірник (накопичуваний скліз);

14. Вивантаження вручну деталей зі збірника в касети.

3.5. Розрахунок режимів різання

На проектованому спеціальному горизонтальному трьохшпиндельному напівавтоматі за один установ деталі виконується обточка та шліфування сфери $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм на кульковому пальці.

Розрахунок режимів різання при обточці сфери.

Обточування сфери виконується спеціальною токарною головкою, яка має частоту обертання n_ϕ . В головці встановлена двохзуба фреза, яка обробляє сферу на пальці, при чому деталь має свою частоту обертання n_∂ , яка буде визначати хвилинну подачу $S_{x\phi}$. Тому режими різання будемо розраховувати як для фрезерної операції - фрезообточка.

Різальний інструмент двохзуба фреза спеціальна $Z=2$, матеріал різальної частини – твердий сплав T15K6.

При фрезерування розрізняють подачі:

S_z – подача на один зуб;

S_o – подача на один оберт;

$S_{x\phi}$ – хвилинна подача фрези або столу, мм/хв;

Ці подачі знаходяться в наступній залежності (при операції фрезообточування):

$$S_{x\phi} = S_o \cdot n_\phi = S_z \cdot n_\phi \cdot Z, \text{ мм/хв} \quad (3.1)$$

З другого боку для фрезообточування сфери необхідно щоб кульковий палець здійснив два оберти, тобто $n_\partial=2$ оберти за час обробки сфери, тоді

$$S_{x\phi} = \pi \cdot d_\phi \cdot n_\partial, \text{ мм/хв} \quad (3.2)$$

де d_ϕ – діаметр фрези, приймаємо рівним діаметру сфери, тобто $d_\phi=32,7$ мм;

$$S_{x\phi} = 3,14 \cdot 32,7 \cdot 2 = 205,46 \text{ мм/хв.}$$

Подачу на один зуб визначаємо по формулі:

$$S_z = \frac{S_i}{n_\phi \cdot z} \quad (3.3)$$

$$S_z = \frac{205,46}{2000 \cdot 2} = 0,05 \text{ мм/зуб}$$

де n_ϕ – частота обертання фрези, буде визначена по швидкості різання, $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$.

Визначаємо швидкість різання по формулі, м/хв :

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v \quad (3.4)$$

де T - стійкість фрези, $T = 120 \text{ хв}$,

t - глибина різання, $t = 0,5 \text{ мм}$;

B - ширина фрезерування, визначається по кресленню деталі:

$$\hat{A} = \frac{d_\phi}{2} + 2 + r + 2t = \frac{32,7}{2} + 11,7 + 2 \cdot 0,5 = 29,05 \text{ мм};$$

D - діаметр фрези, $D = d_\phi = 32,7 \text{ мм}$;

z – число зубців фрези, $z = 2$;

K_v - поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (3.5)$$

K_{mv} - коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу,

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_a} \right)^{n_v}, \quad (3.6)$$

$$K_{mv} = 0,7 \left(\frac{750}{980} \right)^{1,0} = 0,535$$

де $\sigma_a = 980 \text{ Мпа}$ для оброблюваного матеріалу;

K_{nv} - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки, $K_{nv} = 0,8$;

K_{uv} - коефіцієнт враховуючий матеріал різального інструменту, $K_{uv} = 1,0$;

$$K_v = 0,535 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,43$$

Значення коефіцієнтів

$C_v = 332$; $q = 0,2$; $x = 0,1$; $y = 0,4$; $u = 0,2$; $p = 0$; $m = 0,2$, тоді швидкість різання:

$$V = \frac{332 \cdot 32,7^{0,2}}{120^{0,2} \cdot 0,5^{0,1} \cdot 0,05^{0,4} \cdot 29,05^{0,2} \cdot 2^0} \cdot 0,43 = 198,3 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо число обертів фрези, хв.⁻¹:

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ хв.}^{-1} \quad (3.7)$$

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot 198,3}{3,14 \cdot 32,7} = 1932 \text{ хв.}^{-1}$$

Для подальших розрахунків приймаємо $n_{\phi} = 2000 \text{ хв.}^{-1}$, тоді

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (3.8)$$

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 32,7 \cdot 2000}{1000} = 205,5 \text{ м/хв}$$

Визначаємо силу різання. Головна складова сила різання при фрезеруванні – колова сила, яку визначаємо по формулі:

$$P'_z = \frac{10 \cdot C_{p_z} \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot Z}{D^q \cdot n_{\phi}^w} \cdot K_{mp}, \text{ Н} \quad (3.9)$$

де - C_p та показники степенів x, y, n, q, w

$$C_p = 825; \quad x = 1,0; \quad y = 0,75; \quad n = 1,1; \quad q = 1,3; \quad w = 0,2.$$

K_{mp} - поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_{\phi}}{750} \right)^n = \left(\frac{980}{750} \right)^{0,3} = 1,084, \text{ тоді} \quad (3.10)$$

$$P'_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 0,5^1 \cdot 0,05^{0,75} \cdot 29,05^{1,1} \cdot 2}{32,7^{1,3} \cdot 2000^{0,2}} \cdot 1,084 = 90,4 \text{ Н.}$$

Враховуючи допустиму величину зносу інструменту, сила зросте в 1,7 рази, тоді:

$$E_z = 1,7 \cdot P'_z = 1,7 \cdot 90,4 = 153,7 \text{ Н.}$$

Визначаємо обертовий момент на головці токарній, Н·м:

$$M_{kp} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}, \quad (3.11)$$

де D - діаметр фрези, мм;

P_z - сила різання, Н

$$M_{kp} = \frac{153,7 \cdot 32,7}{2 \cdot 100} = 25,5 \text{ Н·м.}$$

Визначаємо потужність різання (ефективну) по формулі, кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт.} \quad (3.12)$$

$$Ne = \frac{153,7 \cdot 205,5}{1020 \cdot 60} = 0,516 \text{ кВт}$$

Розраховуємо режими різання для шліфування сфери.

При врізному шліфуванні сфери необхідно створити, як обертання шліфувального інструмента, так і обертання самого кулькового пальця. А також подачу на один оберт оброблюваної деталі. Враховуючи конструкцію шліфувальної головки та шпиндельної головки, та частоту обертання електродвигунів цих приводів та їх кінематику, в першу чергу необхідно призначити частоту обертання шліфувального інструмента та частоту обертання оброблюваної деталі. При наявності двох швидкостей обертання сумарна швидкість різання буде дорівнювати сумі швидкостей інструмента та деталі:

$$V_{piz} = V_{in} + V_o, \quad (3.13)$$

при умові, що їх напрямки будуть в різних напрямках, тобто напрямом однієї швидкості по годинниковій стрілці, а другої – проти годинникової стрілки.

Визначаємо швидкість інструмента, м/с

$$V_{in} = \frac{\pi \cdot D_{in} \cdot n_{in}}{1000 \cdot 60} \quad (3.14)$$

де D_{in} – діаметр шліфувального інструменту, $D_{in} = 35$ мм;

$$V_{in} = \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 4200}{1000 \cdot 60} = 7,7 \text{ м/с}$$

Визначаємо швидкість оброблюваної деталі, м/с

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_o \cdot n_o}{1000 \cdot 60}, \quad (3.15)$$

де D_o – діаметр оброблюваної деталі,

$$D_o = 32,7 \text{ мм};$$

$$V_o = \frac{3,14 \cdot 32,7 \cdot 1100}{1000 \cdot 60} = 1,9 \text{ м/с},$$

Тоді $V_{piz} = 7,7 + 1,9 = 9,6 \text{ м/с}$.

Значення швидкості різання при шліфуванні менше, чим рекомендовані 30÷35 м/с, але ця швидкість дозволяє одержати необхідну шорсткість оброблюваної поверхні $Ra 0,16$ мкм, та краще зберігає властивості шліфувального круга.

При даному способі шліфування потужність визначається за формулою, кВт

$$Ne = C_n \cdot V_o^m \cdot S_p^y \cdot d^q \cdot \epsilon^z, \quad (3.16)$$

де d – діаметр шліфування, $d = 32,7$ мм;

b - ширина шліфування, дорівнює половині кола, тобто

$$b = \frac{\pi}{2} \cdot d = \frac{3,14}{2} \cdot 32,7 = 51,4 \text{ мм}; \quad (3.17)$$

S_p - радіальна подача,

$$S_p = 0,005 \text{ мм/об.}$$

Коефіцієнт та показники степеню призначаємо по довіднику [15].

$$m = 0,8; \quad q = 0,2; \quad z = 1,0.$$

Тоді,

$$Ne = 0,14 \cdot 1,8^{0,8} \cdot 0,005 \cdot 32,7^{0,2} \cdot 51,4^{1,0} = 0,12 \text{ кВт}$$

Розрахунки виконували за допомогою довідників [].

3.6. Технічне нормування операції виконуваної на проектованому верстаті

Штучний час на операцію визначаємо по формулі, хв :

$$T_{шт} = t_o + t_d + t_{mex} + t_{орг} + t_{відп}, \quad (3.18)$$

де t_o – основний технологічний час;

t_d - допоміжний час

t_{mex} - час на технічне обслуговування робочого місця;

$t_{орг}$ - час на організаційне обслуговування робочого місця;

$t_{відп}$ - час на відпочинок та особисті потреби робочого.

Основний час t_o розраховується по формулам, установленим виходячи із структури робочих рухів при формоутворенні оброблюваних поверхонь та режимів різання:

$$t_o = t_{o1} + t_{o2} + t_{o3}, \text{ хв} \quad (3.19)$$

де t_{o1} - основний час на обробку сфери при чорновому фрезообточуванні:

$$t_{o1} = \frac{Lp.x.}{Sx\hat{a}} = \frac{32}{200} = 0,16 \text{ хв.} \quad (3.20)$$

t_{o2} - основний час на обробку сфери при фрезообточці сфери на малих подачах:

$$t_{02} = \frac{Lp.x.}{Sxв.} = \frac{2,5}{10} = 0,25 \text{ хв.}$$

t_{03} - основний час на шліфування сфери

$$t_{03} = \frac{Lp.x.}{n_a \cdot Sp} = \frac{0,88}{1100 \cdot 0,005} = 0,16 \text{ хв.}$$

Тоді,

$$t_o = 0,16 + 0,25 + 0,16 = 0,57 \text{ хв.}$$

Допоміжний час t_{∂} , витрачає робітник на установку та зняття деталі, на керування верстатом, тобто на всі дії необхідні для виконання операції.

Основний час в сумі з допоміжним створює оперативний час, для визначення якого необхідно розглянути всі види виконуваних робіт, які утворюють загальний цикл обробки напівавтомата. При цьому будемо враховувати в оперативний час тільки той допоміжний час, який не перекривається основним часом, або паралельним допоміжним часом. Розрахунки оперативного часу заносимо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6.

Нормування операцій

№ з/п	Виконувана робота в циклі (переходи)	Час на виконання переходу циклу, хв	Оперативний час, хв	Допоміжний час, хв
1	2	3	4	5
1	Взяти деталь, установити на похилий збірник, зняти деталь	0,03	-	-
2	Вмикання верстата на виконання циклу	0,01	0,01	0,01
3	Переміщення автооператора вниз	0,025	0,025	0,025
4	Рух штовхача назад	0,016	-	-
5	Робота циліндра вивантаження на подачу деталі вперед	0,02	0,02	0,02
6	Робота циліндра вивантаження на подачу деталі назад	0,016	-	-
7	Робота циліндра затиску деталі	0,016	0,016	0,016
8	Переміщення автооператора вверх	0,018	-	-
9	Переміщення стола з фрезообточною головкою	0,016	0,016	0,016
10	Ввід низькообертового привода	0,02	-	-

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
11	Робоча подача стола з фрезообточною головкою	0,16	0,16	-
12	Робота механізму малих подач	0,25	0,25	-
13	Переміщення відсікача вперед	0,03	-	-
14	Швидке переміщення стола з фрезообточною головкою назад	0,016	-	-
15	Переміщення відсікача назад	0,9	-	-
16	Відвід низько обертового привода	0,02	-	-
17	Переміщення стола з шліфувальною головкою вперед	0,016	0,016	0,016
18	Витримка часу на шліфування	0,16	0,16	-
19	Робота циліндра на досилку деталі	0,03	-	-
20	Переміщення стола з шліфувальною головкою назад	0,018	0,018	0,018
21	Робота циліндра вивантаження деталі вперед	0,023	-	-
22	Робота циліндра затиску деталі на відкріплення	0,01	-	-
23	Переміщення штовхача назад	0,016	-	-
24	Вивантаження стружки	0,013	-	-
25	Перехідні процеси	0,043	0,043	0,043
26	Всього	-	0,0734	0,0164

Час на технічне обслуговування робочого місця визначають по формулі, хв:

$$t_{mex} = \frac{t_o \cdot a_{TEX}}{100}, \quad (3.21)$$

де t_o – оперативний час з табл.

$$t_o = 0,734 \text{ хв};$$

a_{TEX} - відсоток, який залежить від типу виробництва,

$$a_{TEX} = 5 \%;$$

$$t_{mex} = \frac{0,734 \cdot 5}{100} = 0,037 \text{ хв.}$$

Час на організаційне обслуговування робочого місця визначається за формулою, хв:

$$t_{opz} = \frac{t_o \cdot a_{opz}}{100}, \quad (3.22)$$

де $a_{opz} = 0,29 \%$, тоді

$$t_{opz} = \frac{0,734 \cdot 2,9}{100} = 0,021 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок та особисті потреби робочого визначаємо за формулою,

хв

$$t_{відп} = \frac{t_o \cdot a_{відп}}{100}, \quad (3.23)$$

де $a_{відп} = 6 \%$, тоді
$$t_{відп} = \frac{0,734 \cdot 6}{100} = 0,044 \text{ хв.}$$

Штучний час на операцію на проектованому верстаті:

$$T_{шт} = t_o + t_{д} + t_{тех} + t_{орг} + t_{відп} = 0,734 + 0,037 + 0,021 + 0,044 = 0,836 \text{ хв.}$$

Розрахунки виконували за допомогою довідника [].

РОЗРОБКА КОМПОНОВКИ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1. Призначення, принцип роботи проектного верстата та його складальних одиниць.

Горизонтальний трьохшпindelний токарно-шліфувальний напівавтомат з одно позиційним пристосуванням для оброблюваної деталі, призначений для обточки та шліфування сфери $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм в кульковому пальці верхньої опори.

Принцип роботи верстата полягає в тому, що обробка сфери ведеться послідовно, при чому рухи формоутворення сфери при обточці та шліфуванні подібні, але режими обробки різні. Оброблювана деталь за час обробки має дві різні частоти обертання – при обточці меншу, а при шліфуванні - значно більшу. Інструмент отримує обертальний рух відносно своєї осі, та поступовий рух подачі повздовж своєї осі. Всі робочі рухи та рухи допоміжні, які існують на проектованому напівавтоматі, дозволяють одержати форму сфери з технічними вимогами, які пред'являють до оброблюваної деталі. Верстат працює в напівавтоматичному циклі. Після завершення чергового циклу робочі органи напівавтомата зупиняються в початковому положенні, після чого оброблена деталь вивантажується, установлюють заготовку і цикл повторюється.

Напівавтомат складається із наступних складальних одиниць:

1. Базова частина має дві станини – малу та велику, пульт керування. Мала станина приєднана до довгої сторони великої станини. Складена станина є основою для монтажу складальних одиниць напівавтомата. Станини із чавуна, ливарні, коробчатої форми з жолобами для збирання та відведення МОР. Вони містять в собі також опорні балки і підкладки для установки верстата на фундамент.

2. Силіовий стіл призначений для переміщення шпindelної головки. Стіл встановлюється на платформі, яка в свою чергу має напрямні відповідної форми до напрямних верхньої площини станини. Приводом силіового столу є

гідроциліндр. Для керування циклом переміщення платформи на основі стола прикріплюють індуктивні датчики, які спрацьовують при відповідному положенні платформи.

3. Головка шпиндельна, яка несе привід закріплення та відкріплення деталі. Головка призначена для закріплення та обертання деталі. Вона являє собою корпус, в якому на двох радіально-упорних підшипниках установлений шпиндель з внутрішнім отвором для проходу тяг, відкріплення та виштовхування деталі. На хвостовій частині шпинделя закріплені приводні шестерня та шків.

4. Пристрій для закріплення деталі представляє собою цанговий патрон. Затиск цанги здійснюється під дією тарілчастих пружин, таким чином навіть при зникненні тиску в системі деталь залишається закріпленою в патроні.

5. Привід відкріплення призначений для зняття зусиль відкріплення та виштовхування деталі із патрона. Виштовхування деталі здійснюється другим гідроциліндром, через штовхач. Штовхач другого гідроциліндра проходить через гідроциліндр і штовхач відкріплення деталі. Гідроциліндри встановлені один за одним співвісно з шпинделем, закріплених на плитах, які переміщуються по скалці. При цьому здійснюється повне розвантаження підшипникових опор від осевих зусиль, які створюють гідроциліндри.

6. Привід обертання шпиндельної головки призначений для створення режимів різання необхідних для обточки та шліфування сфери кулькового пальця, шпиндель має два ступеня чисел обертів. На менших числах обертів виконується обточка, на більших шліфування. Вузол має два привода – зубчастий та пасовий. Пасовий привід включає в себе електродвигун, встановлений на під моторну плиту та пасову передачу, яка зв'язує шків електродвигуна з шківом шпинделя. Натяг пасів здійснюється переміщенням під моторної плити з електродвигуном. За допомогою цього привода отримують більші числа обертів. Зубчастий привід складається з черв'ячно-циліндричного редуктора та відкритої зубчастої циліндричної передачі. Перед вмиканням швидкохідної пасової передачі, з допомогою гідроциліндра здійснюється відхід редуктора, при цьому відкрите зубчасте колесо виходить із зачеплення з другим колесом. Положення редуктора контролюється індуктивними датчиками.

7. Головка обточувальна, яка несе різальний інструмент для обточки сфери кулькового пальця. Головка представляє собою корпус, в якому на двох радіально-упорних підшипникових опорах встановлений шпиндель. На хвостовій частині шпинделя закріплений шків.

8. Привід обертання головки для обточки сфери складається з електродвигуна, який встановлений на під моторну плиту та пасової передачі, яка з'єднує шків електродвигуна з шківом головки. Натяг пасів здійснюється переміщенням під моторної плити з електродвигуном.

9. Механізм малих подач представляє собою важільну систему. При першій робочій подачі стіл знаходиться на упор важеля. Важіль другим своїм кінцем упирається в шток циліндра, який чинить опір переміщенню стола. Таким чином здійснюється уповільнення подачі стола.

10. Головка шпиндельна, яка несе шліфувальну оправку, призначена для закріплення та обертання шліфувальної оправки. Головка представляє собою корпус, в якому на двох радіально-упорних підшипникових опорах встановлений шпиндель з внутрішнім отвором для підвода повітря, яке необхідне для роботи шліфувальної оправки. На хвостовій частині шпинделя закріплений приводний шків пасової передачі та колектор для підвода повітря.

11. Шліфувальна оправка призначена для шліфування сфери кулькового пальця. Шліфувальний камінь встановлений в державці, яка закріплюється на плунжері. Повітря, яке надходить в корпус оправки, діє на плунжер, утворює зусилля, необхідне для шліфування.

12. Привід обертання шліфувальної головки призначений для створення швидкості різання при шліфуванні сфери кулькового пальця. Привід складається з електродвигуна встановленого на під моторну плиту та пасової передачі, яка з'єднує кінематично електродвигун та головку. Натяг пасів здійснюється переміщенням під моторної плити з електродвигуном.

13. Механізм завантаження та механізм розвантажування деталей встановлений вертикально на похилений склиз і деталі під дією власної ваги переміщуються до відсікача. Є можливість регулювання нахилу склиза та контроль наявності деталей у відсікача. Відсікач пропускає по одній деталі в зону підйомника, в якому деталь орієнтується з допомогою штовхаючого

гідроциліндра. Після цього підйомник з деталлю опускається вниз і деталь встановлюється співвісно з віссю патрона. Шток циліндра розвантаження досилає деталь в патрон. Підйомник уходить вгору. Після обробки деталь виштовхується із патрона і попадає в приймач циліндра розвантаження. Циліндр розвантаження віднесе деталь в зону розвантаження, де деталь наштовхується на клин, випадає на похилий скліз і попадає в накопичувач.

14. Шнек для прибирання стружки відводе стружку та абразивний пил в бак МОР. Приводом шнека слугує гідроциліндр, який через спеціальні зубчасті зачеплення передає штоку періодичні обертаючі рухи.

15. Бак МОР призначений для регенерації та подачі МОР на верстат. Забруднена МОР через магнітний сепаратор поступає в бак грубого очищення, а звідти перекачується на фільтр-транспортёр, який затримує абразивні вclusions. Очищена МОР потрапляє в бак, а звідти потрапляє знову в зону різання.

4.2. Проектування та розрахунок привода обертання обточувальної головки

4.2.1. Вибір електродвигуна.

Визначаємо потужність електродвигуна по формулі

$$N_e = \frac{N_{piz}}{\eta}, \quad (4.1)$$

Де $N_{piz} = 0,516$ кВт – потужність різання при точінні;

η - ККД привода;

$$\eta = \eta_{n.n}^{2,5} \cdot \eta_{p.n} = 0,98^{2,5} \cdot 0,95 = 0,903,$$

$$N_e = \frac{0,516}{0,903} = 0,6 \text{ кВт.}$$

Враховуючи можливі перевантаження привода приймаємо електродвигун 4A90L2Y3:

$$n_c = 3000 \text{ хв}^{-1}; \quad n = 2840 \text{ хв}^{-1}; \quad N = 3 \text{ кВт};$$

$$ККД = 86,5\%; \quad \cos \varphi = 0,83; \quad E = 0,02$$

$$\frac{T_{пуск}}{T_{ном}} = 2; \quad \frac{T_{макс}}{T_{ном}} = 2,2.$$

Обертовий момент на швидкохідному валу визначаємо по формулі:

$$T_B = 9550 \cdot \frac{3}{2840} = 10,08 \text{ Н.}$$

4.2.2. Проектування та розрахунок клинопасової передачі.

Визначаємо передаточне відношення привода при $n_B = 2000 \text{ хв}^{-1}$:

$$U = \frac{n_e}{n_{\phi i}} = \frac{2840}{2000} = 1,42$$

По обертовому моменту приймаємо переріз пасу “0” з розмірами :

$$B_p = 8,5 \text{ мм}; \quad B_o = 10 \text{ мм}; \quad Y_o = 2,1 \text{ мм}; \quad F_1 = 47 \text{ мм}^2; \quad h = 47 \text{ мм}^2.$$

Схема клинопасової передачі (рис.4.2.).

Діаметр меншого шківу визначаємо по формулі, мм:

$$d_{p1} = (1100 \dots 1300) \cdot \sqrt[3]{\frac{N_e}{n_e}}; \quad (4.2)$$

$$d_{p1} = 1100 \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{2840}} = 112 \text{ мм}$$

Діаметр більшого шківу визначаємо по формулі, мм:

$$d_{p2} = d_{p1} \cdot U (1 - E) \quad (4.3)$$

$$d_{p2} = 112 \cdot 1,42 (1 - 0,02) = 153 \text{ мм}$$

По ГОСТ 17383-73 приймаємо $d_{p2} = 160 \text{ мм}$.

Тоді фактичне передаточне відношення:

$$U_p = \frac{160}{112 \cdot (1 - 0,02)} = 1,4$$

Швидкість паса визначаємо по формулі:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{p1} \cdot n_e}{60 \cdot 1000}; \quad (4.4)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 112 \cdot 2840}{60 \cdot 1000} = 16,6 \text{ м/с.}$$

Частота обертання відомого вала визначається по формулі:

$$n_{\phi} = \frac{d_{p1} \cdot n_e \cdot (u - 0,02)}{d_{p2}}, \quad (4.5)$$

$$n_{\omega} = \frac{112 \cdot 2840 \cdot (1 - 0,02)}{160} = 2000 \text{ хв.}^{-1}.$$

Міжосьову відстань визначаємо по формулі:

$$a = 1,3 \cdot d_{p2} = 1,3 \cdot 160 = 208 \text{ мм}$$

Розрахункову довжину паса визначаємо по формулі:

$$L_o = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_{p1} + d_{p2}) + \frac{(d_{p2} - d_{p1})^2}{4 \cdot a}, \text{ мм} \quad (4.6)$$

$$L_o = 2 \cdot 208 + \frac{3,14}{2} \cdot (112 + 160) + \frac{(160 - 112)^2}{4 \cdot 208} = 846 \text{ мм}$$

Стандартна довжина паса $L = 800 \text{ мм}$.

По стандартній довжині L уточнюємо міжосьову відстань по формулі:

$$a = \frac{2 \cdot L - \pi \cdot (d_{p1} + d_{p2}) + \sqrt{[2 \cdot L - \pi \cdot (d_{p1} + d_{p2})]^2 - 8 \cdot (d_{p2} - d_{p1})^2}}{8}, \text{ мм} \quad (4.7)$$

$$a = \frac{2 \cdot 800 - 3,14 \cdot (112 + 160) + \sqrt{[2 \cdot 800 - 3,14 \cdot (112 + 160)]^2 - 8 \cdot (160 - 112)^2}}{8} = 185 \text{ мм}$$

Мінімальну міжосьову відстань визначаємо по формулі:

$$a_{\min} = a - 0,01 \cdot L = 185 - 0,01 \cdot 800 = 177 \text{ мм};$$

Максимальну міжосьову відстань визначаємо по формулі:

$$a_{\max} = a + 0,025 \cdot L = 185 + 0,025 \cdot 800 = 205 \text{ мм}.$$

Кут обхвату на меншому шківу:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{(d_{p1} - d_{p2})}{L}, \text{ град.} \quad (4.8)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{(160 - 112)}{800} = 176^\circ$$

$$\alpha_1 = 176 < [\alpha_1] = 110^\circ.$$

Вихідна довжина паса:

$$L' = 1320 \text{ мм}$$

Відносна довжина паса:

$$L'/L = 1320/800 = 1,65$$

Коефіцієнт довжини:

$$C_L = 1,1$$

Вихідна потужність при $d_{p1} = 112 \text{ мм}$, $V = 16,6 \text{ м/с}$ - $N_o = 1,67 \text{ кВт}$.

Коефіцієнт кута обхвату:

$$C_L = 0,98$$

Поправка до обертового моменту на передаточне число: $\Delta T = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Поправка до потужності визначається по формулі:

$$\Delta N_u = 0,001 \cdot \Delta T \cdot n_{ш},$$

$$\Delta N_u = 0,001 \cdot 0,35 \cdot 2840 = 0,099 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт режиму роботи при вказаному навантаженні:

$$C_p = 0,73$$

Допустиму потужність на один пас визначаємо по формулі:

$$[N] = (N_0 \cdot C_\alpha \cdot C_L + \Delta N_u) \cdot \tilde{N}_p \quad (4.9)$$

$$[N] = (1,67 \cdot 0,98 \cdot 1,1 + 0,099) \cdot 0,73 = 1,39 \text{ кВт}$$

Розрахункове число пасів визначаємо по формулі:

$$Z = \frac{N_e}{[N]} = \frac{3}{1,39} = 2,1$$

Приймаємо число пасів: $Z' = 2$.

Зусилля початкового натягу пасу:

$$S_{o1} = \frac{780 \cdot N_e}{V \cdot C_\alpha \cdot C_p \cdot Z'} + 0,07 \cdot V^2, \text{ Н} \quad (4.10)$$

$$S_{o1} = \frac{780 \cdot 3}{16,6 \cdot 0,98 \cdot 0,73 \cdot 2} + 0,07 \cdot 16,6^2 = 117,8 \text{ Н}$$

Зусилля, яке діє на вали передачі визначаємо по формулі, Н:

$$Q = Z' \cdot S_{o1} \cdot 2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ Н} \quad (4.11)$$

$$Q = 2 \cdot 117,8 \cdot 2 \cdot \sin \frac{176^\circ}{2} = 470,9 \text{ Н}$$

Визначаємо розмір обода шківів, мм:

$$d_{l1} = d_{p1} + 2 \cdot B = 112 + 2 \cdot 2,5 = 117 \text{ мм}$$

$$d_{l2} = d_{p2} + 2 \cdot B = 160 + 2 \cdot 2,5 = 165 \text{ мм}$$

Останні розміри:

$$l_p = 8,5 \text{ мм}; \quad h = 7 \text{ мм}; \quad e = 2,5 \text{ мм}; \quad l = 12 \pm 0,3 \text{ мм}; \quad f = 8 \pm 1 \text{ мм}; \quad r = 0,5 \text{ мм}; \quad \alpha = 38^\circ$$

4.2.3. Перевірочний розрахунок шпонкових з'єднань на електродвигуні та шпинделі.

4.2.3.1. Перевірочний розрахунок шпонки на шпинделі.

Для шпинделя з діаметром під шпонку $\varnothing 60$ мм вибираємо шпонку призматичну з плоскими торцями. Параметри шпонки:

$$b \times h = 6 \times 6 \text{ мм}; \quad l = 36 \text{ мм}; \quad t_1 = 3,5 \text{ мм}; \quad t_2 = 2,8 \text{ мм}.$$

Робоча довжина шпонки виконання 1 по ГОСТ 10748 – 79:

$$l_p = l - b = 36 - 6 = 30 \text{ мм}$$

Перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання на зминання виконуємо по формулі:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d \cdot l \cdot (b - t_1)}, \text{МПа} \quad (4.12)$$

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 10,21 \cdot 10^3}{60 \cdot 10 \cdot (6 - 3,5)} = 4,53 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{см} = 4,53 \text{ МПа} < [\sigma_{см}] = 80 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

4.2.3.2. Перевірочний розрахунок шпонки на валу електродвигуна.

Для вала електродвигуна з діаметром під шпонку $d = 24$ мм вибираємо шпонку призматичну з плоскими торцями.

Параметри шпонки:

$$b \times h = 8 \times 7 \text{ мм}; \quad l = 32 \text{ мм}; \quad t_1 = 4 \text{ мм}; \quad t_2 = 2,8 \text{ мм}.$$

Робоча довжина шпонки виконання 1 по ГОСТ 10748 – 79:

$$l_p = l - b = 32 - 8 = 24 \text{ мм}$$

Перевірочний розрахунок шпонки на зминання виконуємо по формулі:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d \cdot l \cdot (b - t_1)} = \frac{2 \cdot 10,08 \cdot 10^3}{24 \cdot 24 \cdot (7 - 4)} = 11,66 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{зм} = 11,66 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}] = 80 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Розрахунки виконували за довідниками [].

4.3. Проектування та розрахунок привода обертання шліфувальної головки

4.3.1. Вибір електродвигуна.

Визначаємо потужність електродвигуна по формулі

$$N_e = \frac{N_{piz}}{\eta}, \quad (4.13)$$

Де $N_{piz} = 0,12$ кВт – потужність різання при точінні;

η - ККД привода;

$$\eta = \eta_{n.n}^{2,5} \cdot \eta_{p.n} = 0,98^{2,5} \cdot 0,95 = 0,903,$$

$$N_e = \frac{0,12}{0,903} = 0,14 \text{ кВт.}$$

Враховуючи можливі перевантаження привода приймаємо електродвигун 4A80B2Y3 по ГОСТ 19523-81

$$n_c = 3000 \text{ об/хв}; \quad n = 2850 \text{ об/хв}; \quad N = 2,2 \text{ кВт};$$

$$\text{ККД} = 85,5\%; \quad \cos \varphi = 0,83; \quad E = 0,02$$

$$\frac{T_{пуск}}{T_{ном}} = 2; \quad \frac{T_{макс}}{T_{ном}} = 2,2.$$

Обертовий момент на швидкохідному валу визначаємо по формулі (рис.4.3.):

$$T_B = 9550 \cdot \frac{2,2}{2850} = 7,37 \text{ Н•м}$$

4.3.2. Проектування та розрахунок клинопасової передачі.

Визначаємо передаточне відношення привода при $n_{um} = 4200 \text{ хв}^{-1}$:

$$U = \frac{n_e}{n_{um}} = \frac{2850}{4200} = 0,68$$

По обертовому моменту приймаємо переріз пасу “0” з розмірами :

$$B_p = 8,5 \text{ мм}; \quad B_o = 10 \text{ мм}; \quad Y_o = 2,1 \text{ мм}; \quad F_1 = 47 \text{ мм}^2; \quad h = 6 \text{ мм}^2.$$

Схема клинопасової передачі (рис.4.4.).

Діаметр ведучого шківу визначаємо по формулі, мм:

$$d_{p1} = (1100 \dots 1300) \cdot \sqrt[3]{\frac{N_e}{n_e}}; \quad (4.14)$$

$$d_{p1} = 1300 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,1}{2850}} = 119,25 \text{ мм.}$$

Так як в проєктованій передачі нема жорстких обмежень до габаритів передач, то для підвищення довговічності паса, тягових здібностей, для зменшення напруги згинання в пасі, приймаємо $d_{p1} = 150 \text{ мм}$.

Діаметр відомого шківу визначаємо по формулі, мм:

$$d_{p2} = d_{p1} \cdot U (1 - E), \text{мм} \quad (4.15)$$

$$d_{p2} = 150 \cdot 0,68 \cdot (1 - 0,02) = 99,96 \text{ мм}$$

По ГОСТ 17383-73 приймаємо $d_{p2} = 100 \text{ мм}$.

Тоді фактичне передаточне відношення:

$$U_p = \frac{100}{150 \cdot (1 - 0,02)} = 0,68$$

Швидкість паса визначаємо по формулі:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{p1} \cdot n_e}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с} \quad (4.16)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 2850}{60 \cdot 1000} = 22,4 \text{ м/с.}$$

Частота обертання відомого вала визначається по формулі:

$$n_{uu} = \frac{d_{p1} \cdot n_e \cdot (u - 0,02)}{d_{p2}}, \text{ хв.}^{-1} \quad (4.17)$$

$$n_{uu} = \frac{150 \cdot 2850 \cdot (1 - 0,02)}{100} = 4200 \text{ хв.}^{-1}.$$

Міжосьову відстань визначаємо по формулі:

$$a = 1,65 \cdot d_{p2} = 1,65 \cdot 100 = 165 \text{ мм}$$

Розрахункову довжину паса визначаємо по формулі:

$$L_o = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_{p1} + d_{p2}) + \frac{(d_{p2} - d_{p1})^2}{4 \cdot a}, \text{мм} \quad (4.18)$$

$$L_o = 2 \cdot 165 + \frac{3,14}{2} \cdot (100 + 150) + \frac{(150 - 100)^2}{4 \cdot 165} = 726 \text{ мм}$$

Стандартна довжина паса $L = 710 \text{ мм}$.

По стандартній довжині L уточнюємо міжосьову відстань по формулі:

$$a = \frac{2 \cdot L - \pi \cdot (d_{p1} + d_{p2}) + \sqrt{[2 \cdot L - \pi \cdot (d_{p1} + d_{p2})]^2 - 8 \cdot (d_{p2} - d_{p1})^2}}{8}, \text{мм}$$

(4.19)

$$a = \frac{2 \cdot 710 - 3,14 \cdot (150 + 100) + \sqrt{[2 \cdot 710 - 3,14 \cdot (150 + 100)]^2 - 8 \cdot (100 - 150)^2}}{8} = 156 \text{ мм}$$

Мінімальну міжосьову відстань визначаємо по формулі:

$$a_{\min} = a - 0,01 \cdot L = 156 - 0,01 \cdot 710 = 149 \text{ мм};$$

Максимальну міжосьову відстань визначаємо по формулі:

$$a_{\max} = a + 0,025 \cdot L = 156 + 0,025 \cdot 710 = 173,75 \text{ мм}.$$

Кут обхвату на меншому шківу:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{(d_{p1} - d_{p2})}{L}, \text{глад.} \quad (4.20)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{(150 - 100)}{710} = 160^\circ$$

$$\alpha_1 = 160^\circ < [\alpha_1] = 110^\circ.$$

Вихідна довжина паса:

$$L' = 1320 \text{ мм}$$

Відносна довжина паса:

$$L'/L = 1320/710 = 1,85$$

Коефіцієнт довжини:

$$C_L = 1,1$$

Вихідна потужність при $d_{p1} = 150 \text{ мм}$, $V = 12,2 \text{ м/с}$ - $N_o = 1,97 \text{ кВт}$.

Коефіцієнт кута обхвату:

$$C_L = 0,95$$

Поправка до обертового моменту на передаточне число: $\Delta T = 0,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Поправка до потужності визначається по формулі:

$$\Delta N_u = 0,001 \cdot \Delta T \cdot n_u, \text{ кВт} \quad (4.21)$$

$$\Delta N_u = 0,001 \cdot 0,3 \cdot 2850 = 0,085 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт режиму роботи при вказаному навантаженні:

$$C_p = 0,73$$

Допустиму потужність на один пас визначаємо по формулі:

$$[N] = (N_0 \cdot C_\alpha \cdot C_L + \Delta Nu) \cdot C_p, \text{кВт} \quad (4.22)$$

$$[N] = (1,97 \cdot 0,95 \cdot 1,1 + 0,085) \cdot 0,73 = 1,56 \text{кВт}$$

Розрахункове число пасів визначаємо по формулі:

$$Z = \frac{Ne}{[N]} = \frac{2,2}{1,56} = 1,41$$

Приймаємо число пасів: $Z' = 2$.

Зусилля початкового натягу пасу:

$$S_{o1} = \frac{780 \cdot Ne}{V \cdot C_\alpha \cdot C_p \cdot Z'} + 0,07 \cdot V^2, \text{Н} \quad (4.23)$$

$$S_{o1} = \frac{780 \cdot 2,2}{22,4 \cdot 0,95 \cdot 0,73 \cdot 2} + 0,1 \cdot 22,4^2 = 105,4 \text{ Н}$$

Зусилля, яке діє на вали передачі визначаємо по формулі, Н:

$$Q = Z' \cdot S_{o1} \cdot 2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \text{Н} \quad (4.24)$$

$$Q = 2 \cdot 105,4 \cdot 2 \cdot \sin \frac{160^\circ}{2} = 470,9 \text{ Н}$$

Визначаємо розмір обода шківів, мм:

$$d_{l1} = d_{p1} + 2 \cdot B = 150 + 2 \cdot 2,5 = 155 \text{мм}$$

$$d_{l2} = d_{p2} + 2 \cdot B = 100 + 2 \cdot 2,5 = 105 \text{мм}$$

Останні розміри:

$$l_p = 8,5 \text{ мм}; \quad h = 7 \text{ мм}; \quad e = 2,5 \text{ мм}; \quad l = 12 \pm 0,3 \text{ мм}; \quad f = 8 \pm 1 \text{ мм}; \\ r = 0,5 \text{ мм}; \quad \alpha = 38^\circ$$

4.3.3. Перевірочний розрахунок шпонки на електродвигуні та шпинделі.

4.3.3.1. Перевірочний розрахунок шпонки на шпинделі.

Для шпинделя з діаметром під шпонку $\varnothing 60$ мм вибираємо шпонку призматичну з плоскими торцями. Параметри шпонки:

$$b \times h = 6 \times 6 \text{ мм}; \quad l = 36 \text{ мм}; \quad t_1 = 3,5 \text{ мм}; \quad t_2 = 2,8 \text{ мм}.$$

Робоча довжина шпонки виконання 1 по ГОСТ 10748 – 79:

$$l_p = l - b = 36 - 6 = 30 \text{ мм}$$

Перевірочний розрахунок шпонки на зминання виконуємо по формулі:

$$\sigma_{cm} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d \cdot l \cdot (b - t_1)} = \frac{2 \cdot 1,19 \cdot 10^3}{60 \cdot 10 \cdot (6 - 3,5)} = 0,528 \text{ МПа}$$

$$T = 9550 \cdot \frac{N_{ел}}{n_{ел}} = 9550 \cdot \frac{0,528}{4200} = 1,19 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_{cm} = 0,528 \text{ МПа} < [\sigma_{cm}] = 80 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

4.3.3.2. Перевірочний розрахунок шпонки на валу електродвигуна.

Для вала електродвигуна з діаметром під шпонку $d = 22$ мм вибираємо шпонку призматичну з плоскими торцями.

Параметри шпонки:

$$b \times h = 8 \times 7 \text{ мм}; \quad l = 25 \text{ мм}; \quad t_1 = 4 \text{ мм}; \quad t_2 = 3,3 \text{ мм}.$$

Робоча довжина шпонки виконання 1 по ГОСТ 10748 – 79:

$$l_p = l - b = 25 - 8 = 17 \text{ мм}$$

Перевірочний розрахунок шпонки на зминання виконуємо по формулі:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d \cdot l \cdot (b - t_1)} = \frac{2 \cdot 7,37 \cdot 10^3}{22 \cdot 20 \cdot (7 - 4)} = 11,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{зи} = 11,6 \text{ МПа} < [\sigma_{зи}] = 80 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Розрахунки виконували за довідниками [6,8].

4.4. Перевірочний розрахунок напрямних силового стола

Дано:

- 1) Форма та конструктивні параметри (по паспорту силового стола).
- 2) $G_1 = 175 \text{ кг} = 1750 \text{ Н}$ - вага шпіндельної головки; центр тяжіння розташований на відстані $X_{G1} = 156 \text{ мм}$.
- 3) $G_2 = 45 \text{ кг} = 450 \text{ Н}$ - вага двигуна.
- 4) Силкові фактори процесу різання згідно ТУ на верстат представлені у вигляді наступних параметрів: фреза торцева; $D = 32,7 \text{ мм}$ - діаметр фрези; $Z = 2$ - число зубців фрези; ширина фрезерування $B = 29 \text{ мм}$; глибина різання $t = 0,5 \text{ мм}$; подача на зуб $S_Z = 0,0514 \text{ мм/зуб}$.

5) Вихідні зазори в напрямних: $\Delta Z=4\text{мм}$, $\Delta y=4\text{мм}$.

Розрахунок напрямних (рис.4.5) ведемо по питомим тискам та контактним деформаціям Напрямні розраховуємо в наступній послідовності:

1. Розраховуємо складові технологічного навантаження:

- колове зусилля (тангенціальна складова) фрезерування визначаємо по формулі, Н :

$$P_{\tau} = 50 \cdot t^{0,9} \cdot S_z^{0,72} \cdot Z \cdot \left(\frac{B}{D} \right)^{1,14}, \text{Н} \quad (4.25)$$

$$P_{\tau} = 50 \cdot 0,5^{0,9} \cdot 0,054^{0,72} \cdot 2 \cdot \left(\frac{29}{32,7} \right)^{1,14} = 55 \text{ Н.}$$

- радіальну складову визначаємо по формулі, Н :

$$P_z = 0,4 \cdot P_{\tau}, \text{Н} \quad (4.26)$$

$$P_z = 0,4 \cdot 55 = 22 \text{ Н.}$$

2. Визначаємо пружні переміщення: шпindel ь знаходиться в крайньому правому положенні XOZ

Визначаємо величину перекидного моменту по формулі, Н·м:

$$M_y = M_{yn} = \sum M(Z) = -P_z (X_z + 452) + G_1 \cdot 156 - G_2 \cdot 436$$

$$M_y = M_{yn} = \sum M(Z) = -22 (163,5 + 452) + 1750 \cdot 156 - 450 \cdot 436 = 903,41 \text{ Н·м}$$

Визначаємо сумарне навантаження по формулі, Н:

$$P = \sum_{i=1}^y P_z = G_1 - G_2 - P, \text{Н} \quad (4.27)$$

$$P = 1750 - 450 - 22 = 1278 \text{ Н}$$

Визначаємо m_y по формулі:

$$m_y = \frac{M_{yn}}{P \cdot L}, \quad (4.28)$$

де L - довжина напрямних.

$$m_y = \frac{903,41}{1278 \cdot 106,5} = 0,663$$

$$m_y = 0,663 > \frac{1}{6} = 0,166$$

Визначаємо співвідношення:

$$n'_z = \frac{\Delta Z}{K \cdot \sigma_z}, \quad (4.29)$$

де K - коефіцієнти контактної податливості напрямних,

$$K = 1,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{мкм} \cdot \text{М}^2}{\text{Н}}$$

ΔZ - зазор в напрямних, $\Delta Z = 4$ мкм

σ_z - середній тиск.

Середній тиск визначаємо по формулі:

$$\sigma_z = \frac{P}{(a_1 + c) \cdot L}, \text{ Н/мм}^2 \quad (4.30)$$

$$\sigma_z = \frac{1278}{(4 + 4) \cdot 106,6} = 15 \text{ Н/мм}^2$$

$$n'_z = \frac{4}{1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,15} = 17,7.$$

З іншого боку:

$$n_z = \frac{m_y - \frac{1}{6}}{1,5 \cdot (0,5 - m_y)^2}, \quad (4.31)$$

$$n_z = \frac{0,663 - \frac{1}{6}}{1,5 \cdot (0,5 - 0,663)^2} = 12,4$$

Тобто, при $m_y > 1/6$ та $n'_z > n_z$ має місце другий випадок, коли працюють основні грані і тиск розподіляється не по всій довжині напрямних.

Для цього випадку кут повороту обточувальної головки визначаємо по залежності:

$$\varphi_{y.n} = \frac{12 \cdot M_{y.n} \cdot K \cdot C_{y.n}}{(a + c) \cdot L^3}, \text{ мкм/м.} \quad (4.32)$$

де $C_{y.n}$ - коефіцієнт, який враховує розподіл тиску не по всій довжині напрямних, $C_{y.n}$ визначаємо по формулі:

$$C_{y.n} = \frac{1}{13,5 \cdot m_{y.n} \cdot (1 - 2 \cdot m_{y.n})^2}$$

$$C_{y.n} = \frac{1}{13,5 \cdot 0,663 \cdot (1 - 2 \cdot 0,663)^2} = 1,05$$

$$\varphi_{y.n} = \frac{12 \cdot (-903,41) \cdot 1,05 \cdot 1,5}{(4+4) \cdot 106,5^3} = -1,7 \text{ мкм/м}.$$

Знак “ – “ вказує на те, що поворот відбувається в напрямку оберненому до прийнятого.

Розраховуємо найбільший тиск в напрямних з врахуванням їх розподілення по довжині, Н/м² :

$$\sigma_{max.k} = \frac{P}{1,5 \cdot (10,5 - m_{y.n}) \cdot (a + c) \cdot L}, \text{Н/м}^2 \quad (4.33)$$

$$\sigma_{max.} = \frac{1278}{1,5 \cdot (10,5 - 0,663) \cdot (4+4) \cdot 106,5} = 6,25 \text{ Н/мм}^2.$$

Розглянемо кінцеве положення: обточувальна головка знаходиться в крайньому лівому положенні.

Визначаємо величину перекидного моменту:

$$M_y = M_{y.k} = \Sigma M = -P_z \cdot (X_z + 452 + X) + G_1 \cdot (156 + X) - G_2 \cdot (436 + X)$$

$$M_{y.k} = -22 \cdot (163,5 + 452 + 250) + 1750 \cdot (156 + 250) - 450 \cdot (436 + 250) = 3,827 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Звідки $m_{y.k}$ дорівнює:

$$m_{y.k} = \frac{3,827 \cdot 10^3}{1278 \cdot 10,65} = 0,28$$

$$m_{y.k} = 0,28 > \frac{1}{6} = 0,167$$

Визначаємо співвідношення n_z' та n_z з попередніх розрахунків:

$$n_z' = 17,7 > n_z = 12,4$$

Відповідно, і для кінцевого положення обточувальної головки виконується умова другого випадку, коли працюють тільки основні грані, але тиск розподіляється не по всій довжині напрямних.

Для другого випадку визначаємо кут повороту обточуваної головки в кінцевому положенні по формулі:

$$\varphi_{y.k} = \frac{12 \cdot M_{y.k} \cdot K \cdot C_{y.k}}{(a + c) \cdot L^3}, \text{ мкм/м} \quad (4.34)$$

Визначаємо коефіцієнт $C_{y.n}$:

$$C_{y.k} = \frac{1}{13,5 \cdot m_{y.k} \cdot (1 - 2 \cdot m_{y.k})^2} \quad (4.35)$$

$$C_{y,\kappa} = \frac{1}{13,5 \cdot 0,28 \cdot (1 - 2 \cdot 0,28)^2} = 1,3$$

$$\varphi_{\acute{o},\acute{e}} = \frac{12 \cdot 382,7 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \cdot 1,5}{(4 + 4) \cdot 10,65^3} = 0,089 \text{ мкм/м}$$

По формулі:

$$\sigma_{\max,\kappa} = \frac{P}{1,5 \cdot (10,5 - m_{y,\kappa}) \cdot (a + c) \cdot L}, \text{ Н/мм}^2 \quad (4.36)$$

визначаємо максимальний тиск для кінцевого положення:

$$\sigma_{\max,\acute{e}} = \frac{1278}{1,5 \cdot (10,5 - 2,81) \cdot (4 + 4) \cdot 10^{-5} \cdot 106,5} = 4 \text{ Н/мм}^2$$

Знаходимо зміни кутового положення обточувальної головки при переміщенні з одного крайнього положення в інше, тобто:

$$\varphi_{\acute{o}} = \varphi_{\acute{o},\acute{e}} - \varphi_{\acute{o},i} = 0,089 - (-1,7) = 1,789 \text{ мкм/м}$$

3. Визначаємо пружні переміщення обточувальної головки на напрямних в площині XOY (рис.4.6.).

При повороті обточувальної головки в площині напрямних можливі також три випадки розподілення тиску по довжині в залежності від моменту, який діє в площині напрямних.

Розглянемо вихідне положення, коли обточувальна головка знаходиться в крайньому правому положенні.

Визначаємо величину перекидного моменту по формулі, Н·м:

$$M_Z = M_{Z\Pi} = \Sigma M(Z) = P_Y \cdot X_{PY}$$

$$P_Y = P_{\tau} = 55 \text{ Н}$$

$$M_Z = M_{Z\Pi} = 55 \cdot 0,755 = 41,5 \text{ Н}$$

Тоді,

$$m_{Z\Pi} = \frac{M_{Z\Pi}}{P_Y \cdot L} \quad (4.37)$$

$$m_{Z\Pi} = \frac{41,5}{55 \cdot 106,5} = 0,7$$

$$m_{Z\Pi} = 0,7 > \frac{1}{6} = 0,167$$

Визначаємо середній тиск в напрямних:

$$\sigma_Y = \frac{P_Y}{B \cdot L}, \text{ Н/мм}^2 \quad (4.38)$$

$$\sigma_Y = \frac{55}{2,7 \cdot 106,5} = 0,19 \text{ Н/мм}^2$$

Знаходимо співвідношення:

$$n'_Y = \frac{\Delta Y}{K \cdot \sigma_Y} \quad (4.39)$$

$$n'_Y = \frac{4}{1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^3} = 140 ,$$

або n_Y визначаємо по формулі:

$$n_o = \frac{m_Z - \frac{1}{6}}{1,5 \cdot (0,5 - m_Z)^2} = \frac{0,7 - \frac{1}{6}}{1,5 \cdot (0,5 - 0,7)^2} = 8,8 ,$$

$$n'_y > n_y \quad \text{та} \quad m_{Z.n} = 0,7 > \frac{1}{6} = 0,167$$

Тобто, в даному випадку також як в площині ZOX має місце другий випадок, коли працюють тільки основні грані, але тиск розподіляється не по всій довжині напрямних.

Для цього випадку розподіл навантаження в напрямних кут повороту обточувальної головки визначаємо по формулі:

$$\varphi_{Z.\Pi} = \frac{\Delta Y}{L} + \frac{12 \cdot M_{Z\Pi} \cdot C_{\varphi.\Pi} \cdot K}{B \cdot L^3}, \text{ мкм/м} \quad (4.40)$$

де $C\varphi = 1,7$

$C_\Delta = 1,2$ - коефіцієнт, враховуючий перерозподіл тиску по довжині напрямних в залежності від зазору Δ .

$$\varphi_{Z.\Pi} = \frac{4}{106,5^3} + \frac{12 \cdot 415 \cdot 1,7 \cdot 0,66}{2,7 \cdot 106,5^3} = 1,5 \text{ мкм/м}$$

Розраховуємо найбільший номінальний тиск по формулі, Н/мм²:

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot M_Z}{2 \cdot B \cdot L^2}, \text{ Н/м}^2 \quad (4.41)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot 415}{2 \cdot 2,7 \cdot 106,5^2} = 2,15 \text{ Н/мм}^2$$

Розглянемо кінцеве положення, коли обточувальна головка знаходиться в крайньому лівому положенні. Визначаємо величину перекидного моменту по формулі, Н/м:

$$M_{ZK} = P_Y \cdot (X_Y + X) = 55 \cdot (755,5 + 250) = 55,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$P_Y = P_\tau = 55 \text{ Н}$$

Звідки:

$$m_{\text{ЗК}} = \frac{M_{\text{ЗК}}}{P_Y \cdot L} = \frac{55,3}{55 \cdot 106,5} = 0,9$$

$$m_{\text{З.К}} = 0,9 > \frac{1}{6} = 0,167$$

Визначаємо співвідношення:

$$n_{\phi} = \frac{m_{\text{ЗК}} - \frac{1}{6}}{1,5 \cdot (0,5 - m_{\text{ЗК}})^2} = \frac{0,9 - \frac{1}{6}}{1,5 \cdot (0,5 - 0,9)^2} = 3,05 ,$$

$$m_{\text{З.К}} = 0,9 > \frac{1}{6} = 0,167 \quad \text{та} \quad n_y' = 140 > n_y = 3,05$$

Тобто для кінцевого положення має місце випадок, коли навантаження сприймають тільки основні грані, але в роботі приймає участь їх не повна довжина.

Кут повороту шпіндельної головки визначаємо по формулі:

$$\varphi_{y.k} = \frac{12 \cdot M_{\text{ЗК}} \cdot K \cdot C_{y.k}}{B \cdot L^3} = \frac{12 \cdot 553 \cdot 0,13 \cdot 1,5}{2,7 \cdot 106,5^3} = 4,6 \text{ мкм/м.}$$

Визначаємо зміну кутового положення обточувальної головки при переміщенні з одного крайнього положення в друге по формулі:

$$\varphi_{\phi} = \varphi_{\phi.e} - \varphi_{\phi.i} = 4,6 - 1,5 = 3,1 \text{ мкм/м}$$

Розраховуємо пружні переміщення в результаті повороту обточувальної головки в поперечній площині напрямних ZOY (рис.4.6.).

Визначаємо реакції граней по формулах: $\tilde{N} = \frac{M_x}{l}$, $l = 106,5 \text{ мм}$;

$$M_x = P_Y \cdot Y - G_1 \cdot Y_c = 55 \cdot 16,45 = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$C = \frac{900}{120} = 7,5 \text{ Н} ,$$

$$A = G_1 = 1750 \text{ Н}, \quad B = G_1 - P_Y: \quad B = 1750 - 55 = 1695 \text{ Н}$$

Визначаємо середній тиск:

$$\sigma_c = \frac{C}{c \cdot L} = \frac{7,5}{4 \cdot 106,5} = 17,6 \cdot 10^{-2} \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_A = \frac{A}{a \cdot L} = \frac{1750}{4 \cdot 106,5} = 41 \cdot 10^{-2} \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\tilde{n}} = \frac{B}{\tilde{a} \cdot L} = \frac{169,5}{2,7 \cdot 106,5} = 58,9 \cdot 10^{-2} \text{ Н/мм}^2$$

Знаходимо кут повороту:

$$\varphi_x = \frac{K(\sigma_A - \sigma_B)}{l} = \frac{1,5 \cdot (41 - 17,6)}{12} = 292 \text{ мкм/м}$$

Розраховуємо пружне переміщення на початку координат (точка 0) в напрямку осей Y та Z

$$\sigma_{Y0} = K \cdot \sigma_B = 1,5 \cdot 58,9 = 88,3 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{Z0} = K \cdot \sigma_A = 1,5 \cdot 41 = 61,5 \text{ Н/мм}^2.$$

4.5. Проектування та розрахунок механізму малих подач

Механізм малих подач (ММП) спроектований для забезпечення робочої подачі заданої швидкості (мм/хв). Він проектується для стандартного гідравлічного силового стола і закріплюється безпосередньо вертикальній стороні стола. ММП являє собою важільний механізм з диктувальним гідроциліндром, необхідними датчиками кінцевих положень органів ММП. Робота розточувальної головки, яка знаходиться на силовому столі з ММП починається з вмикання швидкого ходу вперед силового столу електромагнітом. Силовий стіл на швидкому ході входить в зону дії датчика уповільненого ходу, після проходження цього шляху вмикається контактний перемикач, який вмикає ММП Ц10. Гідроциліндр ММП без штоковою порожниною диктує робочу подачу, яка буде налагоджена градуїтованим регулятором потоку РП1. Гідроупор, доходячи до кінцевого положення (розточувальна головка обробила деталь) вимикається контактний перемикач і гідроциліндр ММП та силового столу повертаються в вихідне положення на швидкому ході. Кінцеве положення фіксується безконтактним перемикачем і дає команду на виконання операції іншого робочого органу верстата. Регулювання потоку робочої рідини ММП здійснюється при встановленій робочій мінімальній температурі.

Виходячи з висоти силового стола конструктивно приймаємо передаточне відношення важелі ММП:

$$a = 40 \text{ мм}; b = 100 \text{ мм}.$$

$$i = \frac{b}{a} = \frac{100}{40} = 2,5.$$

Для забезпечення точності переміщення виконавчого органу, жорсткості ММП, точності обробки робимо перевірку вісі на зминання, а також гвинтів кронштейну.

1. Визначення реакції опори точки В з прийнятої схеми ММП.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_{\epsilon} \cdot \epsilon - P \cdot (a + \epsilon) = 0$$

$$R_{\epsilon} = \frac{P \cdot (a + \epsilon)}{\epsilon}$$

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot P_1 = \frac{3,14 \cdot 70^2}{4} \cdot 2,5 = 9616 \text{ Н}$$

де P_1 – тиск в гідросистемі приймаємо без врахування втрат в гідросистемі та гідроциліндрі, $P_1 = 2,5$ МПа.

D – діаметр гідроциліндра, $D = 70$ мм.

$$R_{\epsilon} = \frac{9616 \cdot (40 + 100)}{100} = 13462 \text{ Н}$$

На вісь діє сила $Q = R_{\epsilon} = 13462 \text{ Н}$.

Конструктивно приймаємо діаметр вісі 16 мм, матеріал – сталь 3.

2. Розрахунок на зминання проводимо по формулі:

$$\sigma_{зм} = \frac{K \cdot Q}{d_0 \cdot \sigma_{min}} \leq [\sigma_{зм}], \text{ Н/мм}^2 \quad (4.42)$$

де Q – максимальне зусилля, Н;

K – коефіцієнт, що враховує момент інерції силового стола, $K = 1,5$;

d_0 – діаметр вісі, $d_0 = 16$ мм;

σ_{min} – мінімальна ширина спряжених деталей, $\sigma_{min} = 10$ мм;

$$\sigma_{зм} = \frac{1,5 \cdot 13464}{16 \cdot 10} = 126 \text{ Н/мм}^2,$$

$$126 \text{ Н/мм}^2 < 220 \text{ Н/мм}^2.$$

Умова міцності виконується.

3. Виконуємо перевірочний розрахунок гвинтів кронштейна на зминання.

Кронштейн конструктивно закріплюємо на стінці силового стола двома болтами М 10 X 1,5 мм.

Перевірочний розрахунок виконуємо по формулі:

$$\sigma_{3M} = \frac{K \cdot Q}{z \cdot d_{\delta} \cdot \sigma_{\min}}, \text{ Н/мм}^2 \quad (4.43)$$

де z – число кріпильних болтів,

d_{δ} – діаметр болта, який бере участь в стику (діаметр впадин різьби):

$$d_{\delta} = d - 2 \cdot t \cdot \sin 30^{\circ} = 10 - 2 \cdot 1,5 \cdot 0,866 = 7,4 \text{ мм}$$

$[\sigma_{\text{ci}}] = 220 \text{ Н/мм}^2$ – допустима напруга на зминання;

$$\sigma_{3M} = \frac{1,5 \cdot 9616}{2 \cdot 7,4 \cdot 25} = 38 \text{ Н/мм}^2.$$

$$38 \text{ Н/мм}^2 < 220 \text{ Н/мм}^2.$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок виконували за довідником [12].

4.6. Проектування та розрахунок інструментальної насадки шліфувальної головки

Для шліфування сфери на спеціальному верстаті застосовується пневматична насадка, яка закріплюється на шпинделі шліфувальної головки. Шпиндель шліфувальної головки має канал, через який подається стиснуте повітря із пневмосистеми в циліндричну порожнину шліфувальної насадки. Стиснуте повітря натискає на плунжер, чим створює зусилля шліфування. Плунжер висовується з пневмоциліндра шліфувальної насадки, компенсуючи зношування шліфувального круга.

Осьове зусилля шліфувального круга визначаємо за формулою:

$$P = \frac{\pi \cdot d}{4} \cdot p,$$

де d – діаметр плунжера, $d = 25 \text{ мм}$;

p – тиск повітря в пневмосистемі, $p = 0,3 \text{ МПа}$;

$$P = \frac{3,14 \cdot 25^2}{4} = 147,18 \text{ Н}$$

При умові, що зусилля шліфування $[P] = 80 \div 100$, $P \geq [P]$.

Шліфування буде відбуватися.

Розрахунок виконували за довідником [15].

4.7. Проектування контрольного пристрою

Останнім головним етапом обробки деталі є контроль всіх оброблювальних поверхонь. Після обробки деталі на токарному напівавтоматі необхідності контролю підлягає кулькова поверхня шарового пальця.

Об'єктами контролю після обробки на напівавтоматі є: діаметр кульки, допустиме відхилення від сферичності та шорсткість. Шорсткість на даному верстаті забезпечується технологічно після шліфувальної операції.

Діаметр сфери контролюється спеціально виготовленою калібрскобою ($\varnothing 32^{+0,2}_{-0,1}$), допустиме граничне відхилення від сферичності спеціальним спроектованим для даної деталі контрольним пристроєм.

Спроекований контрольний пристрій (ДСМВ. СБ) складається з базової частини, рухомого механізму та контролюючого індикатора, який фіксує показники. Контролер повинен візуально визначити відхилення розміру від норми. Встановлення розміру А проводиться спеціально виготовленим еталоном та компенсатором (поз.7). Контроль проводиться обертанням рукоятки (поз.8) від правого до лівого крайніх положень. Контактною слідкуючою поверхнею є щуп (поз.13) який приєднаний до індикатора (поз.27).

Допустима різниця розмірів сферичної поверхні складає 0,02 мм. Якщо відхилення контролю розміру не перевищує допустиме значення, то деталь являється якісною.

4.8. Вибір гідро та мастильної системи

Гідросистема верстата забезпечує керування переміщенням силових столів та інших гідрофікованих пристроїв верстата в автоматичному та налагоджувальному режимах.

Гідросистема верстата складається з двох гідроагрегатів, виконаних на базі насосних установок з додатково встановленою гідроапаратурою на вертикальному щиту та гідрокомунікації, забезпечуючи зв'язок гідроагрегатів з гідрофікованими пристроями верстата.

4.8.1. Опис роботи гідросхеми.

- Схема гідравлічна принципова складається з базової частини схема та додаткової частини схеми.
- Керування гідроциліндром Ц1 шліфувального стола здійснюється розподільниками Р1,Р2. При вмиканні електромагніта Y3O мастило поступає через розподільник Р2, дроселі ДР1, ДР1 в поршневу порожнину гідроциліндра Ц1, а з штокової через дросель ДР2, розподільник Р2 зливається в бак. Виконується робоча подача стола вперед. Швидкість переміщення регулюється дроселем ДР1. При вмиканні електромагніта Y32 виконується прискорене переміщення стола. Швидкість регулюється дроселем ДР2.
- Керування гідроциліндром Ц11 обточувального стола здійснюється розподільником Р12,Р13, аналогічно гідроциліндру Ц1 шліфувального стола.
- Керування гідроциліндром Ц2 здійснюється розподільником Р3. В вихідному положенні ввімкнений електромагніт Y5, низько обертовий привод відведений. При вимиканні електромагніта Y5 та вмиканні Y4,мастило подається в поршневу порожнину гідроциліндра Ц12 – виконується ввід низько обертового привода.
- Керування гідроциліндром Ц3 здійснюється розподільником Р4. В вихідному положенні ввімкнений електромагніт Y15 – вивантаження відведено. При вимиканні електромагніта Y15 та ввімкненні Y14, мастило подається в поршневу порожнину гідроциліндра Ц3 – виконується підвід вивантаження.
- Керування гідроциліндром Ц4 здійснюється розподільником Р5. В вихідному положенні електромагніт Y11 ввімкнений – досилка відведена. При вмиканні електромагніта Y11 мастило подається в поршневу порожнину гідроциліндра Ц14 – виконується досилка деталі.
- Керування гідроциліндром Ц5 здійснюється розподільником Р7. В вихідному положенні ввімкнений електромагніт Y2 – деталь віджата. При вимиканні електромагніта Y2 та вмиканні Y1, масло подається в ліву порожнину гідроциліндра Ц5 – виконується затиск деталі.
- Керування гідроциліндром Ц6 здійснюється розподільником Р8. В вихідному положенні електромагніт Y3 ввімкнений – штовхач витиснутий. При

вмиканні електромагніта Y3 мастило подається в ліву порожнину гідроциліндра Ц6 – виконується відвід штовхача.

– Керування гідроциліндром Ц7 виконується розподільником Р9. В вихідному положенні ввімкнений електромагніт Y12 – автооператор в верхньому положенні. При вмиканні електромагніта Y12 та вимиканні Y13, мастило поступає в поршневу порожнину гідроциліндра Ц7 – виконується переміщення автооператора вниз.

– Керування гідроциліндром Ц8 здійснюється розподільником Р10. В вихідному положенні електромагніт Y10 ввімкнений – відсікач відведений. При вмиканні електромагніта Y10 мастило подається в поршневу порожнину гідроциліндра Ц8 – виконується переміщення відсікача вперед.

– Керування гідроциліндром Ц9 здійснюється розподільником Р11. При вмиканні та вимиканні електромагніта Y16 виконується поворот шнека стружки вивантажувача.

– Керування гідроциліндром Ц10 здійснюється розподільником Р6. В вихідному положенні електромагніт Y23 ввімкнений – гідроупор виштовхнутий. При вмиканні електромагніта Y23 мастило подається в штокову порожнину гідроциліндра Ц10 – виконується мала подача обточувального стола. Величина подачі налагоджується регулятором потоку РП.

4.8.2. Опис роботи системи змазки.

– Для змащування направляючих шліфувального та обточувального столів використовується система шпиндельна змащувальна 031I-ЦСЕМ2,5/0,5.

– Система змазки складається із мастильної станції типу I-ЦС-2,5, імпульсних живників, реле тиску Г62-21М, трубопроводів та відповідних з'єднань.

Система імпульсно-мастильна И-ЦСЕ-2,5.

Станція мастильна И-СЕ-2,5/0,5.

4.8.3. Система охолодження.

– Система охолодження складається з бака охолодження, сепаратора магнітного, фільтра-транспортера та двох електронасосів.

– Бак охолодження являє собою резервуар розміром 920×920×260, розділений переборкою на два відсіку. МОР в відсічці залита до верхнього масло вказівника.

Відпрацьована МОР зливається з верстата в зливний відсік бака охолодження через магнітний сепаратор, встановлений на кришці бака. Електронасос із цього відсіку перекачує МОР на фільтр-транспортёр для тонкої очистки. Очищена через фільтрувальний папір рідина стікає в бак, потім електронасос подає рідину на верстат.

По мірі забруднення фільтрувального паперу, збільшується об'єм рідини на транспортній стрічці, котра опускається, на якій знаходиться важільний пристрій. При переміщенні стрічки з важелю на визначену величину, вмикається електродвигун привода транспортної стрічки, і забруднена ділянка фільтрувального паперу скидається в ємкість.

Два електронасоса виробництвом 25 л/хв. працюють одночасно. Електронасос 1 служить для перекачки рідини на фільтр – транспортёр, електронасос 2 служить для подачі очищеної рідини на верстат.

Для транспортування бака зняти з бака дві пробки та встановити на їх місце рим-болти.

4.9. Вибір електрообладнання верстата

4.9.1. Коротка характеристика електрообладнання.

До складу електрообладнання верстата входять:

1. Електродвигуни:

- привода обертання деталі високо обертовий 4A90L4Y3
- ГОСТ 19523-81;
- привода обертання деталі низько обертовий 4A80A4Y3
- ГОСТ 19523-81;
- шліфувального агрегату 4A80B2Y3 ГОСТ 19523-81;
- насоса змащування 4AAM50A2Y3;

2. Мікрровимикачі:

- контролю рівня мастила;
- контролю заповнення шнека.

3. Безконтактні перемикачі:
 - положення шліфувальної платформи;
 - механізму завантаження;
 - огорожі;
 - положення обточувальної платформи;
 - механізму вивантаження.
4. Пульти керування.

В одному корпусі змонтовані по функціям чотири пульта керування та сигналізації.

5. Окремо стояча електрична шафа керування з апаратурою захисту, живлення, силовим обладнанням та програмованим контролером ПК128.

6. Окремо стоячі два гідробака з апаратурою для керування всіма механізмами верстата.

4.9.2. Відомості про систему живлення електрообладнання.

Електрообладнання верстата розраховано на живлення від джерела трьохфазного змінного струму 50 Гц, 380 В.

Живлення виробляється наступними напругами:

- ланцюги силові – трьохфазною 380 В, 50 Гц;
- ланцюги керування – постійною 24, 110 В, 50 Гц.
- модулів входів – 24 В постійна;
- модулів виходів – 24 В постійна; 110 В змінна.

Ввід живлення в електричну шафу здійснюється дротом ПВЗ перерізом 100 мм².

4.9.3. Опис режимів роботи.

Для керування верстатом напівавтоматом введені чотири режими роботи:

- автоматичний безперервний;
- автоматичний одиночний;
- напівавтоматичний;
- налагоджувальний.

Режими роботи визначаються положенням перемикачів режимів 100 та 101, які знаходяться на пульті.

Для підготовки верстата до роботи в будь-якому режимі необхідно:

1. Закрити огорожу.
2. Перевірити вмикання лампочки «НЕ ГОТОВНІСТЬ ПК»
3. Закрити двері електричної шафи, ввімкнути ввідний автомат.

Для роботи верстата в налагоджувальному режимі необхідно встановити перемикач S100 в положення “ НАЛАГОДЖУВАННЯ”.

Керування механізмом верстата виконується від відповідних кнопок, якими можна виконувати ряд налагоджувальних операцій.

З пульта керування завантаженням-вивантаженням деталі:

1. Затиск деталі.
2. Відтискування деталі.
3. Виштовхування.
4. Привод низько обертовий підвід.
5. Привод високо обертовий відвід.
6. Вмикання обертання деталі.
7. Відсікач вперед.
8. Відсікач назад.
9. Досилка підвід.
10. Досилка відвід.
11. Маніпулятор вгору.
12. Маніпулятор вниз.
13. Вивантаження вперед.
14. Вивантаження назад.

З пульта керування платформами:

1. Обточувальна платформа вперед.
2. Обточувальна платформа назад.
3. Ввімкнення обертання шпинделя.
4. Ввімкнення механізму малих подач.
5. Шліфувальна платформа вперед.
6. Шліфувальна платформа назад.
7. Вимкнення обертання шпинделя.

При роботі верстата в напівавтоматичному режимі необхідно встановити перемикач S 101 в положення “ НВПІВАВТОМАТ “та натисненням кнопки S 106, S 107 запустити по циклу відповідно шліфувальну та обточувальну платформи.

Для роботи верстата в автоматичному безперервному режимі необхідно встановити перемикач S 100 в положення “ АВТОМАТ “.

Пуск циклу виконується кнопкою S 105 при наявності сигналу “ГОТОВНІСТЬ“ (горить лампочка H200). Умови формування сигналу “ГОТОВНІСТЬ“:

1. Вихідне положення всіх механізмів верстата.
2. Закрита огорожа.
3. Наявність деталі на вході.

Керування роботою напівавтомата виконується програмованим контролером ПК 128, по програмі, яка забезпечує заданий цикл та всі необхідні блокування.

Попередня зупинка виконується кнопкою S104 “ОПЕРАТИВНИЙ СТОП“, який забезпечує доробку циклу до кінця.

Для роботи верстата в автоматичному одинарному режимі необхідно встановити перемикач S 101 в положення “АВТОМАТ ОДИНАРНИЙ” та натиснути кнопку S105 “ЦИКЛ”. Умови пуску аналогічні умовам пуску в автоматичному безперервному режимі.

4.9.4. Відомості про головні блокування, системи сигналізації та захисту.

Програмою керування та електросхемою передбачені наступні блокування:

1. Заборона роботи штовхача та досилки при маніпуляторі в нижньому положенні.
2. Заборона роботи вивантаження, затиску та штовхача при обертання деталі.
3. Дозвіл руху маніпулятора вниз при вихідному положенні платформи.
4. При відсутності деталі наступний цикл не починається.
5. Почергова робота високо обертового та низько обертового приводів обертання деталі.
6. Рух кожної з платформ тільки в вихідному положенні іншої.

Захист силових ланцюгів керування та сигналізації від струму короткого замкнення здійснюється автоматичними вимикачами.

Захист електродвигунів від перевантаження здійснюється тепловим реле.

Ланцюги освітлення електричної шафи та трансформатора для підключення паяльника захищені за допомогою вимикача та запобіжника.

Нульовий захист здійснюється за допомогою пускача гідропривода КЗ.

Для забезпечення захисного заземлення на верстаті гідроагрегата, ємкості охолодження, в електричній шафі передбачено заземлювальні затискачі, приєднані до системи заземлення цеха. Корпус електродвигуна додатково приєднаний до системи заземлення за допомогою приводів захисного заземлення та заземлювальних клем, встановлених в клемних коробках.

На верстаті широко застосовуються сигналізації положень механізмів, розташованих на пульті.

4.9.5. Вказівки по монтажу, демонтажу та експлуатації.

1. При обслуговуванні, налагоджуванні та ремонті електрообладнання необхідно керуватись дійсними правилами техніки безпеки при електромонтажних роботах.

2. Заборонено залишати відкритою електричну шафу та загроможувати підходи до неї.

3. Допуск до контактних частин електричних машин та апаратів дозволяється тільки після відключення верстата.

4. Підшипники двигунів повинні змащуватися не менше одного разу на шість місяців з промивкою їх бензином.

5. Пускова апаратура та реле повинні регулярно очищуватись від пилу, контакти – від нагару.

Після здачі лінії ВТК необхідно перед транспортуванням здійснити наступні роботи:

- вимкнути живлення привода та перевірити відсутність напруги на відповідному клемнику;
- розібрати короба верхньої розводки;

- закріпити рухомі частини електроапаратів в електричних шафах.

Шафи закрити на замок.

- вимкнути дроти заземлення від цехової системи заземлення; гвинти заземлення затягнути.

-

4.9.6. Відомості про первинний пуск.

При первинному запуску перш за все перевірити надійність заземлень та стан монтажу електрообладнання зовнішнім оглядом.

Верстати, транспорт, гідроагрегати, ємкість баку охолодження повинні бути приєднані до системи заземлення цеха за допомогою спеціальних болтів на обладнанні.

Рухомі елементи апаратів, закріплені на період транспортування, повинні бути звільнені.

Підключення лінії до мережі здійснюється за допомогою ввідного автомату встановленого на бічній стінці електричної шафи.

Натисненням кнопки S23 “ ГІДРАВЛІКА “ вмикаються електродвигуни гідронасосів. При цьому повинно забезпечуватись обертання електродвигунів по часовій стрілці.

Розділ 5

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

ВЕРСТАТА

5.1. Загальні вихідні дані

В якості бази для порівняння слід прийняти два верстати: токарний та шліфувальний, які знаходяться в експлуатації і також можуть виконувати аналогічні операції, але на відміну від проектного варіанту обробка на базових верстатах малопродуктивна, а верстати можуть налагоджуватись тільки на напівавтоматичний цикл.

Переважними властивостями проектного верстата є висока ступінь автоматизації основних та допоміжних рухів. Новий верстат має велику кількість запозичених вузлів та деталей, просту кінематику.

Необхідно розробити технологічні процеси складання семи вузлів: механізму завантаження, механізму вивантаження, шпиндельної головки, яка несе деталь, механізму відтиску, обточної головки, шліфувальної головки, механізму малих подач.

Техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та проектного верстатів

№ п/п	Показники	Оди- ниця	Базовий варіант		Проект
			Токарний	Шліфувальний	
1.	Програма виробництва деталі	шт./рік	80000	80000	80000
2.	Штучний час обробки деталі	хв.	0,52	0,62	0,836
3.	Площа, яку займає верстат	м ²	7,5	8,5	9
4.	Встановлена потужність електродвигунів	кВт	8	8	14
5.	Категорія ремонтної складності: а)механічної частини б)електричної частини	УРО	12	12	16
		УРО	10	10	12
6.	Розряд роботи: а)верстатника б)наладчика	розряд	4	4	4
		розряд	5	5	5
7.	Оптова ціна верстата	грн	792700	878000	-

5.2. Конструкторська підготовка виробництва

Конструкторська підготовка виробництва складається з етапів проектування верстату з послідовним розвитком та уточненням окремих розрахунків та конструкторських рішень. Роботи виконуємо в такій послідовності.

1) Встановлюємо етапи конструкторської підготовки виробництва: технічне завдання; технічна позиція; ескізний, технічний, та робочий проекти.

2) Визначаємо кількість деталей, які підлягають розробці, диференціюючи їх за видами. За допомогою коефіцієнтів переводу [1] деталі різних видів переводимо в "умовні деталі".

3) Трудомісткість технічного і робочого проектів визначаємо як добуток відповідної загальної кількості "умовних деталей" на трудомісткість однієї умовної деталі [1] в залежності від групи новизни та складності верстату, який конструється.

4) Трудомісткість технічного завдання, технічної пропозиції, ескізного проекту визначаємо відповідно групі новизни та складності верстата [1].

5) Трудомісткість проектування електричних принципової та монтажною схем, які входять до складу робочого проекту верстата, визначаємо в залежності від їхньої новизни та складності [1].

6) Використовуючи дані трудомісткості етапів робіт конструкторської підготовки виробництва, розроблюємо сітьовий графік, який дозволяє організувати процес проектування так, щоб виконати його в найкоротший термін. Оскільки розрахунки сітьового графіка відносяться до організаційно-планових, доцільно винести їх в окремий розділ, після закінчення економічного обґрунтування.

7) Після визначення трудомісткості робіт розраховуємо витрати на конструкторську підготовку виробництва.

8) Всі отримані результати зводимо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Результати розрахунку трудомісткості та витрат конструкторської підготовки виробництва

№ п.п	Показники та етапи робіт	Одиниця	Технічне завдання	Технічна пропозиція	Ескізний проект	Технічний проект	Робочий проект	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Група новизни	гр.	III					
2.	Група складності	гр.	III					
3.	Клас точності	кл.	II					
4.	Кількість деталей× коефіцієнт переводу в "умовні деталі": а) корпусних масою більш ніж 100 кг 500 кг б) литі і зварні в) оригінальних, які не є литими та корпусними г) застосовані з іншого виробу д) уніфікованих у вузли е) стандартних нормалізованих ж) покупних	шт.				8×5 3×16 15×2 60×1 29×0,5 9×7 210×0,15 16×0,5	8×10 3×23 15×4 60×1 29×0,2 9×3,5 210×0,15 16×0,15	
5.	Кількість умовних деталей	шт.				295,0	340,2	

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.	Норма на умовну деталь	нормо-год				3,4	4,3	
7.	Трудовісткість виконання етапу робіт	нормо-год	40	370	405	796,28	976,1	
8.	Проектування електросхем: а) принципової б) монтажною	нормо-год					38 32	
10.	Загальна трудовісткість	нормо-год	40	370	405	1003	1662,86	3480,8
11.	Середньогодинна заробітна плата конструктора	грн./год	113,25	102,66	97,54	98,79	90,86	
12.	Зарплата основна (Зо)	грн.	4530,00	37984,20	39503,70	99086,37	151087,46	332191,73
13.	Зарплата додаткова (Зд): 10% від Зо*	грн.	453,00	3798,42	3950,37	9908,64	15108,75	33219,17
14.	Відрахування у соціальні фонди: 22% від (Зо+Зд)*	грн.	1096,26	9192,18	9559,90	23978,90	36563,17	80390,40
15.	Витрати на відрядження: 5% від Зо*	грн.	226,50	1899,21	1975,19	4954,32	7554,37	16609,59
16.	Накладні витрати: 45% від Зо	грн.	2038,50	17092,89	17776,67	44588,87	67989,36	149486,28
17.	Всього вартість проекту Впк	грн.	8344,26	69966,90	72765,82	182517,09	278303,10	611897,0

5.3. Технологічна підготовка виробництва

Технологічну підготовку виробництва здійснюємо відповідно до вимог "Єдиної системи технологічної підготовки виробництва", яка встановлює такі етапи:

- технологічний контроль креслень, їх відладка та розмноження;
- розробка технологічних процесів:
 - а) виготовлення деталей;
 - б) складання окремих вузлів;
- конструювання оснастки й нестандартних засобів механізації та автоматизації;
- виготовлення оснастки й нестандартних засобів механізації та автоматизації.

Визначаємо трудомісткість технологічної підготовки виробництва в такій послідовності:

1) В залежності від кількості деталей та вузлів різної технологічної складності, враховуючи диференційні норми часу, визначаємо трудомісткість проектування технологічних процесів виготовлення деталей та складання вузлів [1].

2) Трудомісткість останніх етапів робіт технологічної підготовки виробництва визначаємо в процентах від трудомісткості проектування технологічних процесів обробки деталей та складання вузлів [3].

Після визначення трудомісткості виконання етапів робіт з технологічної підготовки виробництва визначаємо вартість проекту – Вт .

Всі виконання розрахунки зводимо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Витрати на технологічну підготовку виробництва

№ п.п	Показники та етапи робіт	кількість	Кількість нормо-годин на одиницю	Загальна кількість нормо-годин	Середньогодинна зарплата, грн/год	Заробітна плата основна З _о , грн	Заробітна плата основна З _д , грн, 10% від З _о	Відрахування на соціальні потреби, грн 22% від (З _о + З _д)	Накладні витрати, грн, 55% від З _о	Сумарні витрати, грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Технологічний контроль креслень, їх відладка, розмноження, нормо-годин			122,7	105,64	12962,03	1296,20	3136,81	7129,12	24524,16
2.	Розробка техпроцесів виготовлення деталей:									
	а) загальна кількість деталей, шт.	86		1142		118901,2	11890,1	28774,10	65395,67	224961,11
	б) в т.ч по групах технологічної складності:									
	I	16	4,5	72	83,93	6042,96				
	II	30	9	270	83,93	22661,10				
	III	28	17	476	106,23	50565,48				
	IV	12	27	324	122,32	39631,68				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3.	Розробка техпроцесів складання вузлів:									
	а) загальна кількість вузлів, шт.	6		84,8		9313,56	931,36	2253,88	5122,46	17621,25
	б) в т.ч. по групах технологічної складності:									
	I	2	2,7	5,4	83,93	453,22				
	IV	2	14,9	29,8	101,66	3029,47				
	V	1	17,8	17,8	109,05	1941,09				
	VII	1	31,8	31,8	122,32	3889,78				
4.	Проектування спеціального оснащення та нестандартні засобів механізації та автоматизації, нормо-год			368	122,32	45013,76	4501,38	10893,33	29258,94	89667,41
5.	Виготовлення спеціального оснащення та нестандартні засобів механізації та автоматизації, нормо-год			490,7	83,93	41184,45	4118,45	9966,64	51480,56	106750,10
6.	Інші витрати, нормо-год			245,4	83,93	20596,42	2059,64	4984,33	11328,03	38968,43
7.	Всього вартість проекту $B_{\text{пт}}$			2453,60		247971,4	24797,1	60009,09	169714,8	502493,0

5.4 Визначення повної собівартості та оптової ціни верстата

Після визначення трудомісткості виготовлення проектного верстату розраховуємо:

а) основну заробітну плату виробничих робітників:

$$З_{\text{оп}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{ri}} \cdot T_i, \quad (5.1)$$

де n – кількість i -тих видів робіт;

C_{ri} – середньогодинна тарифна ставка робітників, які виконують i -й вид робіт з урахуванням умов праці, грн.

Так, основна заробітна плата виробничих робітників на ливарних роботах:

$$З_{\text{оп}}^{\text{л}} = 108,89 \cdot 102,716 = 18580,30 \text{ грн}$$

б) витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_{\text{o}} = \sum_{i=1}^n З_{\text{опi}} \cdot \frac{\Pi_{\text{ррi}}}{100}, \quad (5.2)$$

де $\Pi_{\text{ррi}}$ – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Так, витрати на утримання та експлуатацію обладнання на ливарних роботах:

$$B_{\text{o}}^{\text{л}} = 18580,30 \cdot \frac{230}{100} = 42734,68 \text{ грн}$$

в) цехові витрати:

$$B_{\text{цех}} = \sum_{i=1}^n З_{\text{опi}} \cdot \frac{\Pi_{\text{црi}}}{100}, \quad (5.3)$$

де $\Pi_{\text{цр}}$ – процент цехових витрат по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для ливарних робіт:

$$B_{\text{цех}}^{\text{л}} = 18580,30 \cdot \frac{142}{100} = 26384,02 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки даних статей на інших роботах, результати заносимо до табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Трудомісткість виготовлення та окремі види витрат, які включені до собівартості виготовлення верстата

Види робіт	Трудомісткість робіт н-год	Середній розряд	Середньогодинна тарифна ставка робітників, грн/год	Основна заробітна плата робітників $Z_{ор}$, грн	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, B_o , грн		Загальноцехові витрати $K_{цех}$, грн	
					%	грн.	%	грн.
Ливарні	180,89	3	102,716	18580,30	230	42734,68	142	26384,02
Ковальсько- штампувальні	43,1	3	92,754	3997,70	310	12392,86	223	8914,87
Зварювально- заготівельні	31,9	4	106,770	3405,96	245	8344,61	132	4495,87
Механічні	1754,45	4	92,015	161435,72	322	519823,01	232	374530,86
Термічні	18,2	3	102,716	1869,43	285	5327,88	250	4673,58
Гальванічні	44,6	3	92,754	4136,83	280	11583,12	150	6205,24
Слюсарсько- складальні	190,3	4	92,015	17510,45	210	36771,95	142	24864,85
Електромонтажні роботи	76,4	4	92,015	7029,95	215	15114,38	132	9279,53
Фарбувальні	19,0	2	72,922	1385,52	110	1524,07	120	1662,62
Пакувальні	36,0	2	67,486	2429,50	110	2672,45	120	2915,40
Інші	78,11	3	82,810	6468,29	220	14230,24	140	9055,60
Всього	2473	-	-	228249,64	-	670519,25	-	472982,44

Повну собівартість верстата розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних та звітних калькуляцій базових конструкцій. Розрахунок виконуємо за формулою:

$$C_{\text{вир}} = M_o + M_d + \Pi_n + B_n + T_v - B_{zv} + E_{\text{тех}} + \Pi_{\text{тех}} + \\ + Z_{ор} + Z_{др} + B_{cc} + Z_{цп} + B_{цех} + B_{зав} + B_{ін}, \quad (5.4)$$

де M_o , M_d – відповідно витрати на основні та допоміжні матеріали, грн.;

Π_n – покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств, грн.;

Розрахунок витрат на основні матеріали та покупні напівфабрикати зведено до табл. 6.5.

T_v – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

B_n – напівфабрикати власного виробництва, грн.;

B_{zv} – зворотні відходи, які реалізуються (віднімаються), грн.;

E_{tex}, Π_{tex} – енергія та паливо на технологічні цілі, грн.;

Z_{dr} – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

B_{cc} – відрахування в фонд соціального страхування, грн.;

$Z_{щ}$ – відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення та інші спеціальні витрати, грн.;

$B_{зав}$ – загальнозаводські витрати, грн.;

$B_{ін}$ – інші виробничі витрати, грн.;

$B_{пв}$ – позавиробничі витрати, грн.

Оптову ціну верстата розраховуємо за формулою:

$$C_{\text{опт}} = C_{\text{пов}} + \Pi_n, \quad (5.5)$$

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_n = \frac{P_c \cdot C_{\text{пов}}}{100}, \quad (5.6)$$

де P_c – встановлений рівень рентабельності виробу, %.

$$\Pi_n = \frac{20 \cdot 1902767}{100} = 380553 \text{ грн}$$

$$C_{\text{опт}} = 1902767 + 380553 = 2283320 \text{ грн}$$

Склад матеріальних витрат на виріб

№ п/п	Покупні матеріали, напівфабрикати та комплектуючі вироби	одиниця	Витрати (шт., кг)	Ціна, грн	Витрати на виріб, грн
1	2	3	4	5	6
	Основні матеріали:				
1.	товстолистова сталь	кг	1500	37,60	56400,00
2.	тонколистова сталь	кг	600	39,00	23400,00
3.	сортова конструкційна сталь	кг	110	46,22	5084,20
4.	сортова інструментальна сталь	кг	0,5	185,00	92,50
5.	труби тонкостінні безшовні	кг	100	57,50	5750,00
6.	дріт звичайної якості	кг	5	87,40	437,00
7.	дріт сталевий пружинний	кг	3	92,00	276,00
8.	припій олов'яно-свинцевий	кг	0,5	280,00	140,00
9.	провід ПГВ д=1,0 мм	м	50	7,40	370,00
10.	резина технічна	кг	5	54,00	270,00
11.	поліхлорвініловий пластикат	кг	3,7	250,00	925,00
12.	стрічка ізоляційна прорезинена	м	10	42,00	420,00
	Всього				93564,70
	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби				
1.	манометр	шт.	2	158,00	316,00
2.	масловказівник	шт.	2	144,00	288,00
3.	дросель з регулятором	шт.	14	601,42	8419,88
4.	реле тиску	шт.	2	325,00	650,00
5.	золотник	шт.	14	230,00	3220,00
6.	фільтроелементи	шт.	2	163,00	326,00
7.	розподільник золотниковий	шт.	14	530,0	7420,00
8.	сепаратор магнітний	шт.	1	2088,00	2088,00
9.	електронасос	шт.	4	765,00	3060,00
10.	електрообладнання	шт.	1	8760,00	8760,00
11.	підшипники	шт.	13	164,30	2135,90
12.	інші покупні	шт.			21860,00
	Всього				58543,78
	Напівфабрикати власного виробництва:				
	литво чавунне	кг	350	39,0	13650,0
	Всього				13650,0

Розрахунок собівартості зводимо до табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Повна собівартість виготовлення верстату та його оптова ціна

№ п.п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн
1.	Матеріали основні	M_o	табл. 4.5	93564,70
2.	Матеріали допоміжні	M_d	4% від M_o	3742,59
3.	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств	P_n	табл. 4.5	58543,78
4.	Зворотні відходи	$-B_{зв}$	6% від M_o	5613,88
5.	Напівфабрикати власного виробництва			13650,00
6.	Транспортно-заготівельні витрати	T_v	5% від $(M_o + M_d + P_n)$	6234,04
7.	Паливо та енергія на технологічні цілі	$P_{тех}, E_{тех}$	59,8% від $З_{ор}$	136493,28
	Всього матеріальні витрати			306614,51
8.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{ор}$	табл. 4.4	228249,64
9.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{ор}$	22824,96
10.	Відрахування в фонд соціального страхування	$B_{сс}$	22% від $(З_{ор} + З_{др})$	55236,41
11.	Відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення	$З_{уп}$	12,2% від $З_{ор}$	27846,46
12.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	табл. 4.4	670519,25
13.	Цехові витрати	$K_{цех}$	табл. 4.4	472982,44
14.	Загальнозаводські витрати	$K_{зав}$	221% від $З_{ор}$	504431,70
15.	Інші виробничі витрати	$B_{ін}$	3,4% від $З_{ор}$	7760,49
16.	Виробнича собівартість	$C_{вир}$	$\Sigma(7 \div 15)$	2296465,86
17.	Позавиробничі витрати	$K_{пв}$	1% від $C_{вир}$	22964,66
18.	Повна собівартість	$C_{пов}$	$C_{вир} + K_{пв}$	1902767,00
19.	Прибуток	P_n	20% від $C_{пов}$	380553,00
20.	Оптова ціна	$C_{опт}$	$C_{пов} + P_n$	2283320,0

5.5 Визначення експлуатаційних витрат, які припадають на одиницю продукції

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (5.8)$$

де B_z – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування основних робітників, грн.;

B_e – витрати на силову електроенергію, грн.;

B_{md} – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{п}$ – витрати на утримання приміщення, грн.;

B_n – витрати на наладку, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування у соціальні фонди (ЄСВ):

$$B_z = C_r \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (5.9)$$

де $T_{\text{нор}}$ – час обробки деталі, хв;

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та єдиного соціального внеску.

В базовому варіанті:

$$B_z^6 = 92,015 \cdot \frac{0,52 + 0,62}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 2,346 \text{ грн}$$

В проектному варіанті:

$$B_z^{\text{пр}} = 92,015 \cdot \frac{0,836}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 1,721 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_e = \frac{N_b \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_m \cdot \eta_c} \cdot \frac{T_{\text{шт}}}{60} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (5.10)$$

де N_b – встановлена потужність електродвигунів верстата, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи моторів (приймають 0,65...0,8);

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (для фрезерних верстатів – 0,6...0,7);

K_d – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом (приймають 0,4);

η_c – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів – 0,86;

η_m – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства – 0,92;

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт-год силової електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{б}} = \frac{16 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,86 \cdot 0,92} \cdot \frac{0,52 + 0,62}{60} \cdot 18,1 = 0,922 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{14 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,86 \cdot 0,92} \cdot \frac{0,836}{60} \cdot 18,1 = 0,788 \text{ грн}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мд}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{шт}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \quad (5.11)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів верстатів, коп.;

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини верстата, УРО;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_{\text{п}} = 1,0$).

$$B_{\text{мд}}^{\text{пр}} = \frac{78,5 \cdot (12 + 12) \cdot 2,8}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,879 \text{ грн}$$

$$B_{\text{мд}}^{\text{б}} = \frac{78,5 \cdot 16 \cdot 1,45}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,304 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$P_{\text{р}} = \frac{R_{\text{м}} \cdot \Gamma_{\text{вм}} + R_{\text{е}} \cdot \Gamma_{\text{вс}}}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (5.12)$$

де $\Gamma_{\text{вм}}, \Gamma_{\text{вс}}$ – відповідні річні витрати на всі види ремонту на 1 УРО механічної та електричної частин верстата, грн./рік;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для серійного виробництва – 3950 год.).

$$B_{\text{р}}^{\text{баз}} = \frac{24 \cdot 980 + 20 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{0,52 + 0,62}{60} = 0,185 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{р}}^{\text{пр}} = \frac{16 \cdot 980 + 12 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{0,836}{60} = 0,087 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщення:

$$B_{\text{уп}} = \frac{F_o \cdot K_d \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (5.13)$$

де F_o – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м^2 ;

K_d – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення) [1]:

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м^2 виробничого приміщення, грн/м^2 .

$$B_{\text{уп}}^{\text{б}} = \frac{16 \cdot 2,0 \cdot 520}{3950} \cdot \frac{0,52 + 0,62}{60} = 0,080 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{уп}}^{\text{н}} = \frac{9 \cdot 3,0 \cdot 520}{3950} \cdot \frac{0,836}{60} = 0,050 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію верстата:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (5.14)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість верстатів знайдемо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (5.15)$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ – оптова ціна верстата, грн.;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином, балансова вартість:

– базових верстатів:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{б}} = (792700 + 878000) \cdot (1 + 0,06 + 0,05 + 0,05) = 1938012 \text{ грн}$$

– проектного верстата

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} = 2283320 \cdot (1 + 0,06 + 0,05 + 0,05) = 2648651 \text{ грн}$$

$$B_a^{\text{б}} = \frac{1938012 \cdot 20}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{0,52 + 0,62}{60} = 1,864 \text{ грн}$$

$$B_a^{\text{пр}} = \frac{2648651 \cdot 20}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{0,836}{60} = 1,869 \text{ грн}$$

Витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту:

$$B_{ip} = \frac{(S_u + p \cdot S_{nep}) \cdot \gamma \cdot T_{нор}}{t_e(p+1)} K_{em}, \quad (5.16)$$

де S_u – первісна вартість універсального ріжучого інструменту, грн.;

p – кількість переточувань ріжучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру ріжучої грані;

S_{nep} – вартість однієї переточувань, грн.;

γ – питома значення машинного часу роботи обладнання в загальному варіанті його роботи;

t_e – економічна стійкість інструменту, хв.;

K_{em} – коефіцієнт обліку втрат інструменту.

$$B_{ip} = \frac{(1690 + 20 \cdot 75,6) \cdot 0,6 \cdot 1,14}{480(20+1)} \cdot 1,01 = 0,215 \text{ грн.}$$

$$B_{ip} = \frac{(1690 + 20 \cdot 75,6) \cdot 0,6 \cdot 0,836}{480(20+1)} \cdot 1,01 = 0,158 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо до табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п/п	Експлуатаційні витрати	Умовне позначення	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата основна, додаткова з відрахуваннями у соціальні фонди	B_z	2,346	1,721
2.	Силовa електроенергія	$B_{ел}$	0,922	0,788
3.	Допоміжні матеріали	$B_{мд}$	0,879	0,304
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,185	0,087
5.	Утримання приміщення	$B_{уп}$	0,080	0,050
6.	Універсальний інструмент	B_{ip}	0,215	0,158
7.	Амортизація обладнання	B_a	1,864	1,869
Загальна сума		B_e	6,491	4,977

5.6 Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект, який отримує виробник верстата, розраховуємо за формулою:

$$E_{pv} = (C_{opt}^{np} - C_{пов}^{np}) \cdot P_v - E_n \cdot K_v, \quad (5.17)$$

де C_{opt}^{np} – вартість оптова проектного верстата, грн.;

$C_{пов}^{np}$ – повна собівартість проектного верстата, грн.;

P_v – програма виробництва верстатів, шт./рік;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,16$);

K_v – додаткові капітальні витрати у виробника, грн.

$$K_v = B_{пк} + B_t, \quad (5.18)$$

де $B_{пк}$, B_t – відповідно вартість конструкторської та технологічної підготовки виробництва, грн.

$$K_v = 611897 + 502493 = 1114390 \text{ грн.}$$

$$E_{pv} = (2283320 - 1902767) \cdot 1 - 0,16 \cdot 192800 = 202300 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект у споживача розраховуємо за формулою:

$$E_{сп} = (P_e^{баз} - P_e^{np}) \cdot N_d - E_n \cdot K_{сп}, \quad (4.19)$$

де $P_e^{баз}$, P_e^{np} – експлуатаційні витрати відповідно в базовому та проектному варіантах, грн.;

N_d – річна програма обробки деталі на верстаті;

$K_{сп}$ – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.

$$K_{сп} = \Phi_{бал}^{np} \cdot Q_{пр} - \Phi_{бал}^{баз} \cdot Q_{баз}, \quad (5.20)$$

$\Phi_{бал}^{np}$, $\Phi_{бал}^{баз}$ – відповідно балансова вартість проектного та базових верстатів, грн.

$$K_{сп} = 2648651 \cdot 1 - 1938012 = 710639 \text{ грн}$$

$$E_p = (6,491 - 4,977) \cdot 80000 - 0,16 \cdot 710639 = 7420 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень у виробника:

$$T_{ок_в} = \frac{K_e}{(C_{опт}^{пр} - C_{пов}^{пр}) \cdot \Pi_в} = \frac{1114390}{380553 \cdot 1} = 2,9 \text{ років}, \quad (5.21)$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень у споживача:

$$T_{ок_{сн}} = \frac{K_{сн}}{(B_e^{баз} - B_e^{пр}) \cdot N_o} = \frac{710639}{(6,491 - 4,977) \cdot 80000} = 5,9 \text{ років} \quad (5.22)$$

Зростання продуктивності праці визначаємо за показником витрат часу ($t_{ум}$) на одиницю продукції в проектному варіанті в порівнянні з базовим, %:

$$\Pi_n = 100 - \frac{t_{ум(проект)}}{t_{ум(баз)}} \cdot 100 = 100 - \frac{0,836}{1,14} \cdot 100 = 26,6\% \quad (5.23)$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного верстатів

№ п/п	Показники	Одиниця	Базовий варіант	Проект	Зміна, %(+, -)
1	2	3		6	7
1	Програма виробництва верстатів	шт./рік	2	1	-50,0
2	Річний випуск деталей	шт./рік	80000	80000	-
3	Штучний час обробки виробу	хв.	1,14	0,836	+26,6
4	Собівартість (повна) виготовлення верстату	грн	-	1902767	-
	Оптова ціна верстата	грн	1670700	2283320	+36,7
	Балансова вартість верстатів	грн	1938012	2648651	+36,7
5	Собівартість одиниці обробки	грн	6,491	4,977	-23,3
6	Капітальні витрати на конструкторську та технологічну підготовку виробництва	грн	-	1114390	-
7	Строк окупності додаткових капітальних витрат - у виробника - у споживача	років років	- -	2,9 5,9	- -
8	Річний економічний ефект: - у виробника - у споживача:	грн грн		202300 7420	

Загальні висновки

1. Обрано верстат, який став базою для розробки проектованого верстата.
2. Розроблено оптимальний варіант компоновки проектованого верстата досліджено властивості змінних безвольфрамкових тришарових ріжучих пластин.
3. Розроблено технологічний процес обробки верхньої кулькової опори для проектованого верстата.
4. Розроблено спеціальні основні вузли проектованого верстата та їх основні характеристики.
5. Виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності використання горизонтального трьохшпindelного верстата для комплексної обробки сферичних поверхонь. Виконані всі необхідні організаційно-економічні розрахунки. При цьому розрахункова продуктивність верстата автомата складає 80000 дет./рік., річний економічний ефект від впровадження верстата автомата для обробки фаски в центральному отворі шестерні у виробництво складає: у виробника 202300 грн. і у споживача 7420 грн., окупляться додаткові капітальні вкладення у виробника за 2,9 роки, а у споживача за 5,9 роки, що дозволяє зробити висновок про економічну доцільність впровадження верстата автомата у виробництво.

Список використаних літературних джерел

1. Модульно-параметричний принцип розробки проектів шестеренних гідравлічних машин. / Апаракін А.Р. // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). – С. 51-58.
2. Валявський, І. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навч. посіб. / І. А. Валявський, О. В. Лисенко, І. А. Лисенко ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.
3. Shcherbyna K. Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks / K. Shcherbyna, A. Hrechka, V. Mazhara, T. Diachenko//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2020. – Вип.50. – С.159-164
4. Щербина К.К. Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона / К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 5 (36). – Ч. 2. – С. 31-38.
5. Годунко М.О. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою / М.О. Годунко, О.А. Кислун, В.А. Мажара, В.К. Щербина, Р.А. Кравченко, В.В. Ключкін // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). – С. 27-33.
6. Годунко М.О. Дослідження можливості підвищення точності захватного пристрою робота за рахунок компенсуючої ланки затискного важеля. Годунко М.О., Мажара В.А., Кислун О.С., Щербина В.К., Писанка С.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки : зб. Наук пр. – Хмельницький : ХНУ, 2024. – Вип. №3. – С. 52-56.
7. Kyrychenko A. The principle of contradiction in scientific and pedagogical research on AI (methodological aspect) / A. Kyrychenko, Z. Stezhko // Вісник

Львівського університету. Серія філос.-політолог. студії. - Львів: Видавничий дім «Гельветика», 2024. – Вип. 53. – С. 78-85.

8. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єршомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
19. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
9. Пузирьов О.Л. Аналіз ефективності впровадження волочильного стану для підготовки заготовок з металопродукату для верстатів з ЧПК / О.Л. Пузирьов, А.І. Гречка // Технології та інжиніринг. – К.: КНТУТД, 2024. – Вип. 5 (22). – С. 71-78.
10. Кириченко А. М. Аналіз кінематики верстата з двохкоординатним механізмом паралельної структури "біпод" / А. М. Кириченко, Л. В. Ленченко, С. М. Заїка // Вісник Тернопільського державного технічного університету. - Тернопіль : ТДТУ, 2008. - № 2. - С. 74-81
11. Кириченко А. М. Дослідження кінематики трьохкоординатного верстата з комбінованою структурою / А. М. Кириченко, С. М. Заїка, Л. В. Ленченко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград : КНТУ, 2008. - Вип. 20. - С. 97-103.
12. Кириченко А. М. Визначення силових характеристик приводів обладнання з механізмами паралельної структури / А. М. Кириченко, С. М. Заїка // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук : КДПУ, 2008. - Вип. 5 (52), ч. 2. - С. 50-53.
13. Заїка С. М. Точність верстатів із плоскими механізмами паралельної структури / С. М. Заїка, А. М. Кириченко // Вісник Сумського державного університету. Серія "Технічні науки". - Суми : СумДУ, 2010. - № 4. - С. 19-23.

14. Кириченко А. М. Особливі положення плоских механізмів паралельної структури / А. М. Кириченко, С. М. Заїка, А. М. Федотьев // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук : КДУ, 2010. - Вип. 5 (64), ч. 1. - С. 94-99.
15. Надеин В.С. Повышение точности шевингования облегающими шеверами / В.С. Надеин, М.Г. Сторчак, А.В. Кривошея, С.Н. Заика, Д.В. Грынъ // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы механического привода. - Харьков : НТУ "ХПИ". - 2012. - № 35. - С. 106-112.
16. Щербина К. Динамічний аналіз кульково-клинового хону в зоні малих переміщень / Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка С., Масляніков В. // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2024. - №3 (337). - С.250-254.
17. Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка А., Масляніков В. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.493-499.
18. Щербина, К., Заїка, А., Заїка, С., Мажара, В., & Скібінський, Я. (2025). Управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 349(2), 364-370.
19. Заїка, С., Заїка, А., Лисенко, О., & Скібінський, Я. (2025). Підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну деформуючим протягуванням. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 357(5.1), 167-174.
20. Економічні розрахунки організаційно-планові розрахунки при розробці нових виробів. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – 36 с.
21. Планування діяльності підприємства. Методичні вказівки з використання сітєвих методів в плануванні діяльності підприємства. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 30 с.