

Пояснювальна записка

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

на тему:

«Розширення технологічних можливостей токарного шестишпиндельного
напівавтомата моделі 1Б290П-6К при обробці деталей типу: фланець, втулка,
маточина»

«Expansion of the technological capabilities of the 1B290P-6K six-spindle semi-
automatic lathe when machining parts such as flanges, bushings, and hubs»

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

Керівник: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

Рецензент: доц., к.т.н.

Андрій ТИХИЙ

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
Валентина ОЛІШЕВСЬКОГО

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розширення технологічних можливостей токарного
шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К при обробці деталей
типу: фланець, втулка, маточина

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Андрій ГРЕЧКА

3. Строк подання роботи до захисту «19» грудня 2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: Розширення технологічних можливостей токарного шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К при обробці деталей типу: фланець, втулка, маточина та дослідження впливу теплових деформацій на працездатність верстата

Завдання:

- проаналізувати стан питання стосовно обробки об'єкта виробництва.
- дослідити вплив теплових деформацій на працездатність токарного патронного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К;
- запропонувати шляхи підвищення ефективності обробки робочих поверхонь об'єкта виробництва;
- розробити конструкторсько-технологічну документацію модернізації верстата мод 1Б290П-6К для реалізації нового технологічного процесу;
- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації токарного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К

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	СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ	Вересень 2025	Вик.
2	ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТОКАРНОГО ПАТРОННОГО ШЕСТИШПИНДЕЛЬНОГО АВТОМАТА МОДЕЛІ 1Б290П-6К	Вересень 2025	Вик.
3	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТІ	Листопад 2025	Вик.
4	РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНИХ ВУЗЛІВ	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 _____ Валентин ОЛШЕВСЬКИЙ
(підпис)

Анотація

Валентин ОЛШЕВСЬКИЙ. Розширення технологічних можливостей токарного шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К при обробці деталей типу: фланець, втулка, маточина. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2025. – 79 с. Матеріали презентації 7 аркушів.

Метою роботи є Розширення технологічних можливостей токарного шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К при обробці деталей типу: фланець, втулка, маточина та дослідження впливу теплових деформацій на працездатність верстата.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі задачі: проаналізовано стан питання стосовно обробки об'єкта виробництва; досліджено вплив теплових деформацій на працездатність токарного патронного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К; запропоновано шляхи підвищення ефективності обробки робочих поверхонь об'єкта виробництва; розроблено конструкторсько-технологічну документацію модернізації верстата мод 1Б290П–6К для реалізації нового технологічного процесу; виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації токарного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К.

Актуальність: Одним з найважливіших недоліків верстатів при обробці деталей типу: фланець, втулка, маточина, є те, що неможливе використання різних частот обертання робочих шпинделів в процесі обробки деталей. Це призводить до значного перепаду швидкостей (інструмент працює в різних умовах, відбувається нерівномірний знос інструмента). Це збільшує кількість переналагоджень і зменшує продуктивність. Отже, модернізація існуючого верстата (це значно дешевше, ніж розробка нового) є актуальною задачею, оскільки дає можливість підвищити продуктивність.

Практичне значення: За результатами досліджень впливу теплових деформацій на працездатність верстата, модернізовано такі вузли верстата, як шпиндельний барабан та центральний золотник.

Ключові слова: шпиндельний барабан, центральний золотник, теплові деформації, токарний шестишпиндельний напівавтомат, фланець, втулка, маточина.

Abstract

Valentyn OLISHEVSKYI. Expansion of the technological capabilities of the 1B290P-6K six-spindle semi-automatic lathe when machining parts such as flanges, bushings, and hubs. Master's Thesis: CNTU, 2025. - 79 p. Presentation materials 7 il.

The aim of the work is to expand the technological capabilities of the 1B290P-6K six-spindle turning semi-automatic machine during the machining of flange, bushing, and hub type parts, as well as to study the influence of thermal deformations on the machine's performance.

To achieve this goal, the following tasks were completed: the current state of machining the production object was analyzed; the influence of thermal deformations on the performance of the 1B290P-6K six-spindle chucking automatic machine was investigated; methods for increasing the efficiency of machining the working surfaces of the production object were proposed; design and technological documentation for the modernization of the 1B290P-6K machine to implement the new technological process was developed; a techno-economic justification of the feasibility of modernizing the 1B290P-6K six-spindle turning automatic machine was carried out.

Relevance: One of the most significant drawbacks of machines used for machining flange-, bushing-, and hub-type parts is the impossibility of using different rotation speeds of the working spindles during the machining process. This results in considerable speed variations, causing the cutting tools to work under unequal conditions, leading to uneven tool wear. As a consequence, the number of adjustments increases, and overall productivity decreases. Therefore, modernizing the existing machine (which is significantly cheaper than designing a new one) is an important task, as it allows productivity to be increased.

Practical significance: Based on the results of the study on the influence of thermal deformations on machine performance, such units as the spindle drum and the central distributor were modernized.

Keywords: spindle drum, central distributor, thermal deformations, six-spindle turning semi-automatic machine, flange, bushing, hub.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	10
1.1. Характеристика й аналіз об'єкта виробництва	10
1.1.1 Характеристика деталі	10
1.1.2 Фізико-механічні та хімічні властивості матеріалу деталі.....	10
1.1.3 Характеристика заготовки.....	11
1.2 Огляд та аналіз літературних джерел по темі проекту, висновки.....	12
1.3 Призначення та характеристика базового верстата.....	13
1.4 Мета та задачі роботи.....	14
1.4.1 Будова шпиндельного барабана.....	15
1.4.2 Принцип дії шпиндельного барабана.....	16
1.4.3 Центральний золотник.....	17
1.4.4 Пристрій підналагоджувально-розточний.....	19
Розділ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТОКАРНОГО ПАТРОННОГО ШЕСТИШПИНДЕЛЬНОГО АВТОМАТА МОДЕЛІ 1Б290П-6К.....	20
Розділ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ.....	25
3.1 Опис схем налагодження	25
3.2 Розрахунок режимів різання.....	26
3.3 Визначення основного часу обробки.....	35
3.4 Технічне нормування.....	36
Розділ 4. РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНИХ ВУЗЛІВ.....	38
4.1 Розрахунок розподільного вала.....	38
4.2. Розрахунок циліндричного зубчастого колеса на контактну витривалість і розрахунок на витривалість при згині.....	45
4.3 Розрахунок підшипників розподільного вала.....	50
4.4 Розрахунок діаметра гідроциліндра та довжини робочого ходу поршня.....	52
4.5 Розрахунок пружини на міцність	53
4.6 Розрахунок захисної муфти	55
Розділ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕФОРМУЮЧОЇ ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРУ КОРПУСУ ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА.....	57
5.1 Загальні вихідні дані.....	57
5.2 Визначення витрат на конструкторську підготовку виробництва....	58
5.3 Визначення витрат на технологічну підготовку виробництва.....	62
5.4 Визначення витрат на виготовлення об'єкта та обґрунтування його оптової ціни.....	65
5.5 Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки) на новому обладнанні.....	69

5.6	Розрахунок показників економічної ефективності.....	73
	Загальні висновки.....	76
	Список використаних літературних джерел.....	77

Вступ

Сучасний розвиток машинобудівної галузі вимагає від підприємств постійного підвищення ефективності виробничих процесів, збільшення продуктивності обладнання та забезпечення стабільно високої якості оброблюваних деталей. Одним із ключових напрямів технічного прогресу є модернізація існуючих металорізальних верстатів, що дозволяє значно розширити їхні технологічні можливості без необхідності закупівлі дорогого нового обладнання.

Особливо актуальним це питання є для багатошпиндельних токарних автоматів та напівавтоматів, які широко застосовуються у масовому та великосерійному виробництві. Верстати такого типу забезпечують високу продуктивність, проте їх конструктивні особливості часто обмежують можливість використання оптимальних режимів різання при виготовленні деталей різної геометрії та складності. До таких деталей належать фланці, втулки та маточини — елементи, що мають широке застосування в автомобілебудуванні, приладобудуванні, гідравлічних системах та інших галузях.

Токарний шестишпиндельний напівавтомат моделі 1Б290П-6К є одним із поширених зразків вітчизняного обладнання для виготовлення подібних деталей. Однак його конструкція має низку недоліків, пов'язаних із неможливістю варіювання частот обертання робочих шпинделів у межах одного циклу обробки, підвищеною чутливістю до теплових деформацій та недостатньою гнучкістю при переході між різними видами деталей. Це впливає на точність обробки, збільшує інтенсивність зношування інструменту та знижує загальну продуктивність.

У зв'язку з цим модернізація верстата 1Б290П-6К є важливим та актуальним завданням, яке дає можливість розширити його технологічні можливості, підвищити ефективність обробки поверхонь деталей типу фланець, втулка та маточина, покращити точність та стабільність процесу, а також зменшити час переналагоджень. Крім того, врахування впливу теплових деформацій та удосконалення вузлів, що найбільше схильні до них, є критичним фактором підвищення довговічності і надійності роботи обладнання.

Деталі типу фланців, втулок і маточин широко застосовуються у транспортному машинобудуванні, приладобудуванні, аграрному секторі та інших галузях. Їх виготовлення вимагає високої точності базування, стабільності обробки та можливості формування складних посадочних поверхонь. Удосконалення конструкції та технологічного оснащення напівавтомата 1Б290П-6К відкриває можливості для більш широкої номенклатури виробів та оптимізації робочих циклів

Таким чином, комплексне дослідження можливостей модернізації токарного шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К та впровадження конструктивних удосконалень має як наукову, так і практичну цінність, оскільки забезпечує підвищення технічного рівня машинобудівного виробництва та сприяє впровадженню енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій.

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

1.1. Характеристика й аналіз об'єкта виробництва

1.1.1. Характеристика деталі

Деталь являє собою маточину з декількома базовими поверхнями та внутрішнім високоточним отвором ($\varnothing 88,8$ мм), в якому потім базується піввісь ходової частини, тому в деталі передбачені маслогінні канавки для забезпечення надійного змащування вала в даній маточині [11]. З боку фланця деталі передбачена виточка під ущільнення, яка забезпечує надійну установку сальника. З боку малого торця передбачена канавка зі стопорним кільцем.

В деталі також передбачена камера ($\varnothing 95$ мм), яка поділяє дану маточину на дві опори, що забезпечує краще базування півосі (рис. 1.1).

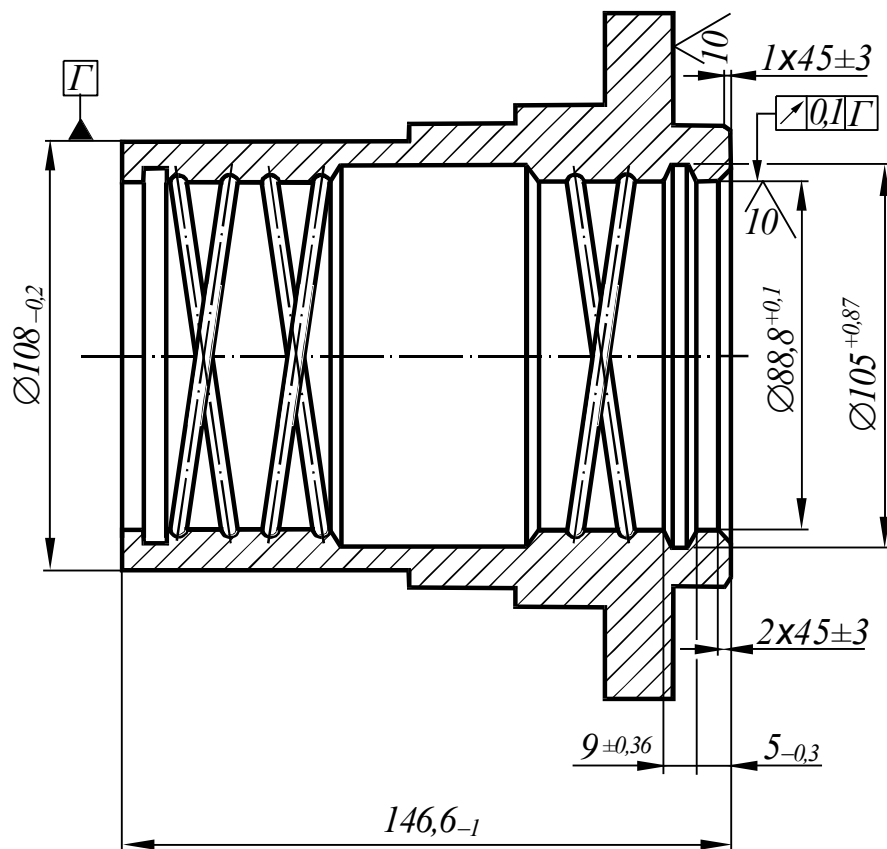


Рис. 1.1. Ескіз деталі

1.1.2. Фізико-механічні та хімічні властивості матеріалу деталі [1]

Матеріал деталі: Сталь 40 – середньовуглецева сталь.

Хімічний склад сталі: 0,4%-C, 0,5%-Fe, ~0,1%-домішки P, S.

Прокалюваність сталі не велика: критичний діаметр після загартування у воді не перевищує 10-12 мм (95% мартенсита). Тому ці сталі використовуються для виготовлення невеликих деталей.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталі

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ψ , %	K_{cu} , МДж/м ²
600÷700	400÷600	50÷40	0,4÷0,5

1.1.3. Характеристика заготовки

Для обробки на токарному шестишпиндельному напівавтоматі моделі 1Б290П-6К в якості заготовки використовується напівфабрикат (рис. 1.2).

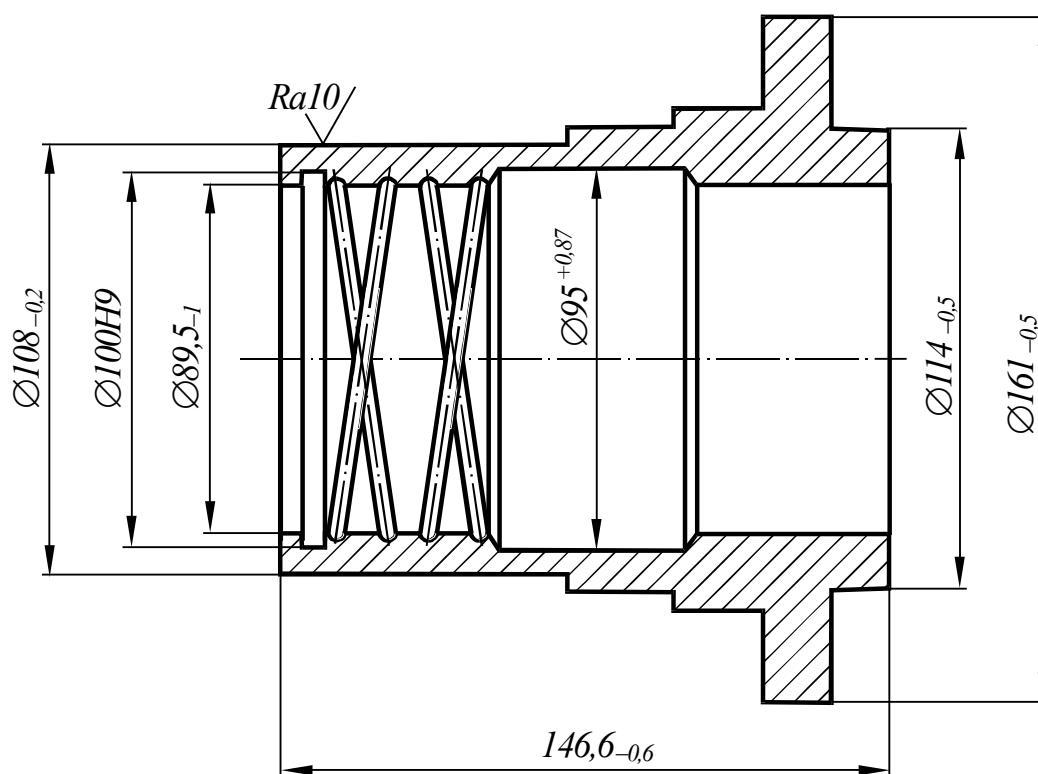


Рис. 1.2. Ескіз заготовки

Зовнішні поверхні заготовки ступінчастої форми.(вони оброблені на попередній операції). Центральний отвір також ступінчастої форми. З лівого боку, всередині отвору прорізані змащування канавки та канавки під стопорне кільце.

На даній операції треба буде прорізати такі ж самі канавки з другого боку і розточити камеру в центральному отворі.

1.2. Огляд та аналіз літературних джерел по темі проекту, висновки

Завдання, що поставлені перед сучасним машинобудуванням потрібно вирішувати тільки при використанні технічно-вдосконаленого верстатного обладнання. Це відноситься до такої групи верстатів, як токарні автомати та напівавтомати [3, 5, 24]. Розвитку цих верстатів сприяв ряд творчих винаходів, таких як винахід багатошпиндельних токарних верстатів паралельної дії, револьверної головки, револьверного автомата та багатошпиндельного токарного верстата з поворотним шпиндельним блоком [5, 21].

Конструкції токарних багатошпиндельних автоматів постійно удосконалювались і, пройшовши тривалий шлях розвитку, забезпечили цим верстатам наступні відмінні особливості [6, 20].

Виключно високу продуктивність обробки: використання багатошпиндельних автоматів замість універсальних токарних верстатів та одношпиндельних в умовах масового багатосерійного виробництва призводить до значної економії виробничих площин, робочої сили.

Високу точність обробки деталей, яка дозволяє забезпечити стабільні малі припуски для наступних чистових видів обробки, або безпосередньо отримувати деталі з розмірами, маючи достатньо вузькі допуски.

Широкі технологічні можливості, які дозволяють виготовляти на багатошпиндельних автоматах деталі дуже складної форми.

Простоту в обслуговуванні; робота на багатошпиндельних автоматах не потребує від оператора високої кваліфікації. Один оператор може працювати на двох-трьох верстатах.

Але ці верстати мають ряд недоліків [5, 18].

Збільшення кількості шпинделів і супортів призводить до ускладнення конструкції верстата.

З розвитком автоматобудування все гостріше встає питання про скорочення пристроїв верстатів через підналагодження та зміну інструментів;

Для кожного супорта використовуються регульовані упори, які служать для настройки інструмента. Вони закріплюються на шпиндельному блоці, тому супорти чинять підвищений тиск на блок, зменшуючи його точність.

Верстати мають одну частоту обертів працюючих шпинделів, що призводить до значного перепаду швидкостей різання при обробці деталей, які мають великі перепади діаметрів (втулки, фланці, маточини і ін.).

1.3. Призначення та характеристика базового верстата

Напівавтомат токарний шестишпиндельний підвищеної точності моделі 1Б290П-6К призначений для виготовлення деталей із штучних заготовок (відливок, штамповок, поковок) в умовах масового, багатосерійного та серійного виробництва при підвищених вимогах до точності оброблюваних деталей [5, 20].

Корпус верстата виготовлений у вигляді замкнутої порталної конструкції. На литій коробчатій станині розташований шпиндельний блок 3, у якому змонтований шпиндельний барабан 7 з робочими шпинделями. Шпинделі оснащені патронами для затиску оброблюваної заготовки. Крім барабана, у шпиндельному блоці розташовані важелі привода 25 поперечних супортів, механізми фіксування барабана 20, підйому барабана 26 та контролю підйому 22. На дзеркалі шпиндельного блока змонтовані середній 23 та нижній 24 поперечні супорти.

На станині з правого боку розташована коробка передач 2, де знаходиться привід головного руху (робочих шпинделів), привід подачі (до розподільного вала), привід інструментальних шпинделів, налагоджувальний привід, важелі привода 18 поздовжнього супорта. Позаду коробки прикріплена поворотна електрошафа 10. Між коробкою та блоком розташований поздовжній супорт 5. На коробці та шпиндельному блоці лежить траверса 3, в середині якої розташований розподільний вал для керування всіма механізмами верстата. На траверсі розташовані верхні поперечні супорти 6. Крім того в траверсі розташовані верхні важелі привода супортів 27, важелі привода незалежних пристроїв 11, важелі фіксації. Збоку траверси встановлений командоапарат 12, керуючий електромеханічними муфтами коробки передач і соленоїдами золотників гідрообладнання. На траверсі, блоці та коробці передач розташовані верхні щити 15. За коробкою передач в станині розташовані помпи та відсік для охолоджувальної рідини 8, головний двигун. В ніші шпиндельного блоку на станині розташований помповий пристрій гідрообладнання, з торця станини

монтується виносний помповий пристрій змащування, відсік для масла розташований у станині під пристроєм гідрообладнання. За коробкою передач на станині розташований транспортер 13 для видалення стружки. Робочий простір верстата закритий огорожувальними щитками.

Завантаження робочої позиції верстата заготовками виконує маніпулятор, який встановлюється на верстаті.

1.4. Мета та задачі роботи

Метою дипломної роботи є розширення технологічних можливостей токарного шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К при обробці деталей типу: фланець, втулка, маточина та дослідження впливу теплових деформацій на працездатність верстата.

Проаналізувавши всі позитивні якості та недоліки верстатів даної підгрупи вважаємо, що один з найважливіших недоліків верстатів при обробці деталей типа: фланець, втулка, маточина, є те, що неможливе використання різних частот обертання робочих шпинделів в процесі обробки деталей. Це призводить до значного перепаду швидкостей (інструмент працює в різних умовах, відбувається нерівномірний знос інструмента). Це збільшує кількість переналагоджень і зменшує продуктивність.

Після проведеного аналізу вибираємо напрямок на модернізацію базового верстата (це значно дешевше, ніж розробка нового). Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні задачі:

- проаналізувати стан питання стосовно обробки об'єкта виробництва.
- дослідити вплив теплових деформацій на працездатність токарного патронного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К;
- запропонувати шляхи підвищення ефективності обробки робочих поверхонь об'єкта виробництва;
- розробити конструкторсько-технологічну документацію модернізації верстата мод 1Б290П-6К для реалізації нового технологічного процесу;
- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації токарного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К

1.4.1. Будова шпindelного барабана

В шести шпindelних отворах барабана 1 в опорах кочення встановлені шість шпindelів.

В передній опорі барабана 184 встановлений роликopідшипник радіальний дворядний з короткими циліндричними роликами та конічними отворами на внутрішньому кільці. Відрегульований підшипник затиснутий між головкою шпинделя 4, пальцем 6, диском 5, втулкою, гайками 116 та 117. Зовнішнє кільце встановлене з зазором 1 мм між лабіринтом 59 та кільцем 58.

Задня опора шпинделя складається з упорного шарикopідшипника 183 та двох радіально-упорних шарикopідшипників 178, встановлених з попереднім натягом.

Шестерня першої швидкості 62 встановлена на двох радіальних шарикopідшипниках 173 з попереднім натягом.

Шестерня другої швидкості встановлена на двох радіальних шарикopідшипниках 179 з попереднім натягом.

Обертання шпindelю шестерня першої швидкості 62 передає за допомогою дискового фрикціону 46, 47. Шестерня другої швидкості 15 передає обертання за допомогою дискового фрикціону 51, 52.

Стиск дисків 51 та 52 фрикціону першої швидкості здійснюється циліндром 28 через втулку 20, штирі 80 та диск 14.

Стиск дисків 46 та 47 фрикціону другої швидкості здійснюється також циліндром 18 через втулку 39 та подалі через підпружинений гідроциліндр 25, різьбову втулку 41 та диск 45.

Ліва кришка гідроциліндра сполучається зі складальною втулкою 3 торцевого підвода робочої рідини, а також з гальмівним фрикціоном 89, 90, 91, 93, 97, 112 установленому на втулці 41 підвода робочої рідини та регулювання гальма.

Поршень 39, тяга 35 та перехідник призначені для керування затискним патроном.

У центральному отворі шпинделя встановлені пружини передні 109 і 111 для попереднього затиску виробу та задня для переміщення плаваючого циліндра

у бік гальма та гальмування. Пружина переміщує циліндр 28 вліво до упора торця втулки 20 у виступи шліців на шпинделі під деталлю 26.

В центральному отворі барабана 1 з головною віссю встановлений центральний привідний вал 13 у підшипниках 117.

На шліцах центрального вала встановлена центральна шестерня першої швидкості 62 та вільнообертова на підшипниках 174 центральна шестерня другої швидкості 38. На лівому кінці центрального вала встановлена змінна шестерня другої швидкості, яка передає обертання другій змінній шестерні і через шестерню 53 та 29, а також через запобіжний дисковий фрикціон 46, 47, втулки 34 та 33 передають обертання центральній шестерні другої швидкості.

Привід обертання другої швидкості встановлений на дискові 5, який прикріплений до барабана 1 за допомогою колонок 40. Використані конічні роликотпідшипники 181 та 182.

До диска 5 за допомогою колонок 40 прикріплений корпус центрального золотника.

1.4.2. Принцип дії шпиндельного барабана [12, 15]

Рух шпинделю, який обертається з першою швидкістю передається від центрального вала 12, центральної шестерні 62 через дисковий фрикціон 35, 36. При цьому робоча рідина (масло) поступає в передню порожнину II плаваючого циліндра. Шпиндель обертається, деталь затиснута в патроні поршнем 34. Зусилля циліндра передається через втулку 20, штовхачі 25 та диск 13. Пружина стиснута. Гальма 89, 90 вільні.

При повороті шпиндельного барабана та переході шпинделя, який обертається з першою швидкістю, в позицію, де необхідна друга швидкість, порожнина II циліндра 28 на короткий час через спеціальну порожнину на центральному золотнику сполучається з порожниною III циліндра другої швидкості, від'єднуючись при цьому від магістралі підживлення. Пружина 111 починає випрямлятися та переміщує циліндр 28 вліво. Масло з порожнини II витискується та подається в порожнину III циліндра другої швидкості 24. При цьому фрикціон першої швидкості 35, 36 звільняється, а циліндр 28 може стиснути гальмівний фрикціон 89, 90 і шпиндель може зупинитись.

Циліндр під дією перекачуваного туди масла “взводиться” (переміщується вправо), стискаючи пружини 158, до упора в стопорне кільце 81.

В кінці повороту порожнини II та III роз’єднуються. Тиск масла в порожнині III підтримується від центрального золотника, а в порожнину II знову подається масло під тиском, яке переміщує циліндр 28 та “взведений” циліндр 24 вправо до вибірки зазору K2 і включення фрикціону другої швидкості 89, 90.

При цьому штирі 80 під дією пружини 81 зміщені вліво і не досягають торця деталі. Фрикціон першої швидкості 35, 36 та гальма 89, 90 вільні. Шпindel обертається з другою швидкістю. Деталь затиснута в патроні. При переході шпинделя у завантажувальну позицію масло з порожнин II та III циліндрів 28 та 24 зливається. Циліндри переміщуються вліво під дією пружин 83 та 80. Деталь залишається затиснутою пружинами 82 та 108. Шпindel загальмований. При подачі масла в порожнину I циліндра 28, поршень переміщується вправо, стискаючи пружини 69 та 70 і патрон розтискається.

Після установки нової заготовки в патрон масло з порожнини I зливається і пружини 108 та 82 роблять попередній затиск виробу в патроні. Потім масло подається до порожнини II (від ручного керування або від командоапарата). Вмикається перша швидкість обертання шпинделя.

1.4.3. Центральний золотник

(див. креслення ДСМВ).

Центральний золотник призначений для підвода масла до гідроциліндрів першої та другої швидкості. Масло, яке підводиться через втулку до золотника 3, через маслопідводячу зірку поступає до всіх гідроциліндрів. В кожній з позицій, встановлюючи у визначеному порядку маслопідводячі планки 5, можна отримати дві різні швидкості обертання шпинделів, крім шостої позиції (завантажувальної), в якій встановлена постійно перша швидкість.

Зовнішня втулка золотника 3 має форму шестигранника, на п’яти поверхнях якого гвинтами 9 закріплені маслопідводні планки 5, які на торці мають позначення (рис. 1.3).

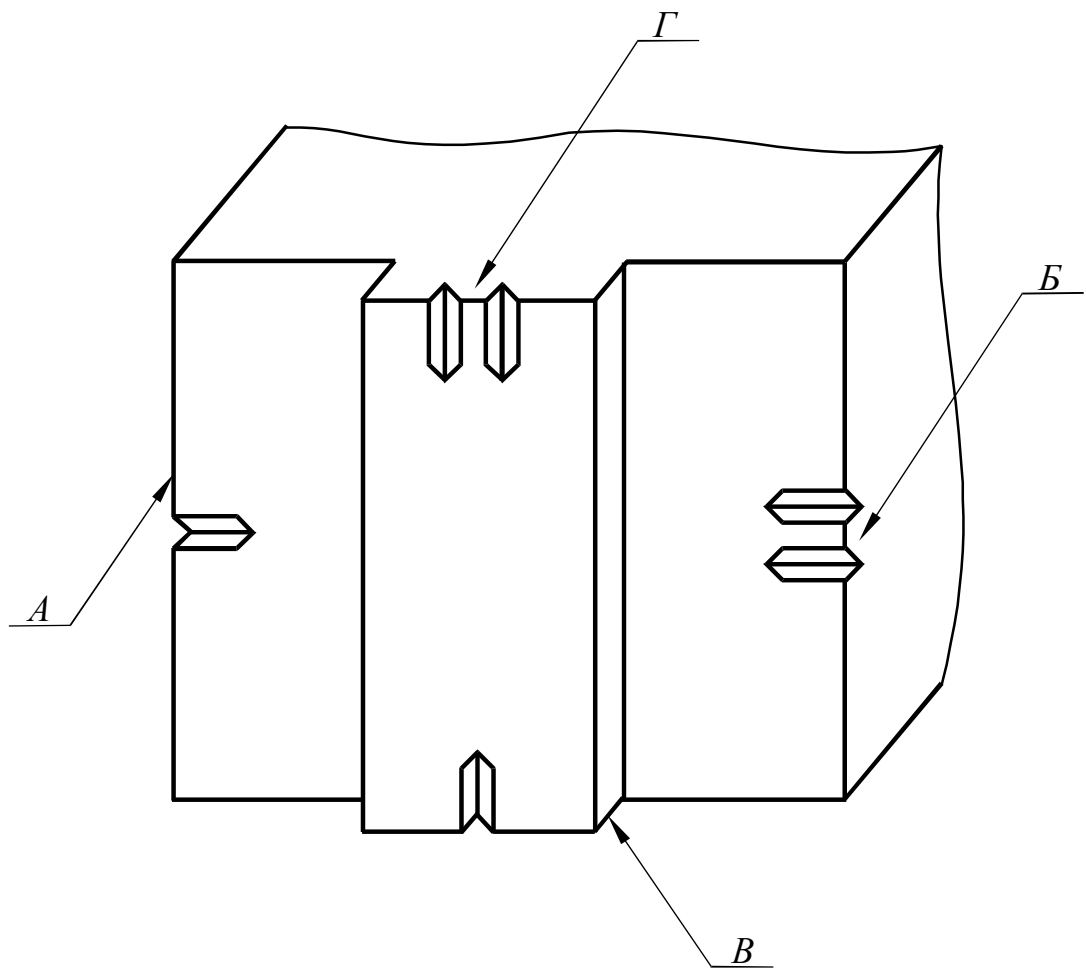


Рис. 1.3. Маслопровідна планка

Паси на виступі (поверхні В та Г) позначають установку першої або другої швидкості, з'єднуючи перший або другий гідроциліндр з перемикаємим тиском, забезпечуючи злив і заживлення гідроциліндрів.

Паси на западинах (поверхні А та Б) також забезпечують установку першої або другої швидкості, з'єднують гідроциліндри з постійним тиском (тобто тиском підживлення). При установці планки поверхнею А до золотника буде увімкнена перша швидкість, при чому ставити планку поверхнею А слід тільки у тому разі, якщо на попередній позиції була встановлена перша швидкість, у цьому разі масло із гідроциліндра першої швидкості не буде зливатися, а буде підключене до тиску підживлення при переході шпинделя на дану позицію.

При установці планки поверхнею Б до золотника буде підключена друга швидкість, при чому ставити планку поверхнею Б слід тільки у тому разі, якщо на попередній позиції була встановлена друга швидкість, у цьому разі масло із гідроциліндра другої швидкості не буде зливатися, а буде підключене до тиску

підживлення при переході шпинделя на дану позицію. Установка в двох сусідніх позиціях планок поверхонь А та Б до золотника заборонена, тому що може статися поломка, масло із гідроциліндрів не буде подано на злив, обидва гідроциліндра виявляться під тиском підживлення, і виникне одночасне вмикання двох швидкостей.

Тому для вмикання другої швидкості, після позиції, яка має першу швидкість, планку потрібно кріпити поверхнею Г до золотника, у цьому разі під час повороту барабана від кулачка командоапарата подається команда на злив масла з гідроциліндра першої швидкості, а після повороту барабана, буде подана команда (від іншого кулачка командоапарата) на заживлення гідроциліндра другої швидкості.

Для вмикання першої швидкості після позиції, яка має другу швидкість, планку потрібно кріпити поверхнею В до золотника, у цьому разі під час повороту барабана буде забезпечений злив з гідроциліндра другої швидкості, а після закінчення повороту буде заживлений гідроциліндр першої швидкості (команди подаються від кулачка на командоапарата).

При закріпленні планок слід їх закріплювати рисками назовні, не допускаючи забоїв на шліфувальних поверхнях планок.

1.4.4. Пристрій підналагоджувально-розточний

Для забезпечення постійності розміру $\varnothing 89,5^{+0,1}$ мм та чистоти поверхні R_{a10} спроектовано спеціальний пристрій, для розточування отвору, з автоматичним підналагодженням. Пристрій встановлюється на хрестовому супорті п'ятої позиції верстата.

Діаметр розточування 86...110 мм, забезпечується регулюванням розміру в межах 122...110 мм. Регулювання розміру здійснює підналагоджувальник, який здійснює двобічне шагове підналагодження пружнодеформуючого різцеутримувача при розточуванні. Максимальна довжина розточування 140 мм. Максимальне підналагоджувальне переміщення вершини різця 0,32 мм. Крок підналагодження – 0,01 мм.

Розділ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТОКАРНОГО ПАТРОННОГО ШЕСТИШПИНДЕЛЬНОГО АВТОМАТА МОДЕЛІ 1Б290П-6К

Тривала працездатність верстата забезпечується при мінімальній швидкості зношування основних вузлів верстата, що досягається конструктивними засобами, застосуванням зносостійких і мастильних матеріалів. Важливе значення, при цьому мають обґрунтований вибір оптимальних початкових зазорів у вузлах і врахування об'єктивно існуючих чинників, що впливають на працездатність верстатів і виявляються в процесі їх експлуатації.

Точність автомата залежить від теплових деформацій, під впливом яких у вузлах змінюються умови контакту та змащування, початкові зазори між деталями тощо.

Розглянемо процес зміни умов роботи і шляху зберігання тривалої працездатності найбільш відповідальних вузлів автомата: шпиндельного блока та повздовжнього супорта.

Для даного верстата характерно одночасна участь у роботі багатьох вузлів і різальних інструментів. Основні джерела теплотворення сконцентровані в зоні шпиндельного блока й у самому шпиндельному блоці. Передні та задні опори шпинделя мають різне конструктивне виконання, часто в них використовуються підшипники різноманітних типів. Оскільки сили різання роблять великий вплив на передні опори шпинделів, чим на задні, то в опорах виділяється різна кількість тепла, що призводить до лінійного та кутового зсуву шпинделів, а також до зміни розмірів і форми шпиндельного блока.

На рис. 2.1 показане температурне поле автомата при частоті обертання шпинделів на холостому ході $n = 805$ об/хв; тут нанесена середня надлишкова температура вузлів, що визначають положення вісі 1 шпиндельного блока та центральної напрямної 7 повздовжнього супорта. Нагрів шпиндельного блока у передньої опори 4 (45°C) шпинделя 3 значно вище, чим у задньої опори 2 (24°C), нагрів центральної напрямної біля передньої стінки 6 коробки передач (15°C) нижче, чим біля стінки шпиндельного блока (22°C), що прилягає до передньої

опори. Через нерівномірне нагрівання опор центральна напрямна вигинається. Крім того, тепло від шпиндельного блока передається центральній напрямній, а від неї повздовжньому супорту. Розподіл температури в центральній напрямній та повздовжньому супорті за законом прямокутного ребра нескінченної довжини свідчить про зміну форми і розмірів центральної напрямної та повздовжнього супорта в їхньому повздовжньому перетині.

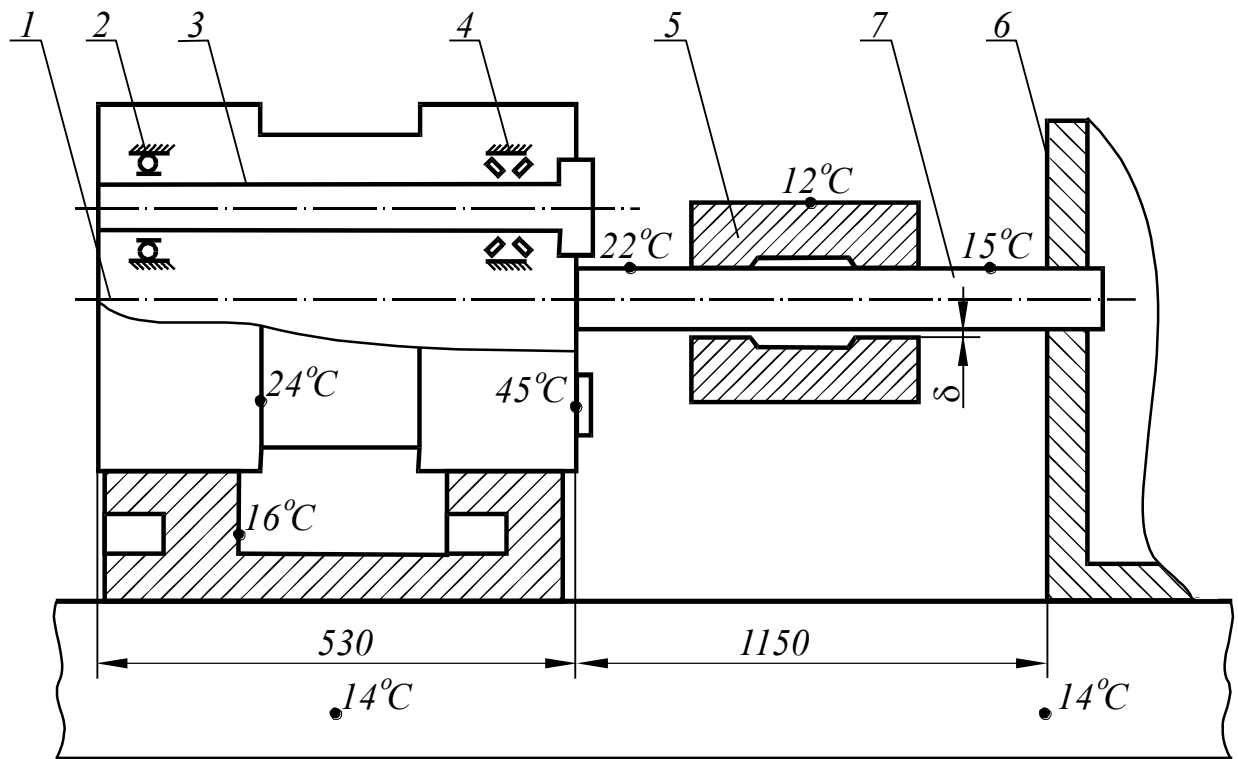


Рис. 2.1. Температурне поле вузлів напівавтомата мод. 1Б290П-9К, які визначають положення вісі шпиндельного блока та центральної напрямної повздовжнього супорта

Теплоємність шпиндельного блока значно більше теплоємності повздовжнього супорта, і охолоджується шпиндельний блок повільніше. При підналагодженні верстата повздовжній супорт відводять від шпиндельного блока в крайнє (на рис. 2.1 праве) положення. У цьому випадку швидкість охолодження його максимальна, а надлишкова температура центральної напрямної в її передній частині підтримується теплотою, що віддається шпиндельним блоком. Тому при наступному переміщенні повздовжнього супорта в крайнє переднє положення (на рис. 2.1 ліве) зазор між центральною напрямною та повздовжнім супортом буде максимальним. Для забезпечення тривалої працездатності та точності автомата необхідно початковий зазор δ між повздовжнім супортом і центральною

напрямною призначати з врахуванням зміни їхніх розмірів і скривлення осі напрямної під впливом теплових деформацій.

У цьому випадку:

$$\delta > \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3, \quad (2.1)$$

де Δ_1 – зміна зазору внаслідок деформації напрямної, яка викликана різницею теплових деформацій її опор;

Δ_2 – зміна зазору внаслідок нерівномірного нагрівання напрямної на довжині ходу повздовжнього супорта та самого супорта на довжині передньої напрямної втулки;

Δ_3 – зміна зазору внаслідок деформації центральної напрямної, яка викликана неточністю установлення верстата на фундаменті.

Експериментально встановлено, що для верстата моделі 1Б290П-6К при $\delta = 20...25$ мкм допустиме значення зміни зазору $\delta = 10...12$ мкм. Внаслідок нерівномірності нагрівання центральної напрямної (до 3°C на довжині ходу повздовжнього супорта) і самого повздовжнього супорта (до 2°C на довжині передньої втулки) приймаємо $\delta > 12 + 9 + 2 = 23$ мкм.

Умови заклинювання повздовжнього супорта на центральній напрямній досліджували на трьох верстатах моделі 1Б290П-6К, що мали зазор $\delta = 18, 13$ і 10 мкм, причому втулка повздовжнього супорта (її форма в подовжньому напрямку являла собою гіперболоїд обертання) контактувала з центральною напрямною на довжині 50 мм (замість 110 мм при циліндричній втулці). У процесі обкатування верстата при $n = 628$ об/хв від “холодного” стану до сталого теплового режиму контролювали зусилля на приводі повздовжнього супорта. З цією метою використовували спеціальний датчик з нанесеними тензорезисторами, встановлюваний у ланцюзі приводу повздовжнього супорта, і стандартний комплект приладів для тензотермічних змін. За допомогою електричного термовимірювального приладу (ЕТП) періодично перевіряли температуру нагрівання шпиндельного блока біля передньої опори, центральної напрямної (у крайніх положеннях передньої втулки повздовжнього супорта) і переднього торця повздовжнього супорта.

Після стабілізації теплового режиму верстати зупиняли на 30 хвилин, відводячи повздовжній супорт від шпиндельного блока в крайнє праве положення для вирівнювання температури центральної напрямної, передні втулки супорта і його переднього торця. Потім верстати вмикалися в автоматичному режимі; при цьому проводився запис зусилля на приводі супорта (рис. 2.2, а). При невинній роботі верстатів (рис. 2.2, а) розмір і характер зусилля на робочому ході не змінювалися для усіх верстатів; у залежності від регулювання клинців і натягу гумових манжет воно складало 400...800 Н.

При перших циклах роботи верстата після його припинення зусилля на приводі збільшилося в 5-10 разів (рис. 2.2 ,б) до кінця робочого ходу, при чому на робочому ході супорта переміщувались ривками. Для верстата з $\delta = 13$ мкм зусилля склало 7000 Н, для верстата з $\delta = 18$ мкм воно було 2500 Н, а на верстаті з $\delta = 10$ мкм відбулося заклинення повздовжнього супорта і зрізання захисного елемента.

Встановлено, що зусилля на приводі та число наступних циклів необхідних для його зменшення до значення, що відповідає стабілізованому режиму роботи верстатів, залежить від початкового зазору δ .

Дослідження показали, що для забезпечення тривалої працездатності повздовжнього супорта необхідно при призначенні зазору δ враховувати теплові деформації центральної напрямної та повздовжнього супорта в найбільш важкому режимі роботи верстатів, а також при охолодженні внаслідок перерв у роботі.

На підставі експериментів рекомендується приймати $\delta = 25...30$ мкм.

При перевірці шести верстатів, у яких зазор δ відповідав допустимим значенням, збільшення зусилля на приводі повздовжнього супорта після імітації підналагодження не спостерігалось.

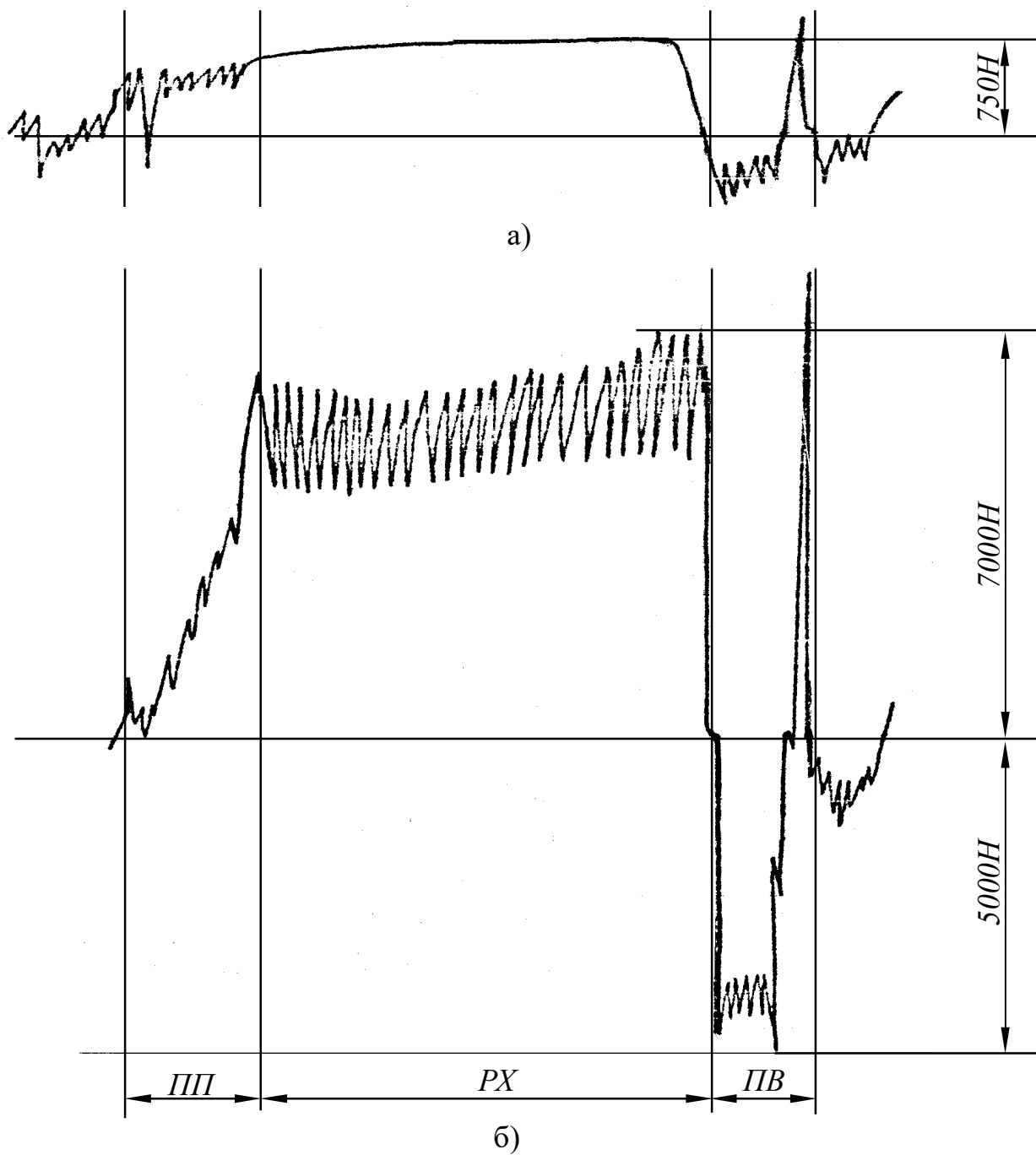


Рис. 2.2. Осцилограми зусилля на приводі повздовжнього супорта:
а) при невпинній роботі; б) при першому циклі після досягнення теплової
рівноваги та наступного охолодження верстата на протязі 30 хв
(ПП – прискорене підведення, РХ – робочий хід, ПВ – прискорене підведення)

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ

3.1. Опис схем налагодження

Перша позиція.

В цій позиції робиться розточка внутрішнього отвору $\varnothing 88,8$ мм, зняття внутрішньої фаски $2 \times 45^\circ$ та підріз торця $\varnothing 110$ мм.

Для розточки внутрішнього отвору приймаємо різець розточний відігнутий. Матеріал ріжучої частини швидкорізальна сталь 11P3A3Ф2 (1,1% C, 3% W, 3% Mo, 2% V).

Для зняття фаски використовуємо різець підрізний правий. Матеріал ріжучої частини – швидкорізальна сталь MCP25 (1% Mo, 1% C, 25% W).

Для підрізки торця використовується прохідний упорний правий різець. Матеріал ріжучої частини – швидкорізальна сталь MCP25.

Друга позиція.

В даній позиції розточується канавка та знімається фаска з внутрішньої поверхні.

Для розточування канавки використовується спеціальний розточний канавковий різець. Матеріал ріжучої частини – швидкорізальна сталь 11P3AM2Ф2.

Діаметр розточуваної канавки $\varnothing 105$ мм, ширина канавки 9 мм. Для зняття фаски використовується підрізний правий різець. Матеріал ріжучої частини – швидкорізальна сталь MCP25. Розмір фаски $2 \times 45^\circ$.

Третя позиція.

В цій позиції розточується канавка $\varnothing 91$ мм, ширина 5 мм. Розточування проводимо спеціальним розточним канавковим лівим різцем. Матеріал ріжучої частини – швидкорізальна сталь 11P3AM2Ф2.

Четверта позиція.

Проводиться розточка канавки $\varnothing 91$ мм, ширина 5 мм. З цією метою використовується спеціальний розточний канавковий правий різець. Матеріал ріжучої частини – швидкорізальна сталь 11P3AM2Ф2.

П'ята позиція.

В цій позиції проводиться розточка камери діаметром $\varnothing 89,5$ мм.

Для розточки камери використовується розточний відігнутий різець T15K6.

3.2. Розрахунок режимів різання

На токарному шестишпиндельному автоматі моделі 1Б29ОП-6К проводиться заключна обробка деталі маточина. Заготовка попередньо оброблена. Матеріал деталі – Сталь 40, НВ 197...207. Установлюється деталь в трьохкулачковий патрон. Розміри заготовки та деталі приведені у схемі налагодження.

Різальні інструменти – різці з швидкорізальної сталі 11РЗАМЗФ2, МСР25 та різець із пластинкою з твердого сплаву T15Т6.

Різець 1 – розточний відігнутий, $\varphi = 45^\circ$.

Різець 2 – підрізний правий.

Різець 3 – прохідний упорний правий.

Різець 4 – розточний канавковий.

Різець 5 – підрізний правий.

Різець 6 – розточний канавковий лівий.

Різець 7 – розточний канавковий правий.

Різець 8 – розточний відігнутий $\varphi=45^\circ$.

Призначаємо режими різання.

Встановлюємо глибину різання для кожного різця налагодження (припуск на обробку знімаємо за один прохід).

Для першого різця

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (3.1)$$

де D – діаметр деталі, мм;

d – діаметр заготовки, мм.

$$t = \frac{88,8 - 88,0}{2} = 0,4 \text{ мм.}$$

Для другого та п'ятого різців припуск на бік $n = 2$ мм, $t = n = 2$ мм.

Для третього різця

$$t = 146,6 - 146,0 = 0,6 \text{ мм.}$$

Для четвертого різця

$$t = \frac{105,0 - 88,8}{2} = 0,4 \text{ мм.}$$

Для шостого та сьомого різців

$$t = \frac{91,0 - 88,8}{2} = 1,1 \text{ мм.}$$

Для восьмого різця

$$t = \frac{89,5 - 88,8}{2} = 0,35 \text{ мм.}$$

Знаходимо довжину робочого ходу повздовжнього та поперечного супортів для кожної позиції окремо.

I позиція.

$$L_{\text{р.х.}} = l_{\text{різ}} + y + l_{\text{дод}}, \quad (3.2)$$

де $l_{\text{різ}}$ – довжина різання, мм;

y – розмір підведення, врізання та перебігу інструмента, мм;

$l_{\text{дод}}$ – додаткова довжина ходу, викликана особливостями налагодження та конфігурацією заготовки.

Знаходимо довжину $L_{\text{р.х.}}$ повздовжнього супорта. Найбільшу довжину різання із різців повздовжнього супорту має різець 1. У цьому разі $l_{\text{різ}} = 45 \text{ мм}$. Величину y знаходимо по таблицям [20]

$$y = y_{\text{вріз}} + y_{\text{підв}} + y_{\text{п}}, \quad (3.3)$$

де $y_{\text{вріз}}$ – величина врізання, мм;

$y_{\text{підв}}$ – величина підвода, мм;

$y_{\text{п}}$ – величина перебігу, мм.

Підставивши значення $y_{\text{вріз}} = 1,5 \text{ мм}$ ($t = 0,4 \text{ мм}$, $\varphi = 45^\circ$),
 $y_{\text{підв}} + y_{\text{п}} = 4 \text{ мм}$, отримаємо:

$$y = 1,5 + 4 = 5,5 \text{ мм.}$$

У даному випадку $l_{\text{дод}} = 0$, тоді

$$L_{\text{р.х.}} = 45 + 5,5 = 50,5 \text{ мм.}$$

Для поперечного супорта $L_{\text{різ}} = 13 \text{ мм}$, $y_{\text{вріз}} = 0$, $y_{\text{под}} + y_{\text{п}} = 2 \text{ мм}$, тоді

$$L_{p.x.} = 13 + 2 = 15 \text{ мм.}$$

Для останніх позицій знаходимо аналогічно.

II позиція.

Середній поперечний супорт – $L_{різ} = 8,1 \text{ мм}$, $y_{под} = 2,0 \text{ мм}$:

$$L_{p.x.} = 8,1 + 2,0 = 10,1 \text{ мм.}$$

Нижній поперечний супорт – $L_{різ} = 2,0 \text{ мм}$, $y_{под} = 2,0 \text{ мм}$:

$$L_{p.x.} = 2,0 + 2,0 = 4,0 \text{ мм.}$$

III позиція.

Повздовжній супорт – $L_{різ} = 1,1 \text{ мм}$, $y_{под} = 3,0 \text{ мм}$:

$$L_{p.x.} = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ мм.}$$

IV позиція.

Повздовжній супорт – $L_{різ} = 1,1 \text{ мм}$, $y_{под} = 3,0 \text{ мм}$:

$$L_{p.x.} = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ мм.}$$

V позиція

Для значень $L_{різ} = 45 \text{ мм}$; $y_{вріз} = 1,5 \text{ мм}$, $y_{дод} + y_{п} = 4 \text{ мм}$ отримаємо

$$L_{p.x.} = 45 + 5,5 = 50,5 \text{ мм.}$$

Знаходимо подачу супортів за один оберт шпинделя карта Т-2 [20].

Сумарна глибина різання для різців 1 і 2 повздовжнього супорта

$$\sum t = t_1 + t_2, \quad (3.4)$$

$$\sum t = 0,4 + 2 = 2,4 \text{ мм,}$$

Для цих значень рекомендуються подачі: для повздовжнього супорта – $s_0 = 0,6 \text{ мм/об}$, для поперечного – $s_0 = 0,6 \text{ мм/об}$.

У відповідності з картою Т-2 [20] при призначенні подачі враховуємо параметри шорсткості обробленої поверхні. Для $R_a 10$ у таблиці рекомендуються подачі $s_0 = 0,12 \text{ мм/об}$. Так як матеріал деталі – Сталь 40 $\sigma_b = 600...700 \text{ МПа}$, то необхідно у відповідності з приміткою до таблиці врахувати поправочний коефіцієнт $K_s = 1,25$. Тоді $s_0 = 0,12 \cdot 1,25 = 0,15 \text{ мм/об}$.

Так як час роботи повздовжнього супорта значно більший поперечного, а працюють вони одночасно, то можна зменшити подачу поперечного супорта без зменшення продуктивності верстата. Це досягається виконанням умов

вирівнювання тривалості роботи поперечного та повздовжнього супортів однаковою кількістю обертів шпинделя за хід кожного супорта:

$$\frac{L_{\text{р.х.повз}}}{s_{\text{о.повз}}} = n = \frac{L_{\text{р.х.попер}}}{s_{\text{о.повз}}}, \quad (3.5)$$
$$\frac{50,5}{0,15} = 337 = \frac{15,0}{s_{\text{о.повз}}},$$
$$s_{\text{о.повз}} = \frac{15,0}{337} = 0,04 \text{ мм/об.}$$

Аналогічно знаходимо подачі для решти позицій.

II позиція.

Для поперечного супорта $t = 8,1 \text{ мм} - s_o = 0,12 \cdot 1,25 = 0,15 \text{ мм/об.}$

Для нижнього поперечного супорта

$$\frac{10,1}{0,15} = 67 = \frac{4,0}{s_{\text{о.повз}}},$$
$$s_{\text{о.повз}} = \frac{4,0}{67} = 0,06 \text{ мм/об.}$$

Для III та IV позиції $t = 1,1 \text{ мм} - s_o = 0,12 \cdot 1,25 = 0,15 \text{ мм/об}$

Для V позиції $t = 0,25 \text{ мм} - s_o = 0,2 \cdot 1,25 = 0,25 \text{ мм/об}$

Знаходимо періоди стійкості інструментів. Карта Т-3 [20]. Період стійкості в хвилинах часу різання інструмента знаходимо за формулою:

$$T_p = T_m \cdot \lambda, \quad (3.6)$$

де T_m – період стійкості в хвилинах машинної роботи верстата, хв;

λ – коефіцієнт часу різання.

Значення T_m приймаємо по I групі налагоджень, тобто для налагоджень з приблизно рівним навантаженням інструментів. $T_m = 50 \text{ мм}$ – для одного інструмента у налагоджуванні.

Знаходимо по карті Т-3 [20] коефіцієнт часу різання λ , який дорівнює відношенню кількості обертів шпинделя за час різання до кількості обертів шпинделя за час робочого ходу супортів на робочій подачі.

Перший різець:

$$\frac{l_{\text{різ}}}{s_o} = \frac{45}{0,15} = 300, \quad \frac{L_{\text{п.х.}}}{s_o} = \frac{50,5}{0,15} = 337,$$

$$\lambda = \frac{300}{337} = 0,89.$$

Так як $\lambda > 0,7$, то $T_p \approx T_m$; $T_{p1} = 50$ хв, $T_{p2} = 50$ хв.

Третій різець:

$$\frac{l_{\text{різ}}}{s_o} = \frac{13}{0,04} = 325, \quad \frac{L_{\text{п.х.}}}{s_o} = \frac{15}{0,04} = 337,$$

$$\lambda = \frac{325}{337} = 0,96.$$

$$T_{p3} = T_m = 50 \text{ хв.}$$

П'ятий різець:

$$\frac{l_{\text{різ}}}{s_o} = \frac{2}{0,06} = 33, \quad \frac{L_{\text{п.х.}}}{s_o} = \frac{4}{0,06} = 67,$$

$$\lambda = \frac{33}{67} = 0,49.$$

$$T_{p5} = 0,49 \cdot 50 = 25 \text{ хв.}$$

Четвертий різець:

$$\frac{l_{\text{різ}}}{s_o} = \frac{8,1}{0,15} = 54, \quad \frac{L_{\text{п.х.}}}{s_o} = \frac{10,1}{0,15} = 67,$$

$$\lambda = \frac{54}{67} = 0,8.$$

$$T_{p4} = 50 \text{ хв.}$$

Шостий та сьомий різці:

$$\frac{l_{\text{різ}}}{s_o} = \frac{1,1}{0,15} = 7,3, \quad \frac{L_{\text{п.х.}}}{s_o} = \frac{3,1}{0,15} = 21,$$

$$\lambda = \frac{7,3}{21} = 0,35.$$

$$T_{p6-7} = 0,35 \cdot 50 = 17,4 \text{ хв.}$$

Восьмий різець:

$$\frac{l_{\text{різ}}}{s_o} = \frac{45}{0,15} = 180, \quad \frac{L_{\text{п.х.}}}{s_o} = \frac{50,5}{0,25} = 202,$$

$$\lambda = \frac{180}{202} = 0,89.$$

$$T_{p8} = 50 \text{ хв.}$$

Знаходимо швидкість різання за картою Т-4 [20].

$$V = V_{\text{табл}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (3.7)$$

де $V_{\text{табл}}$ – табличне значення швидкості різання, м/хв;

k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, що враховують властивості інструментального матеріалу, оброблюваного матеріалу та геометрії різальної частини

Для першого різця $V_{\text{табл}} = 57 \text{ м/хв}$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,15$, $k_3 = 1,05$:

$$V = 57 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,05 = 68,83 \text{ м/хв.}$$

Для другого різця $V_{\text{табл}} = 57 \text{ м/хв}$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,15$, $k_3 = 1,05$:

$$V = 57 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,05 = 68,83 \text{ м/хв.}$$

Для третього різця $V_{\text{табл}} = 57 \text{ м/хв}$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,15$, $k_3 = 1,35$:

$$V = 57 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,35 = 88,5 \text{ м/хв.}$$

Для четвертого різця $V_{\text{табл}} = 50 \text{ м/хв}$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,15$, $k_3 = 1,2$:

$$V = 50 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,2 = 69,0 \text{ м/хв.}$$

Для п'ятого різця $V_{\text{табл}} = 50 \text{ м/хв}$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,15$, $k_3 = 1,35$:

$$V = 50 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,35 = 77,63 \text{ м/хв.}$$

Для шостого та сьомого різців $V_{\text{табл}} = 57 \text{ м/хв}$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,15$, $k_3 = 1,2$:

$$V = 57 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,2 = 78,66 \text{ м/хв.}$$

Для восьмого різця $V_{\text{табл}} = 113 \text{ м/хв}$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,05$, $k_3 = 0,85$:

$$V = 113 \cdot 1,0 \cdot 1,05 \cdot 0,85 = 100,85 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове число обертання шпинделів верстата.

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (3.8)$$

де V – розрахункова швидкість різання, м/хв;

D – діаметр оброблюваної поверхні.

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 68,8}{3,14 \cdot 88,8} = 247 \text{ об/хв.}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 68,8}{3,14 \cdot 92,8} = 236 \text{ об/хв,}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 88,5}{3,14 \cdot 114} = 247 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_{n_1} = 243 \text{ об/хв.}$

$$n_4 = \frac{1000 \cdot 69}{3,14 \cdot 105} = 209,5 \text{ об/хв,}$$

$$n_5 = \frac{1000 \cdot 77,63}{3,14 \cdot 110} = 225 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_{n_{II}} = 220 \text{ об/хв.}$

$$n_6 = n_7 = \frac{1000 \cdot 78,66}{3,14 \cdot 91} = 275 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_{n_{III,IV}} = 239 \text{ об/хв.}$

$$n_8 = \frac{1000 \cdot 100,85}{3,14 \cdot 89,5} = 353 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_{n_V} = 345 \text{ об/хв.}$

Дійсні швидкості різання знаходимо за формулою:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_n}{1000}, \quad (3.9)$$

де n_n – прийняте число обертів, об/хв.

$$V_{d_1} = \frac{3,14 \cdot 88,8 \cdot 243}{1000} = 67,76 \text{ м/хв,}$$

$$V_{d_2} = V_{d_3} = \frac{3,14 \cdot 114 \cdot 243}{1000} = 86,98 \text{ м/хв,}$$

$$V_{d_4} = \frac{3,14 \cdot 105 \cdot 220}{1000} = 75,53 \text{ м/хв,}$$

$$V_{d_5} = \frac{3,14 \cdot 110 \cdot 220}{1000} = 75,99 \text{ м/хв,}$$

$$V_{d_6} = V_{d_7} = \frac{3,14 \cdot 91 \cdot 239}{1000} = 68,29 \text{ м/хв,}$$

$$V_{d_8} = \frac{3,14 \cdot 89,9 \cdot 345}{1000} = 96,9 \text{ м/хв.}$$

Знаходимо хвилинні подачі супортів.

$$S_{XB} = S_o \cdot n_n. \quad (3.10)$$

I позиція.

Повздовжній супорт:

$$s_{\text{хв}} = 0,15 \cdot 243 = 36,45 \text{ мм/хв.}$$

Отримане значення корегуємо по верстату – $s_{\text{хв,д.}} = 36 \text{ мм/хв}$, тоді дійсні значення подачі повздовжнього супорта

$$s_{\text{о.д.}} = \frac{s_{\text{хв,д.}}}{n_n}. \quad (3.11)$$

$$s_{\text{о.д.}} = \frac{36}{243} = 0,15 \text{ мм/хв.}$$

Для поперечного супорта:

$$s_{\text{хв}} = 0,04 \cdot 243 = 9,72 \text{ мм/хв.}$$

За паспортом верстата $s_{\text{хв,д.}} = 10 \text{ мм/хв}$.

$$s_{\text{о.д.}} = \frac{10}{243} = 0,04 \text{ мм/хв.}$$

II позиція.

Для середнього поперечного супорта

$$s_{\text{хв}} = 0,15 \cdot 220 = 33 \text{ мм/хв,}$$

$$s_{\text{о.д.}} = \frac{30}{220} = 0,14 \text{ мм/хв.}$$

Для нижнього поперечного супорта

$$s_{\text{хв}} = 0,06 \cdot 220 = 13,3 \text{ мм/хв,}$$

$$s_{\text{о.д.}} = \frac{10}{220} = 0,05 \text{ мм/хв.}$$

III та IV позиції.

$$s_{\text{хв}} = 0,15 \cdot 239 = 36 \text{ мм/хв,}$$

$$s_{\text{о.д.}} = \frac{36}{239} = 0,15 \text{ мм/хв.}$$

V позиція.

$$s_{\text{хв}} = 0,25 \cdot 345 = 86,25 \text{ мм/хв,}$$

$$s_{\text{о.д.}} = \frac{90}{345} = 0,26 \text{ мм/хв.}$$

Визначаємо силу різання для всіх різців налагоджень за картою Т-5 [20].

$$P_z = P_{z.\text{табл.}} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (3.12)$$

де k_1 – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

k_2 – коефіцієнт, який залежить від швидкості різання та переднього кута при точінні сталей твердосплавним інструментом.

Для першого різця $P_{z.\text{табл.}} = 260 \text{ Н}$, $k_1 = 0,9$, k_2 – не враховується:

$$P_{z_1} = 260 \cdot 0,9 = 234 \text{ Н}.$$

Для другого різця $P_{z.\text{табл.}} = 1000 \text{ Н}$, $k_1 = 0,9$:

$$P_{z_2} = 1000 \cdot 0,9 = 900 \text{ Н}.$$

Для третього різця $P_{z.\text{табл.}} = 300 \text{ Н}$, $k_1 = 0,9$:

$$P_{z_3} = 300 \cdot 0,9 = 270 \text{ Н}.$$

Для четвертого різця $P_{z.\text{табл.}} = 4000 \text{ Н}$, $k_1 = 0,9$:

$$P_{z_4} = 4000 \cdot 0,9 = 3600 \text{ Н}.$$

Для п'ятого різця $P_{z.\text{табл.}} = 1000 \text{ Н}$, $k_1 = 0,9$:

$$P_{z_5} = 1000 \cdot 0,9 = 900 \text{ Н}.$$

Для шостого та сьомого різців $P_{z.\text{табл.}} = 750 \text{ Н}$, $k_1 = 0,9$:

$$P_{z_6} = P_{z_7} = 750 \cdot 0,9 = 675 \text{ Н}.$$

Для восьмого різця $P_{z.\text{табл.}} = 180 \text{ Н}$, $k_1 = 0,9$, $k_2 = 1,0$:

$$P_{z_8} = 180 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 162 \text{ Н}.$$

Визначаємо сумарну потужність різання для всіх різців налагодження по карті Т-5 [20]:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020}. \quad (3.13)$$

$$N_{\text{різ}_1} = \frac{234 \cdot 67,76}{60 \cdot 1020} = 0,26 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{різ}_2} = \frac{90 \cdot 70,8}{60 \cdot 1020} = 1,04 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{різ}_3} = \frac{27 \cdot 86,98}{60 \cdot 1020} = 3,23 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{різ}_4} = \frac{360 \cdot 72,53}{60 \cdot 1020} = 4,27 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{різ}_5} = \frac{90 \cdot 75,99}{60 \cdot 1020} = 1,12 \text{ кВт} ,$$

$$N_{\text{різ}_6} = N_{\text{різ}_7} = \frac{67,5 \cdot 68,66}{60 \cdot 1020} = 0,78 \text{ кВт} ,$$

$$N_{\text{різ}_8} = \frac{16,2 \cdot 96,9}{60 \cdot 1020} = 0,26 \text{ кВт} .$$

$$\Sigma N_{\text{різ}} = 0,26 + 1,04 + 3,23 + 4,27 + 1,12 + 2 \cdot 0,78 + 0,28 = 11,76 \text{ кВт} .$$

Перевірка потужності привода верстата: $N_{\text{різ}} \leq N_{\text{шп}}$.

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{ед}} \cdot \eta, \quad (3.14)$$

де $N_{\text{ед}} = 30 \text{ кВт}$ – потужність головного електродвигуна верстата;

$\eta = 0,75$ – коефіцієнт корисної дії верстата.

$$N_{\text{шп}} = 30 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ кВт} .$$

Потужності устанавленого електродвигуна достатньо для виконання процесу обробки ($11,76 \text{ кВт} \leq 22,5 \text{ кВт}$).

3.3. Визначення основного часу обробки

$$T_o = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_{\text{хв}}}, \quad (3.15)$$

де $L_{\text{р.х.}}$ – довжина робочого ходу, мм;

$S_{\text{хв}}$ – хвилинна подача, мм/хв.

I позиція:

$$T_{o_1} = \frac{50,5}{36} = 1,4 \text{ хв} ,$$

$$T_{o_3} = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ хв} .$$

II позиція:

$$T_{o_4} = \frac{10,1}{30} = 0,34 \text{ хв} ,$$

$$T_{o_5} = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ хв} .$$

III та IV позиції:

$$T_{o_6} = T_{o_7} = \frac{3,1}{36} = 0,09 \text{ хв.}$$

V позиція:

$$T_{o_8} = \frac{50,5}{90} = 0,56 \text{ хв.}$$

Найбільший час T_o при обробці деталі в I позиції, який є обмежуючим. Його приймають за основний час циклу роботи верстата: $T_o = 1,5 \text{ хв.}$

3.4. Технічне нормування

Визначаємо норму штучного часу:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_d + t_{\text{тех.обсл}} + t_{\text{орг.обсл}} + t_{\text{пер}}, \quad (3.16)$$

де t_o – основний час обробки деталі на верстаті, хв;

t_d – допоміжний час, хв;

$t_{\text{тех.обсл}}$ – норма часу на технічне обслуговування, хв;

$t_{\text{орг.обсл}}$ – норма часу на організаційне обслуговування, хв;

$t_{\text{пер}}$ – норма часу перерв на особисті потреби робітників, хв.

$$t_d = t_{d_1} + t_{d_2} + t_{d_3} + t_{d_4}, \quad (3.17)$$

де t_{d_1} – час на установку та зняття деталі, хв;

t_{d_2} – час на відведення та підведення різального інструмента, хв;

t_{d_3} – час на керування верстатом, хв;

t_{d_4} – час на проведення конструкторських замірів, хв.

Так як верстат 1Б290П-6К автомат, то t_{d_1} і t_{d_4} не враховуються, вони перекриваються основним часом.

$$t_d = 0,19 + 0,21 = 0,4 \text{ хв.}$$

Сума t_o і t_d складе оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = 1,5 + 0,4 = 1,9 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{тех.обсл}} = \alpha \cdot t_o, \quad (3.18)$$

де $\alpha = 0,02 \dots 0,04$ – коефіцієнт часу для технічного обслуговування.

$$t_{\text{тех.обсл}} = 0,04 \cdot 1,5 = 0,06 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{орг.обсл.}} = \beta \cdot t_{\text{оп}}, \quad (3.18)$$

де $\beta = 0,03 \dots 0,05$ – коефіцієнт часу для організаційного обслуговування.

$$t_{\text{орг.обсл.}} = 0,04 \cdot 1,9 = 0,08 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{пер}} = \gamma \cdot t_{\text{оп}}, \quad (3.18)$$

де $\gamma = 0,03 \dots 0,05$ – коефіцієнт часу для перерв на особисті потреби робітників.

$$t_{\text{пер}} = 0,04 \cdot 1,9 = 0,08 \text{ хв.}$$

Штучний час виготовлення однієї деталі складає:

$$t_{\text{шт}} = 1,5 + 0,4 + 0,06 + 0,08 + 0,08 = 2,12 \text{ хв.}$$

РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНИХ ВУЗЛІВ

4.1. Розрахунок розподільного вала

Вихідні дані (рис. 4.1):

- $N_{ед} = 30$ кВт;
- $n_I = 1470$ об/хв;
- матеріал вала – Сталь 45.

Обертання від електродвигуна через клинопасову передачу передається на швидкохідний вал I потім через зубчасту передачу обертання передається на розподільний вал.

Визначаємо розрахункове значення потужності на II валу.

$$N_{II} = N_{ед} \cdot \eta_z \cdot \eta_{п} \cdot \eta_{п}, \quad (4.1)$$

де $N_{ед} = 30$ кВт – потужність головного електродвигуна;

$\eta_z = 0,94$ – ККД зубчастого зачеплення;

$\eta_{п} = 0,99$ – ККД підшипників.

$$N_{II} = 30 \cdot 0,94 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 27,9 \text{ кВт}.$$

Визначаємо кутову швидкість вала:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{II}}{30}, \quad (4.2)$$

где n_{II} – частота обертання II вала, об/хв.

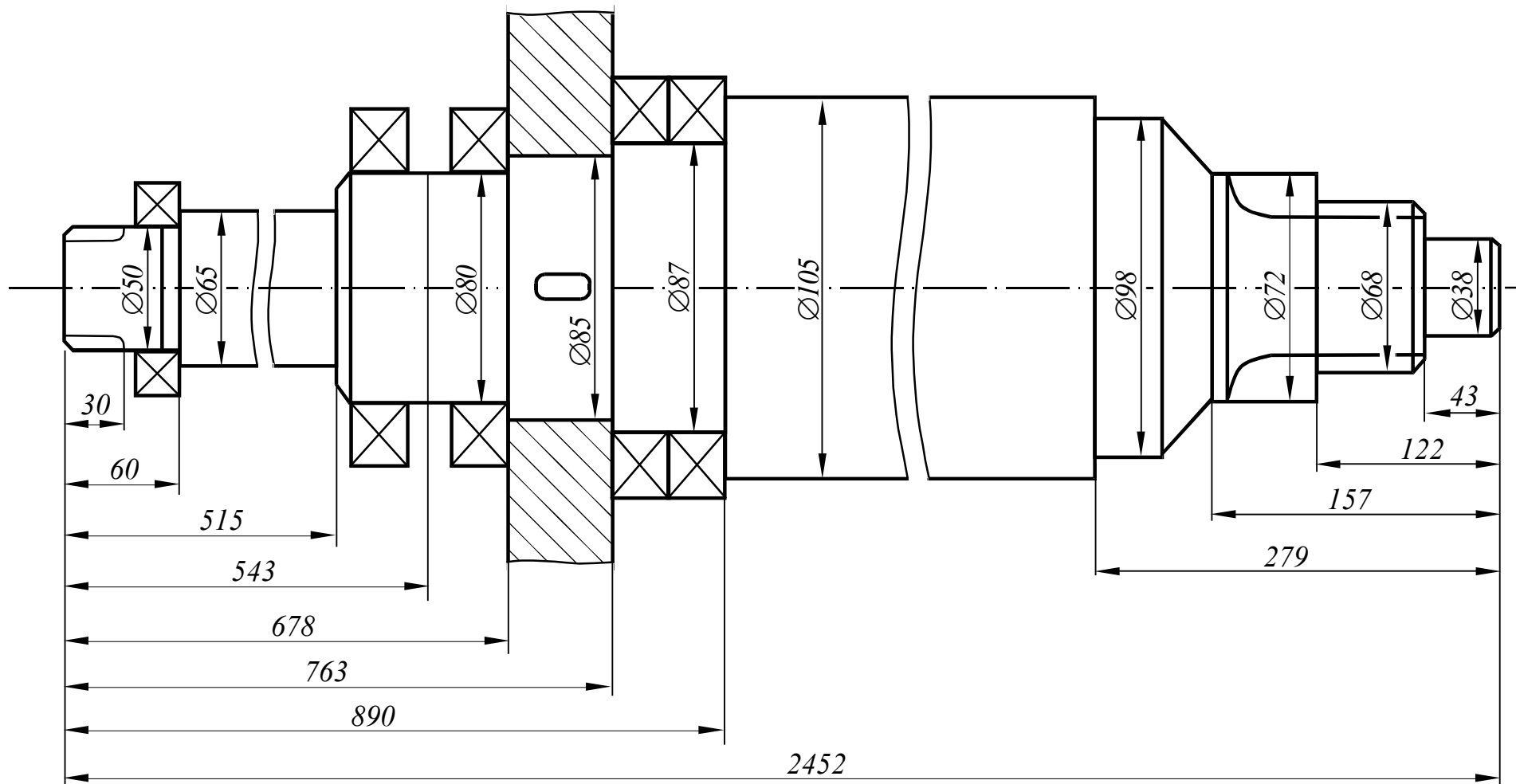


Рис. 4.1 Схема вала

$$n_{II} = \frac{n_I}{u_{3.п.}}, \quad (4.3)$$

де $u_{3.п.} = 5$ – передаточне відношення зубчатої передачі.

$$n_{II} = \frac{1470}{5} = 294 \text{ об/хв},$$

$$\omega_2 = \frac{3,14 \cdot 294}{30} = 30,8 \text{ с}^{-1},$$

Крутний момент на II валу:

$$T_2 = \frac{N_{II} \cdot 10^3}{\omega^2}, \quad (4.4)$$

$$T_2 = \frac{27,9 \cdot 10^3}{30,8^2} = 905,8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

З боку шестерні на вал діють сили:

$$F_{t_1} = \frac{2 \cdot T_2}{d_{ш}}, \quad (4.5)$$

де $d_{ш} = 0,22 \text{ м}$ – діаметр шестерні.

$$F_{t_1} = \frac{2 \cdot 905,8}{0,22} = 8234,5 \text{ Н}.$$

$$F_{r_1} = F_{t_1} \cdot \text{tg} \alpha, \quad (4.6)$$

$$F_{r_1} = 8234,5 \cdot \text{tg} 20^\circ = 2997,1 \text{ Н}.$$

З боку колеса на вал діють сили:

$$F_{t_2} = \frac{2 \cdot T_2}{d_k}, \quad (4.7)$$

де $d_k = 0,3 \text{ м}$ – діаметр колеса.

$$F_{t_2} = \frac{2 \cdot 905,8}{0,3} = 6038,7 \text{ Н}.$$

$$F_{r_2} = F_{t_2} \cdot \text{tg} \alpha, \quad (4.8)$$

$$F_{r_2} = 6038,7 \cdot \text{tg} 20^\circ = 2197,9 \text{ Н}.$$

Складаємо розрахункову схему вала (рис. 4.2).

Знаходимо реакцію опор в вертикальній площині:

$$\sum M_A = 0; \quad F_{t_1} \cdot a + R_{Bx} \cdot d - F_{t_2} \cdot b = 0, \quad (4.9)$$

$$R_{Bx} = \frac{F_{t2} \cdot b - F_{t1} \cdot a}{d}. \quad (4.10)$$

$$R_{Bx} = \frac{6038,7 \cdot 715 - 8234,5 \cdot 45}{795} = 4964,9 \text{ Н.}$$

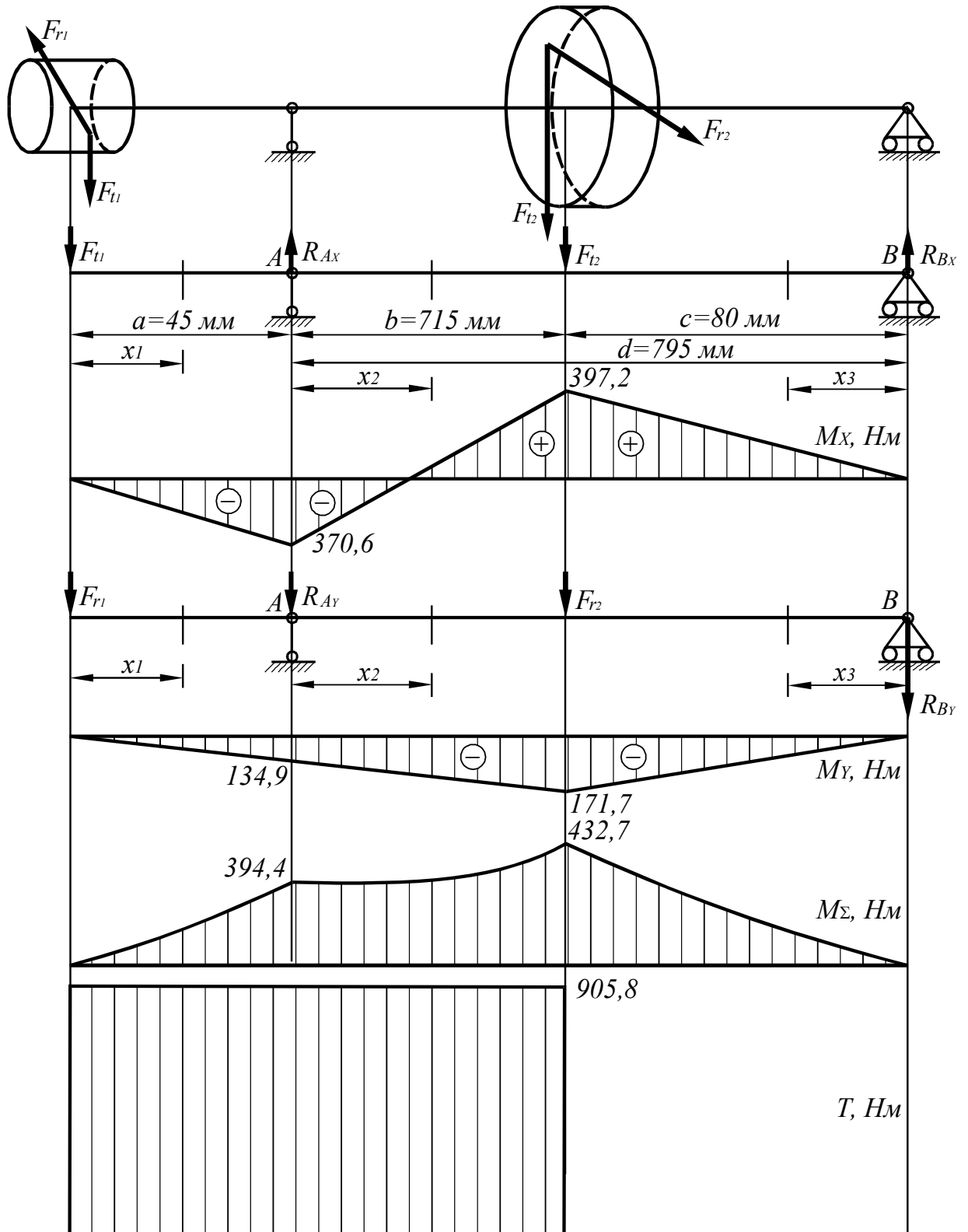


Рис. 4.2. Розрахункова схема вала

$$\sum M_B = 0; F_{t_2} \cdot c + F_{t_1} \cdot (d + a) - R_{Ax} \cdot d = 0, \quad (4.11)$$

$$R_{Ax} = \frac{F_{t_2} \cdot c + F_{t_1} \cdot (d + a)}{d}. \quad (4.12)$$

$$R_{Ax} = \frac{6038,7 \cdot 80 + 8234,5 \cdot (795 + 45)}{795} = 9308,3 \text{ Н}.$$

Перевіряємо вірність обчислення реакцій опор:

$$\begin{aligned} \sum F_X = 0; -F_{t_1} + R_{Ax} - F_{t_2} + R_{Bx} &= 0, \\ -8234,5 + 9308,3 - 6038,7 + 4964,9 &= 0. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Реакції опор визначені вірно. Будуємо епюру згинальних моментів в вертикальній площині.

I ділянка: $0 \leq x_1 \leq 45 \text{ мм}$

$$M_{(x_1)} = -F_{t_1} \cdot x_1, \quad (4.14)$$

$$M_{(0)} = 0, M_{(0,045)} = -8234,5 \cdot 0,045 = -370,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

II ділянка: $0 \leq x_2 \leq 715 \text{ мм}$

$$M_{(x_2)} = -F_{t_1} \cdot (a + x_2) + R_{Ax} \cdot x_2, \quad (4.15)$$

$$M_{(0)} = -370,6 \text{ Н} \cdot \text{м}, M_{(0,715)} = -8234,5 \cdot (0,045 + 0,715) + 9308,3 \cdot 0,715 = 397,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

III ділянка: $0 \leq x_3 \leq 80 \text{ мм}$

$$M_{(x_3)} = R_{Bx} \cdot x_3, \quad (4.16)$$

$$M_{(0)} = 0, M_{(0,08)} = 4964,9 \cdot 0,08 = 397,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знаходимо значення реакцій опор в горизонтальній площині:

$$\sum M_A = 0; F_{r_1} \cdot a + F_{r_2} \cdot b - R_{By} \cdot d = 0, \quad (4.17)$$

$$R_{By} = \frac{F_{r_1} \cdot a + F_{r_2} \cdot b}{d}. \quad (4.18)$$

$$R_{By} = \frac{2997,1 \cdot 45 + 2197,9 \cdot 715}{795} = 2146,4 \text{ Н}.$$

$$\sum M_B = 0; -F_{r_2} \cdot c + F_{r_1} (a + d) - R_{Ay} \cdot d = 0, \quad (4.19)$$

$$R_{Ay} = \frac{F_{r_1} (a + d) - F_{r_2} \cdot c}{d}. \quad (4.20)$$

$$R_{Ay} = \frac{2997,1(45 + 795) - 2197,9 \cdot 80}{795} = 2945,6 \text{ Н.}$$

Перевіряємо вірність обчислення реакцій опор:

$$\begin{aligned} \sum F_Y = 0; \quad -F_{r_1} + R_{Ay} + F_{r_2} - R_{By} &= 0, \\ -2997,1 + 2945,6 + 2197,9 - 2146,4 &= 0. \end{aligned} \quad (4.21)$$

Реакції визначено вірно. Будуємо епюру згинальних моментів в горизонтальній площині.

I ділянка: $0 \leq x_1 \leq 45 \text{ мм}$

$$M_{(x_1)} = -F_{r_1} \cdot x_1, \quad (4.22)$$

$$M_{(0)} = 0, M_{(0,045)} = -2997,1 \cdot 0,045 = -134,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

II ділянка: $0 \leq x_2 \leq 715 \text{ мм}$

$$M_{(x_2)} = -F_{r_1} \cdot (a + x_2) + R_{Ay} \cdot x_2, \quad (4.23)$$

$$M_{(0)} = -134,9 \text{ Н} \cdot \text{м}, M_{(0,715)} = -2997,1 \cdot (0,045 + 0,715) + 2945,6 \cdot 0,715 = -171,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

III ділянка: $0 \leq x_3 \leq 80 \text{ мм}$

$$M_{(x_3)} = -R_{By} \cdot x_3, \quad (4.24)$$

$$M_{(0)} = 0, M_{(0,08)} = -2146,4 \cdot 0,08 = -171,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Побудуємо епюру сумарних згинальних моментів:

$$M_A = \sqrt{M_{X_A}^2 + M_{Y_A}^2}, \quad (4.25)$$

$$M_A = \sqrt{370,6^2 + 134,9^2} = 394,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_C = \sqrt{M_{X_C}^2 + M_{Y_C}^2}, \quad (4.26)$$

$$M_C = \sqrt{397,2^2 + 171,7^2} = 732,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Виконуємо перевірочний розрахунок вала.

За довідником записуємо механічні властивості матеріалу вала (Сталь 45): $\sigma_B = 610 \text{ МПа}$ – межа міцності; $\sigma_{-1} = 270 \text{ МПа}$ – межа витривалості при симетричному циклі напружень вигину; $\tau_{-1} = 150 \text{ МПа}$ – межа витривалості при симетричному циклі напружень кручення.

Коефіцієнти чутливості матеріалу до асиметрії циклу напружень відповідно при згині та крученні: $\psi_\sigma = 0,1$, $\psi_\tau = 0,05$.

Вал працює в нереверсивному режимі. Допустимий запас витривалості: $[S]=1,8$.

Концентрація напружень у небезпечному перерізі обумовлена шпонковим пазом і посадкою маточини на вал.

Знаходимо ефективні коефіцієнти концентрацій напружень при згині та крученні від шпонкового паза: $K_\sigma = 1,9$, $K_\tau = 1,7$.

Максимальний коефіцієнт при згині та крученні для вала діаметром 85 мм: $\varepsilon_\sigma = 0,7$, $\varepsilon_\tau = 0,6$.

При симетричному циклі, амплітуда циклу напружень:

$$\sigma_a = \frac{\sum M_c}{W}, \quad (4.27)$$

де $W = 10800 \text{ мм}^3$ – осьовий момент опору для діаметру 50 мм.

$$\sigma_a = \frac{432,7 \cdot 10^3}{10800} = 40 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Середнє значення напруги згину $\sigma_m = 0$.

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau}{2}, \quad (4.28)$$

$$\tau = \frac{T}{W_\rho}, \quad (4.29)$$

де $W_\rho = 23050 \text{ мм}^3$ – полярний момент опору.

$$\tau = \frac{905,8 \cdot 10^3}{23050} = 39,3 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2},$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{39,3}{2} = 19,6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Запас міцності для нормальних напружень:

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (4.30)$$

$$S_\sigma = \frac{270}{\frac{1,9}{0,7} \cdot 40 + 0,1 \cdot 0} = 2,49.$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} \cdot \tau_a + \psi_{\tau} \tau_m}, \quad (4.31)$$

$$S_{\tau} = \frac{150}{\frac{1,7}{0,6} \cdot 19,6 + 0,05 \cdot 19,6} = 2,65.$$

Загальний запас міцності в перетині С:

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}}, \quad (4.32)$$

$$S = \frac{2,49 \cdot 2,65}{\sqrt{2,49^2 + 2,65^2}} = 1,8.$$

$$18 = 18.$$

Умова $S \leq [S]$ виконується. Загальний запас міцності вала дорівнює значенню допустимого запасу міцності.

4.2. Розрахунок циліндричного зубчастого колеса на контактну витривалість і розрахунок на витривалість при згині

Розрахунок циліндричного зубчастого колеса на контактну витривалість визначається за формулою:

$$\sigma_{\max} = 0,418 \sqrt{\frac{g \cdot E}{r_{\text{пр}} (1 - \nu^2)}}, \quad (4.33)$$

де g – навантаження на одиницю довжини контактної лінії зубців;

$E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності матеріалу шестерень;

$\frac{1}{r_{\text{пр}}}$ – приведена кривизна циліндрів;

$\nu = 0,3$ – коефіцієнт Пуансона.

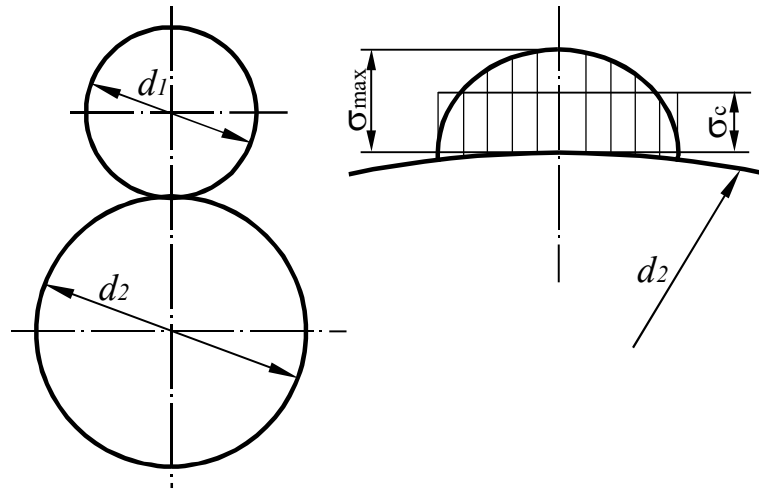


Рис. 4.3. Контактні напруження в зоні зіткнення циліндрів вздовж твірної

$$g = \frac{P_n \cdot K_H}{b \cdot k_\epsilon}, \quad (4.34)$$

де P_n – нормальне зусилля в зачепленні;

K_H – коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження та нерівномірність розподілу навантаження між зубцями [25];

$b = 57$ мм – ширина вінця;

$k_\epsilon = 1,0 \dots 1,1$ – коефіцієнт ступеню перекриття.

$$P_n = \frac{P}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}, \quad (4.35)$$

де P – окружне зусилля.

$$P = \frac{2M_2}{d_2} = \frac{2M_1}{d_1}, \quad (4.36)$$

де $d_1 = 200$ мм, $d_2 = 300$ мм – відповідно діаметри ведучого та веденого зубчатих коліс;

$M_2 = 905,8$ Н·м – момент на веденому зубчатому колесі.

$$P = \frac{2 \cdot 905,8}{300} = 6039 \text{ Н}.$$

Для прямозубчатих циліндричних коліс $\alpha = 20^\circ$; $\beta = 0^\circ$.

$$P_n = \frac{6039}{\cos 20^\circ \cos 0^\circ} = 6427 \text{ Н},$$

$$K_H = K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv}, \quad (4.37)$$

де $K_{H\alpha} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірний розподіл навантаження між зубцями;

$K_{H\beta} = 1,0 \dots 1,15$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по ширині вінця;

$K_{Hv} = 1,0 \dots 1,10$ – динамічний коефіцієнт.

$$K_H = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 1,05. \quad (4.38)$$

$$g = \frac{6427 \cdot 1,05}{57 \cdot 1} = 118 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\frac{1}{r_{\text{пр}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}, \quad (4.39)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{r_1 + r_2}{r_1 + r_2}, \quad (4.40)$$

де r_1, r_2 – радіуси циліндрів.

$$r_{\text{пр}} = \frac{150 \cdot 100}{150 + 100} = 60 \text{ мм}.$$

Отже,

$$\sigma_{\text{max}} = 0,418 \sqrt{\frac{118 \cdot 2,15 \cdot 10^5}{60 \cdot (1 - 0,3^2)}} = 682 \text{ Н}.$$

Повинна виконуватися умова:

$$\sigma_{\text{max}} < [\sigma]_H. \quad (4.41)$$

Допустиме напруження визначають за формулою:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H_{\text{limb}}} \cdot K_{HL}}{[n]_H}, \quad (4.42)$$

де $\sigma_{H_{\text{limb}}}$ – межа контактної витривалості при базовому числі циклів [25];

$K_{HL} = 2,6$ – коефіцієнт довговічності,

$[n]_H = 1,1 \dots 1,2$ – коефіцієнт безпеки.

$$\sigma_{H_{\text{limb}}} = 2 \cdot HB + 70, \quad (4.43)$$

де HB – твердість матеріалу шестерні.

Для легованої поліпшеної Сталі 40Х: $HB\ 245$, $\sigma_T = 540\text{ Н/мм}^2$,
 $\sigma_B = 830\text{ Н/мм}^2$. Тоді

$$\sigma_{H_{lim\ b}} = 2 \cdot 245 + 70 = 560\text{ Н/мм}^2,$$

$$[\sigma]_H = \frac{560 \cdot 2,6}{1,2} = 1213\text{ Н},$$

$$682\text{ Н} < 1213\text{ Н}.$$

Умова $\sigma_{\max} < [\sigma]_H$ виконується.

При розрахунках зубців циліндричного колеса на витривалість при вигині зуб розглядаємо як балку жорстко закріплену одним кінцем (рис. 4.4). Силу вважаємо прикладеною до вершини зуба по нормалі до його поверхні, силу тертя не враховуємо.

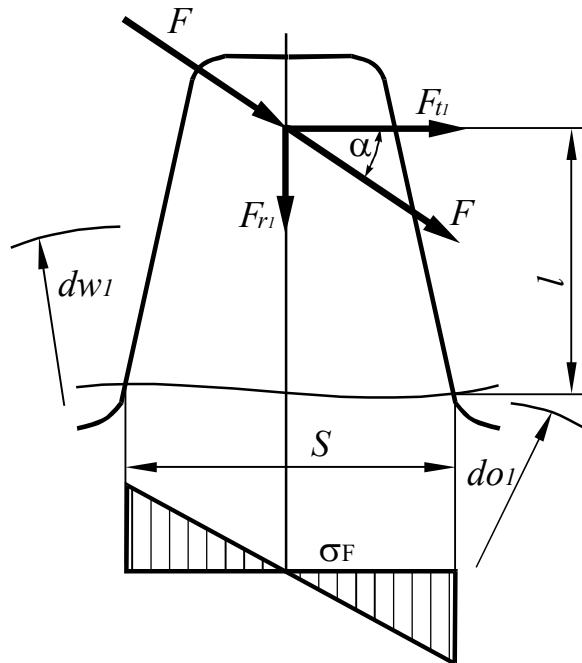


Рис. 4.4. Розрахункова схема навантаження зуба прямозубого циліндричного колеса

Розрахунок проводимо за формулою:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot P \cdot Y_F}{b \cdot m}, \quad (4.44)$$

де P – окружне зусилля;

b – ширина вінця зубчастого колеса;

K_F – коефіцієнт навантаження [25];

$Y_F = 3,61$ – коефіцієнт, що враховує форму зуба;

$m = 5$ мм – модуль.

$$P = \frac{2 \cdot M}{m \cdot z}, \quad (4.45)$$

де $M = 905,8$ Н·м – крутний момент на валі;

$z = 80$ – число зубців шестерні.

$$P = \frac{2 \cdot 905,8}{5 \cdot 80} = 4,53 \text{ Н}.$$

$$K_F = K_{F\beta} \cdot K_{Fv}, \quad (4.46)$$

де $K_{F\beta} = 1,05$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження;

$K_{Fv} = 1,25$ – коефіцієнт, що враховує динамічні дії навантаження.

$$K_F = 1,05 \cdot 1,25 = 1,31.$$

Тоді

$$\sigma_F = \frac{1,31 \cdot 4,53 \cdot 3,61}{0,057 \cdot 5} = 75,31 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Повинна виконуватися умова:

$$\sigma_F \leq [\sigma_F]. \quad (4.47)$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F_{limb}}}{[n]_F}. \quad (4.48)$$

де $\sigma_{F_{limb}}$ – межа витривалості при нульовому циклі згину [25];

$[n]_F$ – коефіцієнт запасу міцності [25].

$$\sigma_{F_{limb}} = 1,8 \cdot HB, \quad (4.49)$$

$$\sigma_{F_{limb}} = 1,8 \cdot 245 = 441 \text{ МПа}.$$

$$[n]_F = [n]_F' \cdot [n]_F'', \quad (4.50)$$

де $[n]_F' = 1,75$ – коефіцієнт, що враховує нестабільність властивостей матеріалу зубчастого колеса;

$[n]_F'' = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує спосіб одержання заготовки зубчастого колеса (для поковок і штамповок).

Отже,

$$[n]_F = 1,75 \cdot 1,0 = 1,75,$$

$$[\sigma]_F = \frac{441}{1,75} = 252 \text{ Н},$$

$$75,31 < 252.$$

Умова $\sigma_F \leq [\sigma_F]$ виконується.

4.3. Розрахунок підшипників розподільного вала

Вихідні дані (рис. 4.5):

$$- R_{Ax} = 9308,3 \text{ Н}, R_{Bx} = 4964,9 \text{ Н};$$

$$- R_{Ay} = 2945,6 \text{ Н}, R_{By} = 2146,4 \text{ Н}$$

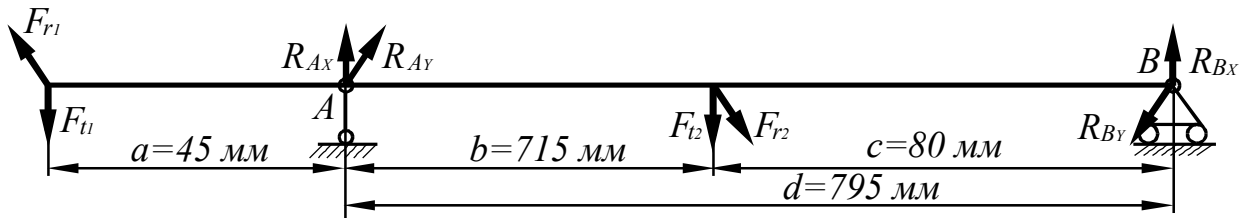


Рис. 4.5 Розрахункова схема розподільного вала.

Сумарні реакції в опорах:

$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2}, \quad (4.50)$$

$$R_A = \sqrt{9308,3^2 + 2945,6^2} = 9762,25 \text{ Н};$$

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}, \quad (4.51)$$

$$R_B = \sqrt{4964,9^2 + 2146,4^2} = 5408,99 \text{ Н}.$$

Критерієм для вибору підшипників служить нерівність:

$$C_{тр} \leq C, \quad (4.52)$$

де $C_{тр}$ – необхідна величина динамічного навантаження підшипника;

C – табличне значення динамічної вантажопідйомності вибраного підшипника.

$$C_{тр} = R_{пр} L^{\frac{1}{3}}, \quad (4.53)$$

де $R_{пр}$ – приведене навантаження на підшипник;

L – довговічність підшипника.

$$R_{пр} = X \cdot v \cdot F_r + Y \cdot F_t, \quad (4.54)$$

де $X=1$ – коефіцієнт радіального навантаження [25];

$v = 1$ – коефіцієнт обертання,

F_r – радіальне навантаження на підшипник;

F_t – осьове навантаження на підшипник.

Для опори В:

$$R_{прВ} = 1 \cdot 1 \cdot 2197,9 = 2197,9 \text{ Н.}$$

Для опори А:

$$R_{прА} = 1 \cdot 1 \cdot 2997,1 = 2997,1 \text{ Н.}$$

В залежності від діаметра вала вибираємо підшипники.

Опора А: вибираємо шарикопідшипник радіальний легкої серії 216:
 $d = 80 \text{ мм}$, $D = 140 \text{ мм}$, $B = 26 \text{ мм}$, $r = 3 \text{ мм}$, $C = 70200 \text{ Н}$, $C_0 = 45000 \text{ Н}$, $m = 1,40 \text{ кг}$.

Опора В: вибираємо шарикопідшипник радіальний середньої серії 6-317:
 $d = 85 \text{ мм}$, $D = 180 \text{ мм}$, $B = 41 \text{ мм}$, $r = 4 \text{ мм}$, $C = 133000 \text{ Н}$, $C_0 = 90000 \text{ Н}$, $m = 4,3 \text{ кг}$.

Необхідна довговічність пов'язана з терміном служби:

$$L = 10^{-6} \cdot 60 \cdot n \cdot L_h, \quad (4.55)$$

де $L_h = 20000 \text{ год}$ – необхідний термін служби підшипника [10];

$n = 294 \text{ об/хв}$ – частота обертання підшипника.

В опорах А та В:

$$L = 10^{-6} \cdot 60 \cdot 294 \cdot 20000 = 352,8 \text{ год.}$$

$$C_{трА} = 2997,1 \cdot 352,8^{\frac{1}{3}} = 21136,3 \text{ Н,}$$

$$C_{трВ} = 2197,9 \cdot 352,8^{\frac{1}{3}} = 15500,12 \text{ Н,}$$

Перевіряємо вірність вибору підшипників за нерівністю (4.52).

Для підшипника А: $21136,3 \leq 70200,0$.

Для підшипника В: $15500,12 \leq 133000$.

Умова виконується, підшипники вибрані вірно. Необхідний термін служби підшипників $L \approx 353$ год.

4.4. Розрахунок діаметра гідроциліндра та довжини робочого ходу поршня

Для того, щоб визначити діаметр гідроциліндра затискного пристосування необхідно знайти силу різання.

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (4.56)$$

де C_p – постійна для даних умов різання;

x, y, n – показники ступеню для даних умов різання;

t – довжина леза різця, мм;

s – подача, мм/об;

V – швидкість різання, м/хв;

K_p – коефіцієнт, що враховує особливості даного процесу різання.

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}, \quad (4.57)$$

$K_{mp}, K_{\varphi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$ – коефіцієнти, які залежать від властивостей оброблюваного матеріалу та геометрії різальної частини інструмента.

Так як в II позиції при обробці канавок різцем канавковим потрібно зняти найбільший припуск, то силу різання визначаємо саме для цієї позиції.

Підставивши в рівняння (5.47) значення $K_{mp} = 0,92$, $K_{\varphi p} = 1,0$, $K_{\gamma p} = 0,39$, $K_{\lambda p} = 0,89$, а в рівняння (5.46) $C_p = 200$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = 0$ [11], отримаємо:

$$K_p = 0,92 \cdot 1,0 \cdot 0,39 \cdot 0,87 \approx 0,31,$$

$$P_z = 10 \cdot 200 \cdot 8,1^1 \cdot 0,14^{0,75} \cdot 72,53^0 \cdot 0,31 \approx 1147 \text{ Н},$$

Визначаємо необхідну силу затискача за формулою:

$$W_3 = P_z \cdot k, \quad (4.58)$$

де $k = 2,5$ – коефіцієнт запасу.

$$W_3 = 1147 \cdot 2,5 \approx 2868 \text{ Н},$$

$$P = 20 \text{ атм} = 196,2 \text{ кПа}; W = 2868 \text{ Н}; \eta_{\text{мех}} = 0,95.$$

Визначаємо діаметр гідроциліндра D та діаметр штока d .

З досвіду проектування встановлено, що відношення діаметра штока до діаметра поршня $d/D = 0,3...0,7$. Приймаємо: $d/D = 0,5$.

Не враховуючи опір тертя в ущільненнях і протитиском знаходимо робочу площу поршня гідроциліндра:

$$S_{\pi} = \frac{W}{P}. \quad (4.59)$$

Враховуючи, що $W = 2868 \text{ Н} = 2868 \cdot 0,102 = 293 \text{ кгс}$, а $P = 196,2 \text{ кПа} = 0,1962 \text{ МПа} = 0,1962 \cdot 9,81 = 1,92 \text{ кгс/см}^2$.

$$S_{\pi} = \frac{293}{1,92} = 153 \text{ см}^2.$$

Знаючи площу поршня гідроциліндра, можна визначити діаметр гідроциліндра за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{S_{\pi} \cdot 4}{\pi}}. \quad (4.60)$$

$$D = \sqrt{\frac{153 \cdot 4}{3,14}} \approx 13,9 \text{ см}.$$

Відповідно до ГОСТ 6540-68 приймаємо діаметр гідроциліндра $D = 140 \text{ мм}$, діаметр штока $d = 140 \cdot 0,5 = 70 \text{ мм}$.

Довжину робочого ходу поршня ми приймаємо конструктивно. При ході кулачків $10...14 \text{ мм}$ він складає $L_{\text{р.х.}} = 18 \text{ мм}$.

4.5. Розрахунок пружини на міцність

Вихідні дані (рис. 4.6):

– $D_0 = 70 \text{ мм}$;

– $H = 400 \text{ мм}$;

– $d = 12 \text{ мм}$;

– $F = 2868 \text{ Н}$;

– матеріал пружини – Сталь 65Г.

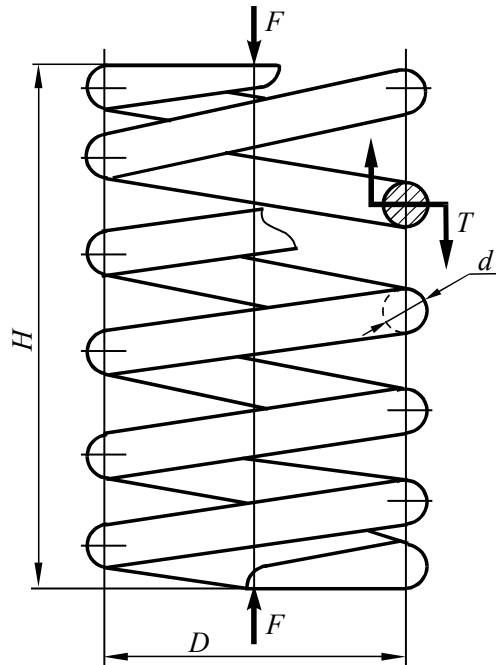


Рис. 4.6. Схема сил, що діють на пружину

В перетині витка діє крутний момент

$$T = F \cdot \frac{D_0}{2}, \quad (4.61)$$

і поперечна сила $Q = F$ (не показана на схемі через незначні напруження зсуву від цієї сили).

Умова міцності пружини з дроту круглого перетину має вид:

$$\tau_{\max} = k \frac{T}{W_p} = k \frac{8 \cdot F \cdot D_0}{\pi \cdot d^3} = k \frac{8 \cdot F \cdot c}{\pi \cdot d^2} \leq [\tau], \quad (4.62)$$

де $k = 1,24$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив кривизни витків і поперечні сили [10];

$D_0 = 70$ мм – середній діаметр витків пружини;

$d = 12$ мм – діаметр дроту пружини;

$$c = \frac{D_0}{d}, \quad (4.63)$$

$$c = \frac{70}{12} \approx 6.$$

Знайдемо значення крутного моменту:

$$T = 2868 \cdot \frac{70}{2} = 100380 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Тоді:

$$\tau_{\max} = 1,24 \cdot \frac{8 \cdot 2868 \cdot 6}{3,14 \cdot 12^2} \approx 377 \text{ МПа},$$

$$377 < 960.$$

Умова $\tau_{\max} \leq [\tau]$ виконується. Так як допустима напруга значно вища розрахункової, то вибрана пружина достатньо міцна.

4.6. Розрахунок захисної муфти

У передачах, що сприймають змінні навантаження, що досягають критичних значень встановлюють захисні муфти багатократної дії. При критичному навантаженні осі виключають передачу, а при зниженні обертаючого моменту до розміру розрахункового вони автоматично включаються. У якості захисних муфт використовуємо фрикційні дискові муфти. Регулювання муфт, для встановлення розміру граничного моменту здійснюється зміною стиску пружини. З умови обмеження середнього тиску на диски (рис. 4.7), допустиму осьову силу Q , яка утворюється всіма пружинами визначаємо за формулою:

$$Q = \frac{[p] \cdot \pi \cdot (D_1^2 - D_2^2)}{4}, \quad (4.64)$$

де $[p] = 0,8 \text{ Н/мм}^2$ – допустимий середній тиск на диску для муфт із змащенням і сталевими дисками [10];

$D_1 = 180 \text{ мм}$, $D_2 = 110 \text{ мм}$ – відповідно зовнішній та внутрішній діаметри кільцевої поверхні тертя.

$$Q = \frac{0,8 \cdot 3,14 (180^2 - 120^2)}{4} = 11304 \text{ Н},$$

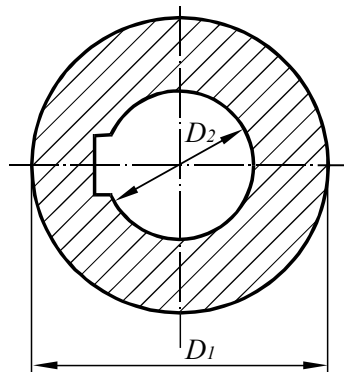


Рис. 4.7. Диски

Граничний момент $M_{\text{пр}}$ початку спрацьовування муфти повинен бути на 10...15 % вище розрахункового M_p :

$$M_{\text{пр}} = (0,10 \dots 0,15) \cdot M_p, \quad (4.65)$$

$$M_{\text{пр}} = 0,11 \cdot 6300 = 6930 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необхідне число пар тертя:

$$z = \frac{M_{\text{пр}}}{f \cdot Q \cdot R}, \quad (4.66)$$

де R – приведений радіус кільцевої поверхні тертя.

$$R = \frac{D_1^3 - D_2^3}{3 \cdot (D_1^2 - D_2^2)}. \quad (4.67)$$

Підставивши значення D_1 та D_2 у формулу (4.67), одержимо:

$$R = \frac{180^3 - 120^3}{3(180^2 - 120^2)} = 74 \text{ мм},$$

$$z = \frac{6930}{0,8 \cdot 11304 \cdot 0,074} \approx 10,08.$$

Приймаємо $z = 10$. Число ведучих дисків визначаємо за формулою:

$$z_1 = \frac{z}{2}, \quad (4.68)$$

$$z_1 = \frac{10}{2} = 5.$$

Число ведених дисків:

$$z_2 = z_1 + 1, \quad (4.69)$$

$$z_2 = 5 + 1 = 6.$$

Тоді $z_1 + z_2 = 5 + 6 = 11$. Значення z повинне бути парним.

Отже, $z = 12$.

Розділ 5

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЕРСТАТА

5.1 Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність нової конструкції токарного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К необхідно обрати базу, яку приймають за основу для виявлення техніко-економічних переваг нового конструкторського рішення і визначення економічного ефекту від впровадження його у виробництво. В якості бази для порівняння приймаємо токарний шестишпиндельний патронний автомат моделі 1Б290П-6К, який і підлягає модернізації.

Як зазначалося вище, одним з найважливіших недоліків базового верстата є неможливість використання різних частот обертання робочих шпинделів в процесі обробки деталей, що приводить до значного перепаду швидкостей. Це впливає на нерівномірне знос інструментів, збільшує кількість переналагоджень, знижує продуктивність.

Модернізація базового верстата дозволить не тільки усунути зазначені недоліки, але й сприятиме розширенню його технологічних можливостей при обробці деталей типу фланець, втулка, маточина завдяки модернізації шпиндельного барабана, центрального золотника, а також розробці підналагоджувально-розточувального пристрою для розточування отворів з автоматичним підналагоджуванням.

Техніко-економічні показники базового та проектного верстатів зведено до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового верстатів

№ п.п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Програма виробництва верстатів	шт./рік	1	1
2.	Програма виробництва деталей у конкретного споживача	шт./рік	60000	60000
3.	Штучний час обробки однієї деталі	хв	2,21	2,12
4.	Маса верстата	т	18,4	18,4
5.	Площа, яку займає верстат	м ²	8,7	8,7
6.	Установлена потужність електродвигунів	кВт	30,0	31,2
7.	Категорія ремонтної складності:			
	а) механічної частини	УРО	41	41
	б) електричної частини	УРО	13	13
8.	Розряд роботи:			
	а) верстатника	розряд	4	4
	б) наладчика	розряд	5	5
10.	Оптова ціна базового верстата	тис. грн	2618,4	—

5.2 Конструкторська підготовка виробництва

Конструкторська підготовка виробництва складається з етапів проектування верстата з послідовним розвитком та уточненням окремих розрахунків і конструкторських рішень. Роботи виконуємо в такій послідовності [13].

1) Встановлюємо етапи конструкторської підготовки виробництва:

- технічна позиція;
- ескізний проект;
- технічний проект;
- робочий проект.

2) Встановлюємо групу новизни та складності проектованого верстата.

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

4) Трудомісткість технічного і робочого проєктів визначаємо як добуток відповідної загальної кількості "умовних деталей" на трудомісткість однієї умовної деталі в залежності від групи новизни та складності проєктного верстата.

5) Трудомісткість технічного завдання, технічної пропозиції, ескізного проєкту визначаємо відповідно групі новизни та складності верстата.

6) Трудомісткість доробки електричних і гідравлічних принципівих та монтажних схем, які входять до складу робочого проєкту верстата, визначаємо в залежності від їх новизни та складності.

7) Використовуючи дані трудомісткості етапів робіт конструкторської підготовки виробництва, розроблюємо сітьовий графік, який дозволяє організувати процес проєктування так, щоб виконати його в найкоротший термін. Оскільки розрахунки сітьового графіка відносяться до організаційно-планових, які виносимо окремий розділ.

8) Після визначення трудомісткості робіт розраховуємо витрати на конструкторську підготовку виробництва (вартість проєкту $B_{пк}$).

9) Всі отримані результати зводимо до таблиці 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.	II					
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.				2,5×5 5×16 32×2 15×1 20×0,5 9×7 210×0,15 10×0,5	2,5×10 5×23 32×4 15×1 20×0,2 9×3,5 210×0,15 10×0,15	
5.	Кількість умовних деталей	шт.				281	320	

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.	Трудомісткість виконання етапу робіт	нормо-год	40	370	405	955,4	1376	
8.	Проектування електросхем: а) принципової б) монтажною	нормо-год					38 32	
10.	Загальна трудомісткість	нормо-год	40	370	405	955,4	1446	3216,4
11.	Середньогодинна заробітна плата конструктора	грн./год	113,25	102,66	97,54	98,79	90,86	
12.	Зарплата основна (Зо)	грн.	4530,00	37984,2	39503,70	94383,97	131383,56	307785,4
13.	Зарплата додаткова (Зд): 10% від Зо*	грн.	453,00	3798,42	3950,37	9438,40	13138,36	30778,54
14.	Відрахування в фонд соціального страхування та інші соціальні фонди: 22% від (Зо+Зд)*	грн.	1096,26	9192,18	9559,90	22840,92	31794,82	74484,07
15.	Витрати на відрядження: 5% від Зо*	грн.	226,50	1899,21	1975,19	4719,20	6569,18	15389,27
16.	Накладні витрати: 45% від Зо	грн.	2038,50	17092,8	17776,67	42472,78	59122,60	138503,4
17.	Всього вартість проекту Впк	грн.	8344,26	69966,9	72765,82	173855,27	242008,52	566940,0

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 – B_t .

Всі виконання розрахунки зводимо до табл. 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.	50		690		74899,26	7489,93	18125,62	41194,59	141709,40
	б) в т.ч по групах технологічної складності:									
	I	16	4,5	72	83,93	6042,96				
	II	10	9	90	83,93	7553,70				
	III	12	17	204	106,23	21670,92				
	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			268	122,32	32781,76	3278,18	7933,19	21308,14	65301,27
5.	Виготовлення спеціального оснащення та нестандартні засобів механізації та автоматизації, нормо-год			190,7	83,93	16005,45	1600,55	3873,32	20006,81	41486,13
6.	Інші витрати, нормо-год			245,4	83,93	20596,42	2059,64	4984,33	11328,03	38968,43
7.	Всього вартість проекту $B_{\text{пт}}$			1601,60		166558,5	16655,9	40307,15	106089,2	329610,0

5.4 Визначення повної собівартості та оптової ціни верстата

Після визначення трудомісткості виготовлення проектного верстату розраховуємо:

а) основну заробітну плату виробничих робітників:

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

де n – кількість i -тих видів робіт;

$C_{\text{г}_i}$ – 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:

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

де $\Pi_{\text{пп}_i}$ – 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:

$$K_{\text{цех}} = \sum_{i=1}^n З_{\text{оп}_i} \cdot \frac{\Pi_{\text{цп}_i}}{100}, \quad (5.3)$$

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

Для ливарних робіт:

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

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 n-год	Середній розряд	Середньогодинна тарифна ставка робітників, грн/год	Основна заробітна плата робітників $З_{ор}$, 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 5.5

Трудовітність виготовлення та окремі види витрат, які не включені до собівартості виготовлення верстата

№ з/п	Матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби	Одиниця	Витрати (шт, кг)	Ціна, грн	Витрати на виріб, грн
1	2	3	4	5	6
	1. Основні матеріали				
1.	Сталь 40Х	кг	60	45,00	2700,00
2.	Сталь вуглецева	кг	85	38,80	3298,00
3.	Чавун СЧ20	кг	90	59,00	5310,00
4.	Бронзове литво	кг	9,5	220,00	2090,00
	Всього основних матеріалів	—	—	—	13398,0
	2. Покупні комплектуючі вироби, уніфіковані вузли				
1.	Електродвигун 4А71 (30 кВт)	шт.	1	32000,0	32000,00
2.	Електродвигун 4А630 (0,6 кВт)	шт.	1	4200	4200,00
3.	Електроапаратура				2950,00

1	2	3	4	5	6
4.	Гідроапаратура				4400,00
5.	Метизи	кг	9,0	215,40	1938,60
6.	Підшипники	шт.	2	400	800,00
7.	Інші покупки				887,00
Всього покупних комплектуючих		—	—	—	49050,6

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	2	3	4	5
1.	Матеріали основні	M_o	табл. 5.5	13398,00
2.	Матеріали допоміжні	M_d	4% від M_o	535,92
3.	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств	P_n	табл. 5.5	49050,60
4.	Зворотні відходи	$-B_{зв}$	6% від M_o	803,88
5.	Транспортно-заготівельні витрати	T_v	5% від $(M_o + M_d + P_n)$	2519,38
6.	Паливо та енергія на технологічні цілі	$P_{тех}, E_{тех}$	59,8% від $З_{ор}$	136493,28
7.	Всього матеріальні витрати			201193,30
8.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{ор}$	табл. 5.4	228249,64
9.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{ор}$	22824,96
10.	Відрахування в фонд соціального страхування	B_{cc}	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

1	2	3	4	5
12.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	табл. 5.4	670519,25
13.	Цехові витрати	$K_{цех}$	табл. 5.4	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	$C_{вир}$	$\Sigma(7 \div 15)$	2191044,65
17.	Позавиробничі витрати	$K_{пв}$	1% від $C_{вир}$	21910,45
18.	Повна собівартість	$C_{пов}$	$C_{вир} + K_{пв}$	2212958,0
19.	Прибуток	Π_n	20% від $C_{пов}$	442592,0
20.	Оптова ціна	$\Pi_{опт}$	$C_{пов} + \Pi_n$	2655550,0

Оптову ціну верстата розраховуємо за формулою:

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

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

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

де P_c – встановлений рівень рентабельності виробу, %.

$$\Pi_n = \frac{20 \cdot 2212958}{100} = 442592 \text{ грн}$$

$$\Pi_{опт} = 2212958 + 442592 = 2655550 \text{ грн.}$$

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 у соціальні фонди, грн.;

B_e – витрати на силову електроенергію, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на допоміжні матеріали. грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

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

$B_{\text{н}}$ – витрати на наладку, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.

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

$$B_3 = C_r \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (5.9)$$

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

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_3^{\text{б}} = 92,015 \cdot \frac{2,21}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 4,548 \text{ грн}$$

В проектному варіанті:

$$B_3^{\text{пр}} = 92,015 \cdot \frac{2,12}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 4,363 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію силову:

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

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;

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

$$B_{\text{ел}}^{\text{б}} = \frac{30 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,86 \cdot 0,92} \cdot \frac{2,21}{60} \cdot 18,10 = 3,640 \text{ грн};$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{31,2 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,86 \cdot 0,92} \cdot \frac{2,12}{60} \cdot 18,10 = 3,632 \text{ грн.}$$

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 $K_{\text{п}} = 1,0$).

$$B_{\text{дм}}^{\text{б}} = \frac{78,5 \cdot 13 \cdot 2,21}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,376 \text{ грн}$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{78,5 \cdot 13 \cdot 2,12}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,361 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання:

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

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.).

$$B_{\text{р}}^{\text{баз}} = \frac{41 \cdot 980 + 13 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{2,21}{60} = 0,466 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{р}}^{\text{пр}} = \frac{41 \cdot 980 + 13 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{2,12}{60} = 0,447 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщення:

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

де $F_{\text{о}}$ – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення) [1]:

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м² виробничого приміщення, грн/м².

$$B_{\text{уп}}^{\delta} = \frac{8,7 \cdot 2,5 \cdot 520}{3950} \cdot \frac{2,21}{60} = 0,105 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{уп}}^{\eta} = \frac{8,7 \cdot 2,5 \cdot 520}{3950} \cdot \frac{2,12}{60} = 0,101 \text{ грн.}$$

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:

– базового верстата:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\delta} = 2618400 \cdot (1 + 0,06 + 0,05 + 0,05) = 3037344 \text{ грн}$$

– проектного верстата:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} = 2655550 \cdot (1 + 0,06 + 0,05 + 0,05) = 3080438 \text{ грн}$$

$$B_a^{\delta} = \frac{3037344 \cdot 20}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{2,21}{60} = 5,665 \text{ грн}$$

$$B_a^{\text{пр}} = \frac{3080438 \cdot 20}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{2,12}{60} = 5,511 \text{ грн}$$

Витрати на експлуатацію універсального різучого інструменту:

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

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

p – кількість переточувань різучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру різучої грані;

$S_{\text{пер}}$ – вартість однієї переточувань, грн.;

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

t_e – економічна стійкість інструменту, хв.;

K_{em} – коефіцієнт обліку втрат інструменту.

$$B_{ip} = \frac{(1940 + 20 \cdot 45,6) \cdot 0,6 \cdot 2,21}{480(20+1)} \cdot 1,01 = 0,379 \text{ грн.}$$

$$B_{ip} = \frac{(1940 + 20 \cdot 45,6) \cdot 0,6 \cdot 2,12}{480(20+1)} \cdot 1,01 = 0,363 \text{ грн.}$$

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 в фонд соціального страхування	B_z	4,548	4,363
2.	Силовa електроенергія	$B_{ел}$	3,640	3,632
3.	Допоміжні матеріали	$B_{дм}$	0,376	0,361
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,466	0,447
5.	Утримання приміщення	$B_{уп}$	0,105	0,101
6.	Універсальний інструмент	B_{ip}	0,379	0,363
7.	Амортизація обладнання	B_a	5,665	5,511
Загальна сума		B_c	15,179	14,778

5.6. Розрахунок показників економічної ефективності

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

$$E_{pv} = (C_{опт}^{пр} - C_{пов}^{пр}) \cdot \Pi_v - E_n \cdot K_v, \quad (5.17)$$

де $C_{опт}^{пр}$ – вартість оптова проектного верстата, грн.;

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

$\Pi_{\text{в}}$ – програма виробництва верстатів, шт./рік;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($E_{\text{н}}=0,16$);

$K_{\text{в}}$ – додаткові капітальні витрати у виробника, грн.

$$K_{\text{в}} = B_{\text{пк}} + B_{\text{т}}, \quad (5.18)$$

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

$$K_{\text{в}} = 566940 + 329610 = 896550 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{рв}} = (2655550 - 2212958) \cdot 1 - 0,16 \cdot 896550 = 299100 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект у споживача розрахуємо за формулою:

$$E_{\text{рсп}} = (B_{\text{е}}^{\text{баз}} - B_{\text{е}}^{\text{пр}}) \cdot N_{\text{д}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{сп}}, \quad (5.19)$$

де $B_{\text{е}}^{\text{баз}}$, $B_{\text{е}}^{\text{пр}}$ – експлуатаційні витрати відповідно в базовому та проектному варіантах, грн.;

$N_{\text{д}}$ – річна програма обробки деталі на верстаті;

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

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

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

$$K_{\text{сп}} = 3080438 \cdot 1 - 3037344 \cdot 1 = 43094 \text{ грн}$$

$$E_{\text{р}} = (15,179 - 14,778) \cdot 60000 - 0,16 \cdot 43094 = 17200 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень у виробника:

$$T_{\text{ок.в}} = \frac{K_{\text{в}}}{(C_{\text{опт}}^{\text{пр}} - C_{\text{пов}}^{\text{пр}}) \cdot \Pi_{\text{в}}} = \frac{896550}{442592} = 2 \text{ роки} \quad (5.21)$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень у споживача:

$$T_{\text{ок.сп}} = \frac{K_{\text{сп}}}{(B_{\text{е}}^{\text{баз}} - B_{\text{е}}^{\text{пр}}) \cdot N_{\text{д}}} = \frac{43094}{(15,179 - 14,778) \cdot 60000} = 1,8 \text{ року} \quad (5.22)$$

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

$$P_n = 100 - \frac{t_{\text{ит(проект)}}}{t_{\text{ит(баз)}}} \cdot 100 = 100 - \frac{2,12}{2,21} \cdot 100 = 4,1\% \quad (5.23)$$

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	4	5	6
1.	Програма виробництва верстатів	шт./рік	1	1	—
2.	Річний випуск виробів із застосуванням верстата	шт./рік	60000	60000	—
3.	Штучний час обробки виробу	хв	2,21	2,12	-4,1
4.	Собівартість виготовлення верстата	грн	—	2212258	—
7.	Оптова ціна верстата	грн	2618400	2655550	+1,4
8.	Собівартість одиниці обробки із застосуванням верстата	грн	15,179	14,778	-2,6
9.	Капітальні витрати на конструкторську та технологічну підготовку виробництва	грн	—	896550	—
10.	Додаткові капітальні витрати:				
	у виробника	грн	—	896550	—
	у споживача	грн	—	43094	—
11.	Строк окупності додаткових капітальних витрат:				
	у виробника	років	—	2,0	—
	у споживача	років	—	1,8	—
	Річний економічний ефект				
	— у виробника	грн	—	299100	—
	— у споживача	грн	—	17200	—

Загальні висновки

Метою роботи полягала в розширенні технологічних можливостей токарного шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К при обробці деталей типу: фланець, втулка, маточина та дослідженні впливу теплових деформацій на працездатність верстата.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі задачі: проаналізовано стан питання стосовно обробки об'єкта виробництва; досліджено вплив теплових деформацій на працездатність токарного патронного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К; запропоновано шляхи підвищення ефективності обробки робочих поверхонь об'єкта виробництва; розроблено конструкторсько-технологічну документацію модернізації верстата мод 1Б290П-6К для реалізації нового технологічного процесу; виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації токарного шестишпиндельного автомата моделі 1Б290П-6К.

Виконані всі необхідні організаційно-економічні розрахунки. При цьому розрахункова продуктивність верстата автомата складає 60000 дет./рік., річний економічний ефект від впровадження верстата автомата для обробки фаски в центральному отворі шестерні у виробництво складає: у виробника 299100 грн. і у споживача 17200 грн. , окупляться додаткові капітальні вкладення у виробника за 2,0 роки, а у споживача за 1,8 роки, що дозволяє зробити висновок про економічну доцільність впровадження токарного шестишпиндельного напівавтомата моделі 1Б290П-6К у виробництво.

Список використаних літературних джерел

1. Модульно-параметричний принцип розробки проєктів 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. Єрьомін, 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 металопрокату 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. Федотьєв // 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. Грынь // 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 сільових методів в плануванні діяльності підприємства. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 30 с.