

Пояснювальна записка

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

на тему:

«Розробка компоновки та основних вузлів верстата-автомата для зняття фасок в отворах маточин деталей з дослідженням чутливості верстата до збуджень, що спричиняються електродвигунами»
«Development of the layout and main components of an automatic machine tool for chamfering holes in hub parts, with research into the sensitivity of the machine tool to vibrations caused by electric motors»

Виконавець: здобувач вищої освіти 2 року
магістратури, групи ПМ-24Мз-З, напряму
131 «Прикладна механіка»

Олексій БАХТІЯРОВ

Керівник: доц., к.т.н.

Іван ВАЛЯВСЬКИЙ

Рецензент: доц., к.т.н.

Любов ОЛІЙНИЧЕНКО

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
Олексія БАХТІЯРОВА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка компоновки та основних вузлів верстата-автомата для зняття фасок в отворах маточин деталей з дослідженням чутливості верстата до збуджень, що спричиняються електродвигунами
2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Іван ВАЛЯВСЬКИЙ
3. Строк подання роботи до захисту «12» грудня 2025 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: розробка компоновки та основних вузлів верстата-автомата для зняття фасок в отворах маточин деталей та дослідження чутливості верстата до збуджень, що спричиняються електродвигунами.

Завдання:

- провести аналітичний огляд загальних положень і вибір напрямку роботи при проектуванні верстата автомата ;
- провести розрахунок режимів різання та виконати нормування по зняттю фаски в шестерні;
- дослідити чутливість верстата автомата до збуджень, які викликаються електродвигуном;
- дослідити інструмент для зняття двосторонніх фасок;
- розробити спеціальні вузли верстата автомата та їх основні характеристики;
- розробити загальний вид верстата автомата та його технічні характеристики;
- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності використання верстата-автомата для зняття фасок.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1	ВСТУП	Вересень 2025	Вик.
2	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПОЛОЖЕНЬ І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВЕРСТА ТА АВТОМАТА	Вересень 2025	Вик.
3	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОВЕДЕННІ В ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТІ	Листопад 2025	Вик.
4	ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ШЕСТЕРНІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ	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 _____ Іван ВАЛЯВСЬКИЙ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання 01 » вересня 2025 р.

Здобувач _____ Олексій БАХТІЯРОВ
(підпис)

Анотація

Олексій БАХТІЯРОВ. Розробка компоновки та основних вузлів верстата-автомата для зняття фасок в отворах маточин деталей з дослідженням чутливості верстата до збуджень, що спричиняються електродвигунами. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2025. – 77 с. Матеріали презентації 7 аркушів.

Метою роботи є розробка компоновки та основних вузлів верстата-автомата для зняття фасок в отворах маточин деталей та дослідження чутливості верстата до збуджень, що спричиняються електродвигунами.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі задачі: проведено аналітичний огляд загальних положень і вибір напрямку роботи при проектуванні верстата автомата; виконано розрахунок режимів різання та виконано нормування по зняттю фаски в шестерні; досліджено чутливість верстата автомата до збуджень, які викликаються електродвигуном; досліджено інструмент для зняття двосторонніх фасок; розроблено спеціальні вузли верстата автомата та їх основні характеристики; розроблено загальний вид верстата автомата та його технічні характеристики; виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності використання верстата-автомата для зняття фасок.

Актуальність: Актуальною задачею є підвищення продуктивності верстатів автоматів, яка досягається в першу чергу за рахунок скорочення часу холостих ходів, підвищення ступеня концентрації операцій шляхом: збільшення кількості інструментів, застосування комбінованих інструментів; збільшення кількості позицій на верстаті; збільшення кількості одночасно оброблюваних сторін деталі; збільшення кількості деталей, оброблюваних на кожній позиції.

Практичне значення: Запропоновано інструмент спрощеної конструкції для зняття двосторонніх фасок. Досягається це тим, що в запропонованому інструменті державка має закруглений виступ, який взаємодіє з поверхнею отвору, що обробляється. Таким чином немає необхідності переустановлення деталі, що підвищує якість та продуктивність обробки.

Ключові слова: верстат-автомат, інструмент для зняття двосторонніх фасок, амплітудно-частотна характеристика, відносні коливання.

Abstract

Oleksii BAKHTIAROV. Development of the layout and main components of an automatic machine tool for chamfering holes in hub parts, with research into the sensitivity of the machine tool to vibrations caused by electric motors. Master's Thesis: CNTU, 2025. - 77 p. Presentation materials 7 il.

The aim of the work is to develop the layout and main units of an automatic machine designed for deburring hub bores of parts, as well as to study the machine's sensitivity to excitations caused by electric motors.

To achieve the research goal, the following tasks were addressed: an analytical review of general principles and selection of the development direction in designing the automatic machine were conducted; cutting modes were calculated, and standardization for deburring a gear was performed; the sensitivity of the automatic machine to excitations generated by the electric motor was studied; a tool for double-sided deburring was investigated; special units of the automatic machine and their main characteristics were developed; the general design of the automatic machine and its technical specifications were created; a techno-economic justification for the feasibility of using the automatic deburring machine was prepared.

Relevance: An important task is to increase the productivity of automatic machines, which is achieved primarily by reducing idle time and increasing the degree of operation concentration through: increasing the number of tools, using combined tools, increasing the number of machine positions, increasing the number of simultaneously machined surfaces of a part, and increasing the number of parts processed at each position.

Practical significance: A simplified tool design for double-sided deburring is proposed. This is achieved by equipping the tool holder with a rounded protrusion that interacts with the surface of the bore being machined. This eliminates the need to reposition the part, which improves machining quality and productivity.

Keywords: automatic machine, tool for double-sided deburring, amplitude-frequency characteristic, relative vibrations.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПОЛОЖЕНЬ І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВЕРСТАТА АВТОМАТА.....	10
1.1. Аналіз базового технологічного процесу обробки шестерні	10
1.2. Характеристика і аналіз об'єкта виробництва.....	10
1.3. Огляд нормалізованих вузлів для проектування верстата автомата...	12
1.2. Визначення кола питань, які вирішуються в дипломному проекті...	12
Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТА ВИРОБНИЦТВА.....	13
2.1. Дослідження чутливості верстата автомата до збуджень, що викликаються електродвигунами.....	13
2.2. Дослідження інструменту для знаття двосторонніх фасок.....	18
Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ШЕСТЕРНІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ АВТОМАТІ.....	20
3.1. Призначення та конструкція шестерні	20
3.2. Базування деталі при обробці на проектованому верстаті автомата.....	21
3.3. Розробка технологічної компоновки верстата автомата	21
3.4. Вибір заготовки.....	22
3.5. Розрахунок режимів різання при зенкуванні	22
3.6. Нормування операції по зняттю фаски в шестерні.....	24
Розділ 4. РОЗРОБКА КОМПОНОВКИ ВЕРСТАТА АВТОМАТА ТА РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ.....	26
4.1. Розрахунок головки одношпindelної	26
4.1.1. Вибір електродвигуна і кінематичний розрахунок	26
4.1.2. Розрахунок клинопасової передачі	27
4.1.3. Попередній розрахунок валів	32
4.1.4. Розрахунок зубчастої передачі	33
4.1.5. Уточнений розрахунок вала.....	36
4.1.6. Вибір підшипників.....	38
4.1.7. Основні складові головки одношпindelної.....	40
4.2. Конструкція та розрахунок затискного пристрою.....	41
4.2.1. Розрахунок сили затиску та визначення діаметра циліндра.....	41

4.2.2	Принцип роботи затискного пристрою.....	43
4.3	Загальна характеристика та принцип дії завантажувального пристрою.....	44
4.3.1	Загальна характеристика завантажувального пристрою.....	44
4.3.2	Будова та принцип дії завантажувального пристрою.....	45
4.4	Гідросистема верстата автомата.....	46
4.5	Розробка технічної характеристики верстата автомата.....	52
4.6	Підготовка верстата автомата до роботи.....	52
4.7	Принцип роботи верстата автомата.....	52
4.8	Технічне обслуговування верстата автомата.....	54
Розділ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТА ДЛЯ ЗНЯТТЯ ФАСОК В ОТВОРАХ МАТОЧИН ДЕТАЛЕЙ.....		56
5.1	Загальні вихідні дані.....	56
5.2	Конструкторська підготовка виробництва.....	57
5.3	Технологічна підготовка виробництва.....	60
5.4	Визначення повної собівартості та оптової ціни проектного верстата	63
5.5	Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки), які припадають на одиницю продукції в базовому та проектному варіантах	67
5.6	Розрахунок показників економічної ефективності.....	71
Загальні висновки.....		74
Список використаних літературних джерел.....		75

Вступ

Ефективність виробництва, його технічний прогрес, якість продукції залежать, переважно, від випереджального розвитку виробництва нового технологічного обладнання, від широкого впровадження методів технічно-економічного аналізу, що забезпечує рішення технічних питань та економічну ефективність технічних і конструкторських розробок.

Задачі, які ставляться перед сучасним машинобудуванням можна вирішити тільки при ефективному використанні сучасного технологічного обладнання і в першу чергу від автоматичного металообробного обладнання – верстатів автоматів. Автоматом називають обладнання, в якому виконання технологічного процесу здійснюється без втручання людини, всі робочі і холості ходи циклу автоматизовані і тільки в налагоджуванні, настроюванні та контролі потрібні втручання наладчика та оператора.

Верстати автомати використовують в масовому, крупносерійному та багато номенклатурному виробництві. Вони будуються по методу концентрації операцій і розвиваються у наступних напрямках: подальше збільшення ступеня концентрації операцій, що дозволяє в ряді випадків обробляти деталь цілком з однієї установки, від єдиної технологічної бази; розширення технологічних можливостей обладнання цього типу за рахунок виконання нетрадиційних операцій для механічної обробки (контроль, складання, таврування тощо.); розширення області застосування верстатів автоматів шляхом розробки нових прогресивних конструкцій, які дозволять використовувати їх у серійному виробництві; збільшення точності і надійності роботи автоматичного обладнання і підвищення коефіцієнта його використання.

Підвищення продуктивності верстатів автоматів досягається в першу чергу за рахунок скорочення часу холостих ходів, підвищення ступеня концентрації операцій шляхом: збільшення кількості інструментів, застосування комбінованих інструментів; збільшення кількості позицій на верстаті; збільшення кількості одночасно оброблюваних сторін деталі; збільшення кількості деталей, оброблюваних на кожній позиції.

Щоб збільшити концентрацію операцій на верстаті автоматі, необхідно виконати наступні вимоги: при мінімально можливих габаритних розмірах і мінімальній матеріалоємності повинні забезпечуватись необхідні режими обробки та висока надійність виконання робочих і холостих рухів автоматизованого циклу; для повного використання можливостей інструментів кінематика верстата автомата повинна забезпечувати необхідні швидкості різання і подачі, а також по можливості безступінчастого їх регулювання; конструкція верстата автомата повинна мати високу жорсткість і геометричну точність.

Закладається все позитивне в конструкцію технологічного обладнання ще на стадії його проектування. В теперішній час процес проектування орієнтований, в основному на традиційні методи. Однак в останній час намітились переходи в проектуванні від традиційних методів до нетрадиційних, яким є автоматизоване проектування. Автоматизоване проектування дозволяє підвищити якість проектів, знизити їх трудомісткість і скоротити терміни проектування до рівня розвинених економічних країн.

Конкурентоспроможність верстатного обладнання повинна вирішуватися як на етапі проектування, так і при його виготовленні. Для цього необхідно: підвищувати надійність обладнання залишаючи високий рівень його автоматизації; знизити собівартість – при цьому зберігати на високому рівні його техніко-економічні показники; досягати повної безпеки його експлуатації при високому рівні культури виробництва.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПОЛОЖЕНЬ І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВЕРСТАТА АВТОМАТА

1.1. Аналіз базового технологічного процесу обробки шестерні

Обробка шестерні по базовому технологічному проекту на багатопшпіндельних токарних напівавтоматах чи автоматах, а також на одношпіндельних токарних револьверних верстатах та автоматах враховуючи ряд специфічних умов побудови протікання технологічного процесу не забезпечує обробку двох фасок в центровому отворі на одній операції. Тому обробка другої фаски виконується на другій операції з використанням універсального вертикально - свердлувального обладнання. Такий технологічний процес застосовується в поточних лініях і головний його недолік полягає в тому, що він не підлягає автоматизації. Застосування одношпіндельних токарних напівавтоматів чи автоматів на операції по обробці другої фаски недоцільний, так як при цьому технологічні можливості вище згаданого обладнання зовсім не використовуються.

Вирішення цієї проблеми приводить до того, що необхідно проектувати дешеве технологічне обладнання для цієї операції з обмеженими технологічними можливостями, що повністю відповідає темі дипломного проекту: «Розробка компоновки та основних вузлів автомата для зняття фасок в отворах маточин деталей». Спроекований верстат автомат можна використовувати як в поточній лінії, так і вбудовувати його в автоматичну лінію.

1.2. Характеристика і аналіз об'єкта виробництва

Об'єктом виробництва в дипломному проекті є шестерня 72.09.105.20, креслення якої представлено на рис. 1.1. Шестерня досить технологічна деталь і при розробці технологічного процесу на такі деталі ніколи не виникає проблем.

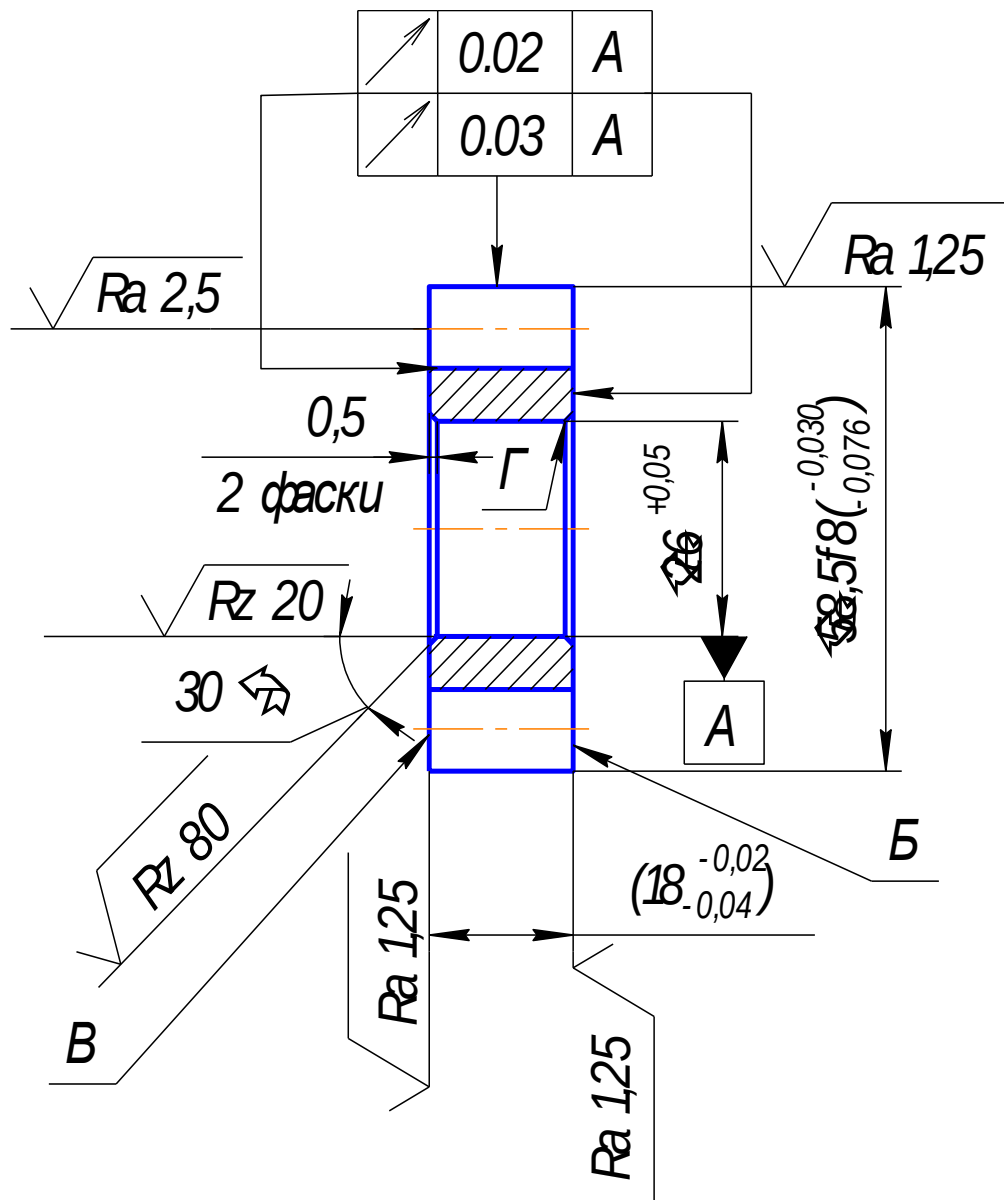


Рис. 1.1. Креслення шестерні 72.09.105.20

Програма випуску шестерень складає $N=650000$ штук в рік, це вказує на те, що виробництво шестерень буде як мінімум багатосерійним.

Технічні вимоги:

1. Цементувати h 0,7...1,1 мм, 57...63 HRC, серцевина 25...45 HRC.
2. Допускається поверхонь A не цементувати.
3. Гострі кромки по профілю евольвенти округлити R 0,1 мм.
4. Угнутість поверхонь B і B не допускається.
5. Кромки Γ притупити R 0,3...0,4 мм.
6. Вага заготовки 0,73 кг.
7. Коефіцієнт використання матеріалу не менше 0,26.

1.3. Огляд нормалізованих вузлів для проектування верстата автомата

При проектуванні верстата автомата для обробки шестерні 72.09.105.20 вибираємо два напрямки:

- вибір нормалізованих вузлів, які можна застосувати при проектуванні розроблюваного верстата автомата;
- розробка та проектування вузлів, які не є нормалізованими вузлами і можуть застосуватися в розроблюваному верстаті автоматі.

Нормалізованим вузлом для верстата автомата в якості привода головного руху можна прийняти силову головку або спроектувати більш простішу по конструкції шпіндельну головку. Другий варіант більш придатний.

Спеціальними вузлами, які необхідно спроектувати для верстата автомата будуть наступні: завантажувальний пристрій, затискний пристрій, станція ЗОР та гідравлічна плита.

1.4. Визначення кола питань, які вирішуються в дипломному проекті.

При проектуванні верстата автомата для зняття фаски в маточині деталі необхідно вирішити в дипломному проекті такі питання:

- аналітичний огляд загальних положень і вибір напрямку роботи при проектуванні верстата автомата;
- розробка схеми наладок, розрахунок режимів різання та виконання нормування по зняттю фаски в шестерні;
- дослідження чутливості верстата автомата до збуджень, які викликаються електродвигуном;
- дослідження інструменту для зняття двосторонніх фасок;
- розробка спеціальних вузлів верстата автомата та їх основних характеристик;
- розробка загального виду верстата автомата та розробка технічної характеристики;
- виконати організаційний та техніко-економічний розрахунок і визначити економічну ефективність проектованого верстата автомата;
- зробити висновки про доцільність застосування спроектованого верстата автомата для зняття фасок в отворах маточин деталей.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОВЕДЕНІ В ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТІ

2.1. Дослідження чутливості верстата автомата до збуджень, що викликаються електродвигунами

З метою визначення впливу рівня збуджень, створюваних електродвигунами, на величину відносного зміщення інструмента і заготовки було проведено дослідження на верстаті автоматі нормальної точності. Шпиндель, який досліджували, в цьому верстаті приводиться в обертання від електродвигуна потужністю 1,5 кВт з постійним числом обертів 1400 за хвилину через клинопасову передачу; найбільший діаметр оброблюваних отворів 12 мм.

Експерименти включали визначення частот власних коливань верстата, загального рівня відносного зміщення інструмента і заготовки при холостому ході та впливу способу установлення електродвигуна на верстаті автоматі на спектр відносних коливань інструмента і заготовки.

Вплив збуджень електродвигуна визначається шляхом аналізу відповідної амплітудно-частотної характеристики. При побудові динамічної характеристики системи верстата автомата в якості вхідного параметра використовується величина еквівалентного збуджуючого моменту M_e ; вихідним параметром є амплітуда відносного зміщення інструмента і деталі, виміряна в площині, що перпендикулярна до оброблюваної поверхні.

В загальному випадку збуджуюча дія приводного електродвигуна на систему верстата автомата можна розглядати як вплив складових спектра періодичних збуджуючих сил і моментів. На будь-якій з частот збуджування сила і момент, що діють з боку двигуна, можуть бути замінені еквівалентним збуджуючим моментом, який викликає в системі такі ж коливання, як і синхронні складові спектра збуджуючої сили та моменту, що діють на цій частоті і здвигнуті по фазі. Значення M_e на будь-якій з частот спектра визначалося на стенді, виконаному у вигляді платформи, що коливається, з одним ступенем вільності.

Вимірювання відносних коливань виконувалось за допомогою віброщупа

К61-А, наконечник якого упирився в консольну частину шпинделя. Головка віброшупа закріплювалась на державці, посадженій на стандартну оправку, установлену в центрах. Всі вузли верстата автомата були жорстко зафіксовані для запобігання можливих переміщень.

Амплітудно-частотна характеристика верстата автомата (рис. 2.1) при холостому ході являє собою залежність відносного зміщення A' інструмента і деталі від одиничного збуджування з частотою коливань f . Ця характеристика отримана за допомогою механічного вібратора, встановленого замість електродвигуна на платформі верстата автомата. Рівень збудження, створюваного вібратором, визначався попередньо на згаданому вище стенді і, таким чином, був наперед відомим. Відносні коливання в зоні різання реєструвалися віброшупом.

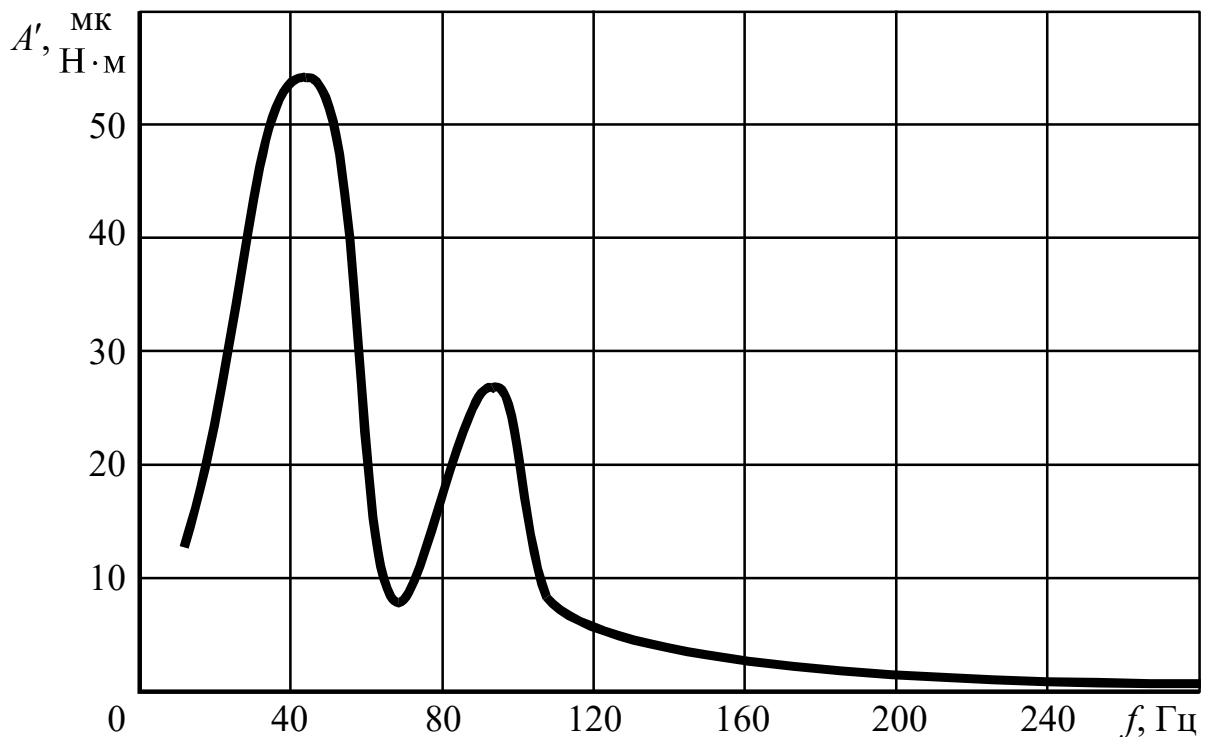


Рис. 2.1. Амплітудно-частотна характеристика агрегатного верстата при зовнішньому збуджуванні.

Резонансні піки на рис. 2.1 відповідають частотам власних коливань окремих вузлів: 45 Гц – стола, 91 Гц – шпиндельної головки.

Найбільш небезпечною, з точки зору виникання резонансу та виникнення інтенсивних коливань, є частота 45 Гц, яка близька до однієї з частот (48 Гц) збудження, створюваного електродвигуном шпиндельної головки (рис.2.2). Як видно з спектрограми, частоти основних збуджувань лежать вище частоти 48 .

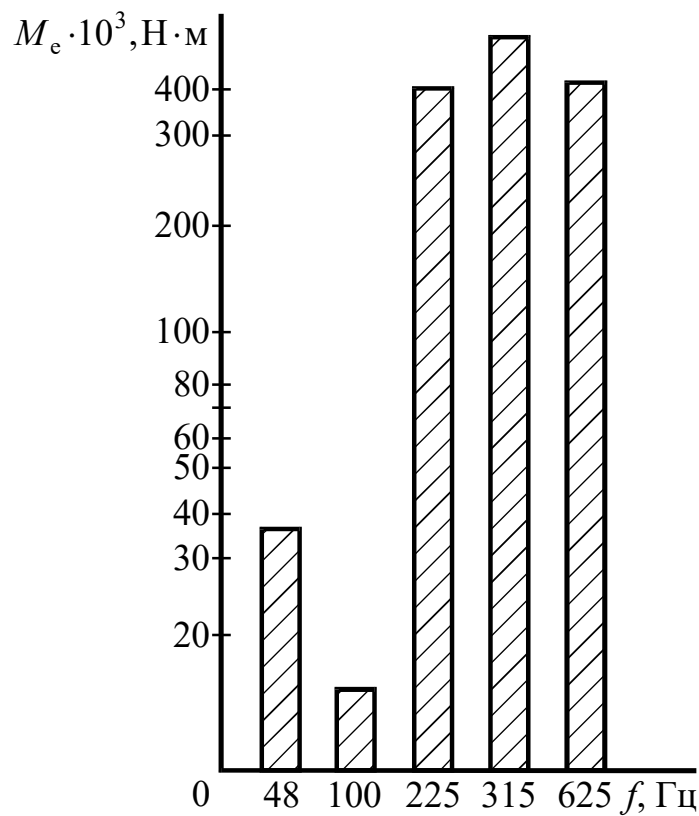


Рис. 2.2. Спектрограма збуджувань електродвигуна

Вимірювання, проведені на верстаті автомата після установалення та включення електродвигуна показали, що в спектрі відносних коливань інструмента і деталі присутні ті ж складові, що і в спектрі збуджувань електродвигуна. Це дозволяє вважати коливальну систему верстата автомата лінійною, тобто зовнішні коливання, які викликані електродвигуном, примушують коливатися окремі вузли верстата автомата за тим самим законом, якому підпорядковуються ці збуджування, але з деяким запізненням і зміненою амплітуди коливань.

Відомо, що чутливість верстата до збуджувань, які створюються приводним електродвигуном на відповідних частотах спектра, залежить не тільки від амплітудно-частотної характеристики пружної системи, але і від умов установалення та кріплення двигуна на платформі верстата автомата. Як видно на рис. 2.3, при включенні в роботу пасової передачі спостерігається значне підвищення амплітуди A_v відносного зміщення. Крім того, виникають низькочастотні коливання $f = 10 \dots 12$ Гц; це обумовлено поперечними коливаннями пасів. Натяг паса також грає суттєву роль в процесі коливань, тому вибір оптимального натягу є одним із засобів зниження вібрацій.

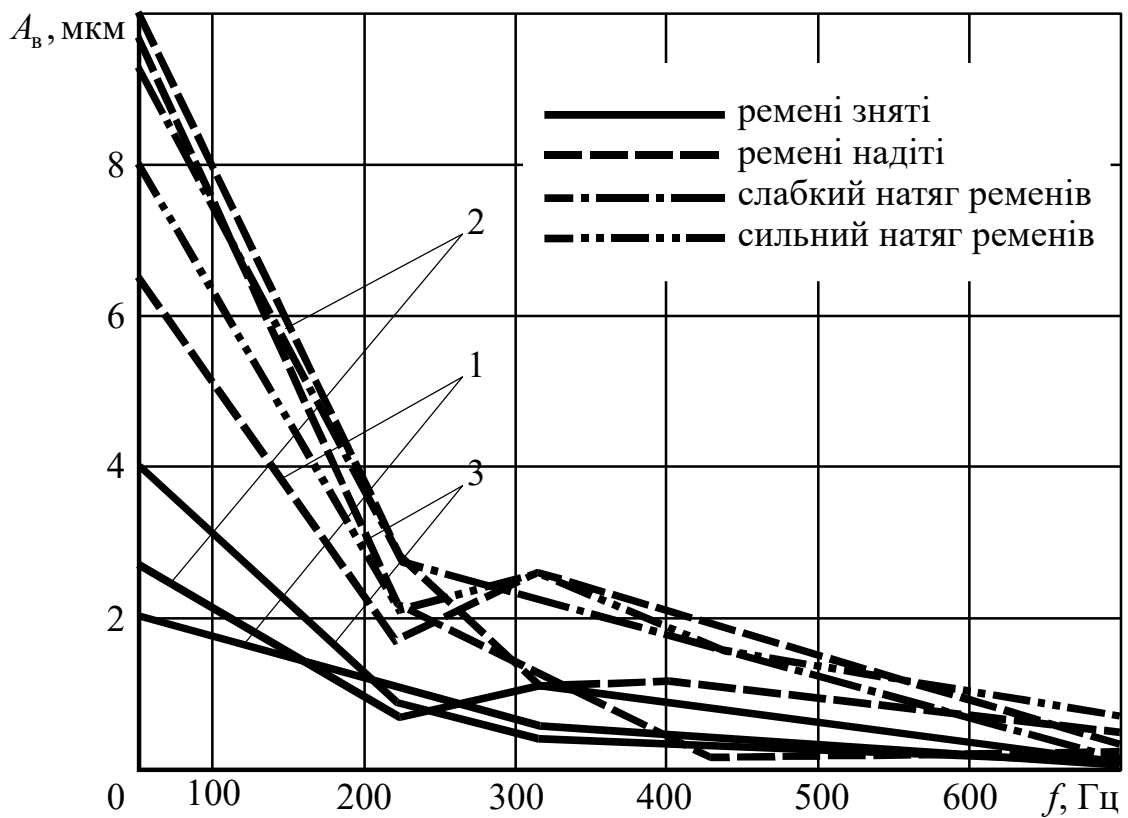


Рис. 2.3. Вплив установки приводного електродвигуна на рівень відносних коливань інструмента і заготовки:

- 1 – при нормальному кріпленні двигуна;
- 2 – при послабленому клині підмоторної плити;
- 3 – при послаблених кріпильних болтах двигуна

Послаблення притискного клина підмоторної плити викликає появу вібрацій з однією із власних частот шпиндельної головки (415 Гц). При цьому

амплітуда коливань на частоті 48 Гц збільшується несуттєво (з 2,1 до 2,8 мкм), на частоті 225 Гц вона знижується з 1,3 до 0,9 мкм, а на частотах 315 та 625 Гц змін амплітуди майже не спостерігається.

Введення віброізолюючих прокладок між опорними лапами електродвигуна та плитою змінює характер передачі збуджень в зону обробки. В експериментах з цією метою були досліджені такі матеріали: резина різної твердості, пластмаси різних марок, технічний картон, , фанера, свинець, сталеві пружини тощо. Для усунення впливу похибок, що виникають при роботі шпиндельного вузла, вимірювання виконувались при нерухомому шпинделі (паси були зняті).

Залежність амплітуди відносних коливань від їх частоти при використанні різних віброізолюючих прокладок показана на рис. 2.4. Найбільший ефект виходить при застосуванні металічної виткої пружини з резиновими шайбами

(крива 5), яка має лінійні характеристики. При цьому в спектрі коливань повністю відсутні складові з частотами 225 та 315 Гц. Не менш перспективним матеріалом, з точки зору зниження рівня вібрацій, є свинець (крива 4), який при малій товщині (2 мм) має майже такі самі демпфуючі властивості, як і резина середньої (25...30 од. по Шору) твердості (крива 1), і підвищує жорсткість вузла привода.

Прокладки з технічного картону (крива 2) та фанери (крива 3) не знижують амплітуду коливань і непридатні в якості віброізолюючих матеріалів. Застосовуючи для ізоляції резину, необхідно враховувати не тільки її твердість, від якої в значному ступені залежать демпфування в системі та її жорсткість в напрямку пасової передачі, але і ступінь затяжки кріпильних болтів. Оптимальна величина моменту затяжки болтів для резини різної твердості складає 6...7 Н·м.

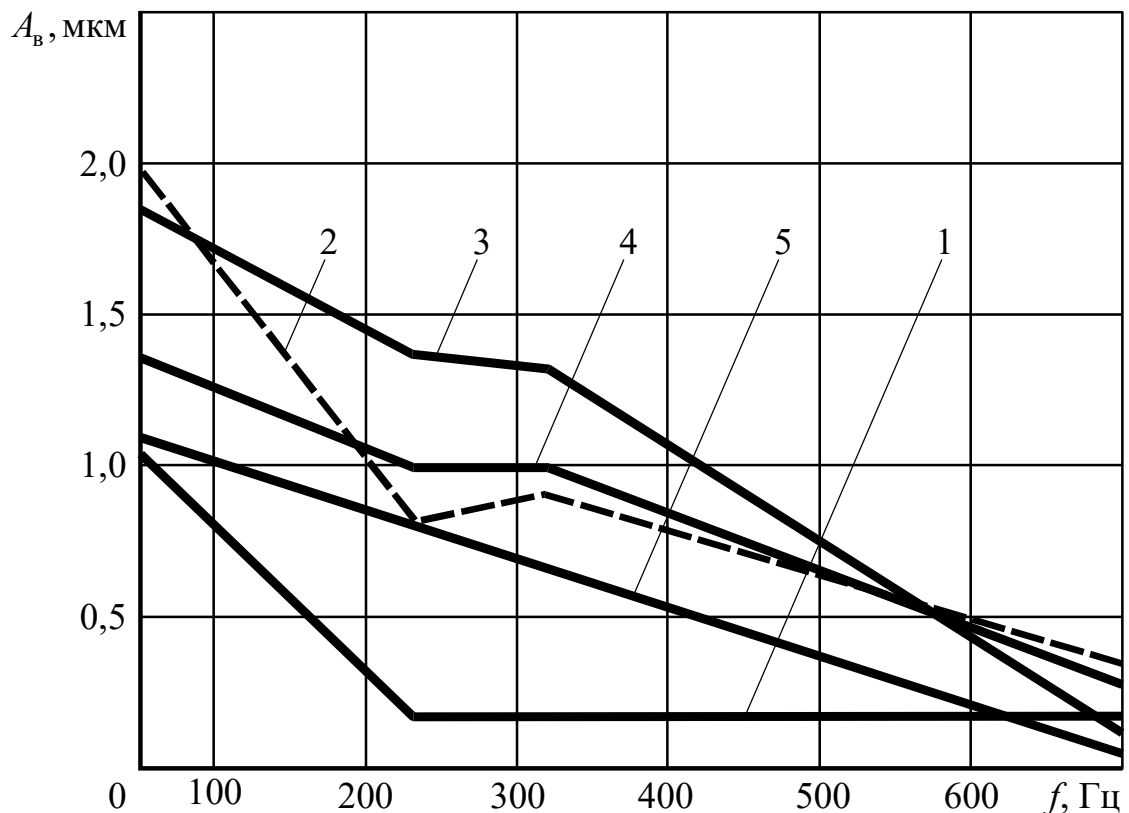


Рис. 2.4. Залежність амплітуди відносних коливань від їх частоти при використанні різних віброізолюючих прокладок:

- 1 – резина середньої твердості;
- 2 – технічний картон;
- 3 – фанера;
- 4 – свинець;
- 5 – сталеві витягнуті пружини з резиновими шайбами

Отже, спосіб установлення приводного електродвигуна на верстаті значно впливає на рівень відносного зміщення інструмента і деталі. Внаслідок близькості

однієї з частот збудження електродвигуна головного привода (48 Гц) та власної частоти коливання стола верстата автомата (45 Гц) відносні зміщення на цій частоті збільшуються. Шляхом вибору оптимальної затяжки болтів, підбора відповідних віброізолюючих прокладок і регулювання натягу пасів можна досягти значного зниження рівня коливань верстата автомата.

2.2. Дослідження інструменту для зняття двосторонніх фасок

Автомат для зняття фасок розробляється для обробки однієї фаски зенківкою, що залишається після обробки деталей на токарних автоматах та напівавтоматах внаслідок кінцевого відрізання порожнистої деталі від прокату. При цьому робота автомата буде здійснюватись а автоматичному або напівавтоматичному циклі.

Існує велика номенклатура деталей після холодної та гарячої штамповки в яких необхідно обробляти фаски або знімати задирки з обох сторін. Звісно перелічені операції можна виконувати на автоматі з переустановленням деталі в ручному режимі. Переустановлення деталі знижує продуктивність обладнання і операції в цілому.

Тому для таких операцій без переустановлення деталі пропонується інструмент спрощеної конструкції для зняття двосторонніх фасок. Досягається це тим, що в запропонованому інструменті державка має закруглений виступ, який взаємодіє з поверхнею отвору, що обробляється. На рис. 2.5 показаний запропонований інструмент в розрізі і розріз (А-А) державки 4 з виступом 6 та різальною пластиною 5.

Конструкція та принцип дії інструмента для зняття двосторонніх фасок. В корпусі 1 установлена оправка 2, яка може повертатися навколо осі 3. На оправці 2 закріплена державка 4 з ріжучою пластиною 5. Державка 4 має закруглений виступ 6. Пластина 5 з ріжучою кромкою 7 розташована на державці 4 перед виступом 6 так, що виступ 6 вступає в роботу після обробки верхньої фаски. Оправка 2 утримується в початковому положенні пружиною 8 і підтиснута до регульованого упора 9.

Для зняття фасок в отворі деталі 10 з двох сторін інструмент закріплюють в шпинделі верстата. В початковому положенні і під час обробки фаски кінець

оправки розташований в корпусі 1, підтиснутий пружиню 8 до упора 9. Оправка 2, яка обертається, вводиться в оброблюваний отвір і при контакті різальної кромки 7 з вхідною кромкою отвору здійснюється обробка верхньої фаски.

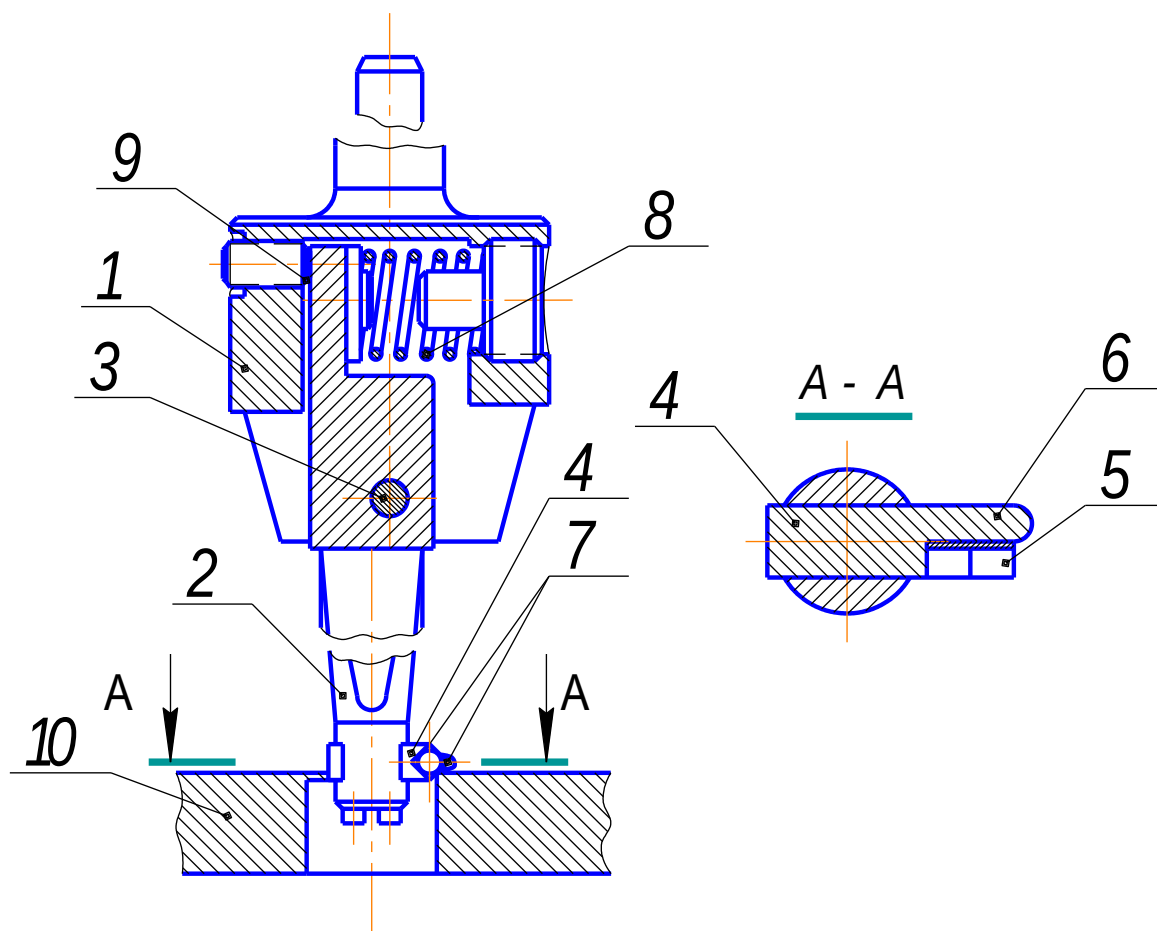


Рис. 2.5. Запропонований інструмент для зняття двосторонніх фасок

В момент появи вхідної фаски необхідного розміру в отворі у взаємодію з оброблюваною деталлю вступає виступ 6. При подальшому швидкому осьовому переміщенні інструменту виступ 6 ковзає по поверхні обробленої фаски і відхиляє оправку 2, відводячи ріжучу кромку 7 пластини 5 від обробленої фаски. При виході оправки 2 з державкою 4 із отвору пружина 8 повертає оправку в початкове положення. При зворотному осьовому переміщенні інструмента відбувається обробка фаски з другої сторони отвору. Оправка 2 відхиляється і при подальшому швидкому переміщенні інструмента із отвору в якому заздалегідь оброблено дві фаски. Переналадка інструменту на обробку фасок в отворах другого діаметра здійснюється переміщенням державки 4 у вікні оправки 2, а також регулюванням упора 9, що значно розширює діапазон оброблюваних отворів, а значить і технологічні можливості інструменту для зняття двосторонніх фасок.

ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ШЕСТЕРНІ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ АВТОМАТІ

3.1. Призначення та конструкція шестерні

Шестерня 72.09.105.20 відноситься до типу деталей циліндричних зубчастих коліс. На початковій стадії обробки, до нарізання зубців на шестерні, її можна вважати, як типову втулку. Втулки одні з найтехнологічних деталей і обробляються по типовим технологіям з використанням токарного, токарного револьверного та токарного багатопшпіндельного обладнання. Технологічні можливості цього обладнання не спроможні вести обробку двох фасок в центральному отворі на одній операції. Тому друга фаска завжди знімалася на послідуєчій операції з використанням в більшості випадків свердлувального обладнання. Це в свою чергу й надало поштовх на розв'язок цієї проблеми, тобто на проектування спеціального верстата автомата для зняття фасок в шестернях.

Шестерня є комплектуючою деталлю до насоса масляного шестеренчастий НМШ 25, який використовують для подачі робочої рідини в гідравлічні системи низького тиску тракторів та сільськогосподарських і дорожніх машин.

Матеріал шестерні – сталь 18ХГТ. Оптимальні властивості має при глибині цементації 0,9 мм та концентрації вуглецю 0,87%.

Хімічні властивості сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-71 приведені в таблиці 3.1, а механічні та фізичні властивості – в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1

Хімічні властивості сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-71

Зміст хімічних елементів, в %				
Основні компоненти				
C _{заг}	S _i	Mn	C _u	T _i ,
0,17-0,23	0,17-0,37	0,8-1,1	1,0-1,3	0,03-0,09

Таблиця 3.2

Механічні та фізичні властивості сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-71

Механічні та фізичні властивості					
σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	a_n , Дж/см ²	НВ
900	1100	9	50	80	217

3.2. Базування деталі при обробці на проектованому верстаті автоматі

Проектуючи пристосування, необхідно встановити такі фактори:

- число опор (точок), на які встановлюється заготовка, не повинно перевищувати шести;
- при установленні заготовки на опори не повинен виникати перекидний момент;
- поверхні заготовки, які вибрані під бази, повинні мати достатню площу і якість обробки.

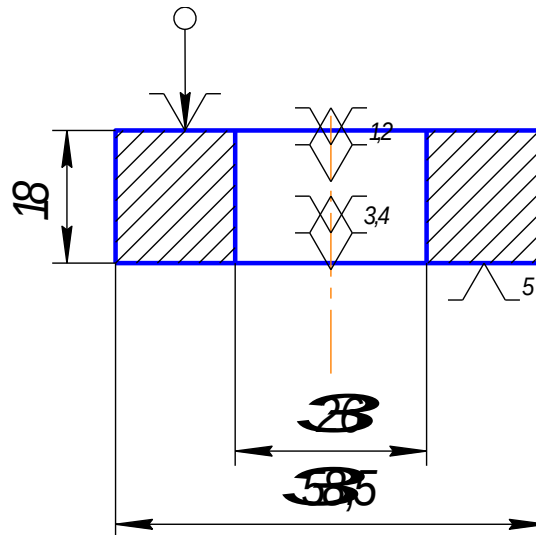


Рис.3.1. Схема базування

При установці шестерні в затискний пристрій технологічною базою є зовнішня циліндрична поверхонь $\varnothing 58,5 f8^{(-0,030)}_{(-0,076)}$ мм і кільцевий торець $\varnothing 26^{+0,045}$ мм / $\varnothing 58,5 f8^{(-0,030)}_{(-0,076)}$ мм (див. креслення шестерні 72.09.105.20). Шорсткість обробки технологічних баз $R_a 12,5$ мкм.

3.3. Розробка технологічної компоновки верстата автомата

Розробка технологічної компоновки верстата автомата є одним із обов'язковим етапів при проектуванні технологічного обладнання.

При розробці технологічної компоновки верстата автомата пропонується використати одну позицію, на якій буде розташовуватись затискний пристрій. Подача заготовок в затискний пристрій здійснюється завантажувальним пристроєм, який буде розташований з лівої сторони затискного пристрою. З правої сторони розмістимо привід головного руху – головку одношпіндельну. Всі перераховані вузли пропонується встановлювати на зварний каркас. В порожнині

каркасу зручно розмістити станцію МОР і плиту гідравлічну. Пульт керування верстатом-автоматом розмістити на тильній стороні каркаса, використавши для цього спеціальну підставку.

По запропонованій технологічній компоновці верстата автомата буде розроблена конструкція верстата автомата.

3.4. Вибір заготовки

Матеріалом шестерні є сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-71. Тому найдоцільніше для виготовлення шестерень вибрати заготовку – прокат, який забезпечить високу міцність і герметичність при заданому діаметрі (рис. 3.1). Вибираємо заготовку сортового прокату $\text{Ø}55 \frac{\text{сталь}18\text{ХГТ}}{\text{ГОСТ}4543-71}$. Сортовий прокат в заготівельному виробництві підлягає порубці на заготовки (рис.3.1.)

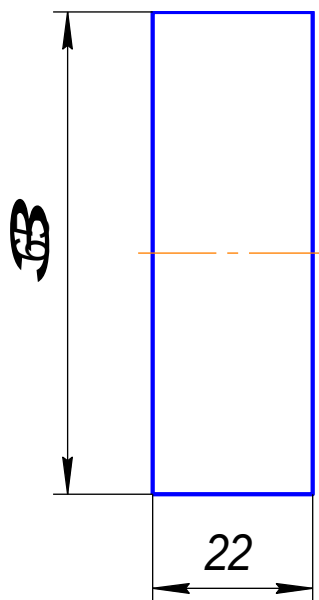


Рис. 3.1. Ескіз заготовки шестерні

3.5. Розрахунок режимів різання при зенкуванні

Зенківка з твердосплавними ножами. Матеріал різальної частини Т15К6.

Глибина різання при зенкуванні фаски:

$$t = 0,5(D - d),$$

де d - діаметр отвору, в якому зенкується фаска, $d=26$ мм;

D – максимальний діаметр фаски:

$$D = d + 2c \cdot \operatorname{ctg} 30^\circ,$$

де c – розмір фаски, $c=0,5$ мм

$$D = 26 + 2 \cdot 0,5 \cdot 1,732 = 27,732 \text{ мм}$$

$$t = 0,5(27,732 - 26) = 0,866 \text{ мм}$$

Подачу при зенкуванні фаски приймаємо в залежності від діаметра інструмента і матеріалу, що обробляється [32].

$$s = 0,15 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Швидкість різання при зенкуванні фаски визначається за формулою:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v, \quad (3.1)$$

де T - стійкість зенківки, приймаємо по табл. 30 [32] $T = 60 \text{ хв}$;

C_v і показники степені q, x, y, m вибираємо по табл. 29 [32], тобто

$$C_v = 18; q = 0,6; y = 0,3; x = 0,2; m = 0,25$$

K_v - загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{tv}, \quad (3.2)$$

де K_{mv} - коефіцієнт на матеріал, що обробляється, по табл. 1 [32],

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} = 1,0 \left(\frac{750}{1100} \right)^{0,9} = 0,71;$$

K_r - коефіцієнт для матеріалу інструмента, по табл. 2 [32], $K_r = 1,0$

K_{nv} - коефіцієнт на інструментальний матеріал, по табл. 6 [32],

$$K_{nv} = 1,0;$$

K_{tv} - коефіцієнт, який враховує глибину отвору, по табл. 50 [32],

$$K_{tv} = 1,0;$$

$$K_v = 0,71 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,71$$

Тоді швидкість різання:

$$v = \frac{18 \cdot 27,732^{0,6}}{60^{0,25} \cdot 0,866^{0,2} \cdot 0,25^{0,3}} \cdot 0,71 = 52,7 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Обертальний момент при зенкуванні фаски визначаємо за формулою:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot t^x \cdot s^y \cdot K_p, \quad (3.3)$$

де C_m і показники степені q, y, x вибираємо по табл. 32 [32]:

$$C_m = 0,106; q = 1,0; x = 0,9; y = 0,8;$$

K_p - коефіцієнт, який враховує фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу, що обробляється, вибираємо з табл. 9 [32], $K_p = 1,0$.

Знаходимо обертальний момент:

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,106 \cdot 27,732^{1,0} \cdot 0,866^{0,9} \cdot 0,25^{0,8} \cdot 1,0 = 8,5 H \cdot m$$

Осьове зусилля при зенкуванні фаски визначаємо за формулою:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot K_p$$

де C_p і показники степені x, y вибираємо по табл. 32 [32]: $C_p = 140$; $x = 1,2$; $y = 0,65$.

Знаходимо осьову силу:

$$P_o = 10 \cdot 140 \cdot 0,866^{1,2} \cdot 0,25^{0,65} \cdot 1,0 = 478 H$$

Потужність різання при зенкуванні фаски визначаємо по формулі:

$$N_e = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750}, \quad (3.10)$$

де n - частота обертання зенківки, визначаємо по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D},$$

Визначаємо частоту обертання зенкера:

$$n = \frac{1000 \cdot 52,7}{3,14 \cdot 27,732} = 604 \text{ хв}^{-1},$$

із стандартного ряду для $\phi = 1,26$ приймаємо $n_{um} = 500 \text{ хв}^{-1}$

Тоді потужність різання:

$$N_e = \frac{8,5 \cdot 500}{9750} = 0,45 \text{ кВт}$$

3.6. Нормування операції по зняттю фаски в шестерні

Розрахунок t_{um} для операції по обробці фаски на верстаті автоматі проводимо по наступній формулі:

$$t_{um} = t_o + t_{don} + t_{tex.ob} + t_{opz.ob} + t_{nep}. \quad (3.11)$$

де t_o – основний час обробки по формулі:

$$t_o = \frac{L_{px}}{n_{um} \cdot s} \quad (3.12)$$

L_{px} – довжина робочого ходу,

$$L_{px} = l_1 + l_2 + l_3, \quad (3.13)$$

l_1 – довжина обробки, $l_1 = 0,5 \text{ мм}$;

l_2 – величина врізання, $l_2 = 2,5 \text{ мм}$;

l_3 – величина перебігу інструменту, $l_3 = 0$ при зенкуванні.

$$L_{px} = 0,5 + 2,5 + 0 = 3,0 \text{ мм, тоді:}$$

$$t_i = \frac{3,0}{500 \cdot 0,15} = 0,04$$

$t_{\text{тех.об}}$, $t_{\text{орг.об}}$ – час технічного і організаційного обслуговування [23], береться в відсотках від t_o :

$$t_{\text{тех.об}} = 4\% \cdot t_o = 0,04 \cdot 0,04 = 0,0016 \text{ хв};$$

$$t_{\text{орг.об}} = 3,6\% \cdot t_o = 0,036 \cdot 0,04 = 0,0014 \text{ хв.}$$

$t_{\text{пер}}$ – час на перерви [23], береться в відсотках від t_o :

$$t_{\text{пер}} = 7\% \cdot t_o = 0,07 \cdot 0,04 = 0,0028 \text{ хв.}$$

$t_{\text{дон}}$ – допоміжний час, який не перекривається основним визначаємо по наступній формулі:

$$t_{\text{дон}} = t_{\text{дон1}} + t_{\text{дон2}} + t_{\text{дон3}} + t_{\text{дон4}} \quad (3.14)$$

де $t_{\text{дон1}}$ – час на установку та зняття деталі [23], $t_{\text{дон1}} = 0,034 \text{ хв}$;

$t_{\text{дон2}}$ – час на підвід та відвід ріжучого інструмент [23], $t_{\text{дон2}} = 0,04 \text{ хв}$;

$t_{\text{дон3}}$ – час на управління верстатом [23], $t_{\text{дон3}} = 0,0002 \text{ хв}$;

$t_{\text{дон4}}$ – час на проведення контрольних промірів, для автоматів $t_{\text{дон4}} = 0$;

$$t_{\text{дон}} = 0,034 + 0,04 + 0,0002 = 0,0742 \text{ хв}$$

Знаходимо: t_{um}

$$t_{um} = 0,04 + 0,0742 + 0,0016 + 0,0014 + 0,0002 = 0,12 \text{ хв.}$$

4. РОЗРОБКА КОМПОНОВКИ ВЕРСТАТА АВТОМАТА ТА РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ

4.1. Розрахунок головки одношпindelної

4.1.1. Вибір електродвигуна і кінематичний розрахунок

Для визначення приблизного значення ККД всього приводу приймемо орієнтовно: ККД пари зубчастих коліс головки одношпindelної $\eta_1=0,97$, ККД пари підшипників $\eta_2=0,99$ і ККД клинопасової передачі $\eta_3=0,96$.

Загальний ККД приводу:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \cdot \eta_3 = 0,97 \cdot 0,99^2 \cdot 0,96 = 0,912$$

Визначаємо потужність електродвигуна по формулі:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta} \quad (4.1)$$

де: N_e – ефективна потужність, яка затрачується на різання, $N_e=0,45 \text{ кВт}$.

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,45}{0,912} = 0,5 \text{ кВт}$$

Загальне передаточне число механізму:

$$i = i_3 \cdot i_{\text{к.п}} = 2 \cdot 1,5 = 3$$

де i_3 – передаточне число зубчастої передачі прийняте попередньо: $i_3=2$;

$i_{\text{к.п}}$ - передаточне число клинопасової передачі прийняте попередньо: $i_{\text{к.п}}=1,5$.

По каталогу вибираємо електродвигун, потужність вибраного двигуна повинна бути не менша ніж отримана по розрахунку.

Приймаємо електродвигун типу 4АМХС90L, для якого $N_{\text{дв}}=1,7 \text{ кВт}$ та $n_{\text{дв}}=1500 \text{ хв}^{-1}$.

Кутові швидкості валів приводу: ведучого вала: $n_{\text{дв}}=1500 \text{ хв}^{-1}$;

відомого вала: $n_1 = \frac{n_1}{i_{\text{к.п}}} = \frac{1500}{1,5} = 1000 \text{ хв}^{-1}$;

вала шпинделя: $n_2 = \frac{1000}{2} = 500 \text{ хв}^{-1}$.

Потужності на валах: відомого вал: $N_1 = N_{\text{дв}} \cdot \eta_3 \cdot \eta_2 = 1,7 \cdot 0,96 \cdot 0,99 = 1,615 \text{ кВт}$;

вал шпинделя: $N_2 = N_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 1,615 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 1,551 \text{ кВт};$

4.1.2. Розрахунок клинопасової передачі

Розрахуємо клинопасову передачу до приводу головки одношпиндельної.

Потужність ведучого шківів:

$$N_{дв} = 1,7 \text{ кВт}$$

Визначаємо кутову швидкість ведучого шківів

$$\omega_1 = \frac{\pi n}{30} \quad (4.2)$$

де n - частота обертання ведучого шківів:

$$n_1 = 1500 \text{ об}^{-1}$$

$$\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с}$$

Визначаємо кутову швидкість веденого шківів

де n_2 - частота обертання веденого шківів

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{к.п.}}$$

де $U_{к.п.}$ - передаточне відношення клинопасової передачі:

$$i_{к.п.} = 1,5$$

$$n_2 = \frac{1500}{1,5} = 1000 \text{ об}^{-1}$$

$$\omega_2 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 105 \text{ рад/с}$$

Передаточне відношення уточнюємо за формулою:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

де- ω_1 і ω_2 - кутові швидкості ведучого і веденого шківів:

$$i = \frac{157}{105} = 1,5$$

Для передачі заданої потужності в клинопасових передачах використовують паси типів 0, А, Б [4]. Вибираємо діаметр ведучого шківів для кожного типу пасу [4]. При цьому не допускається вибирати мінімально

допустимі діаметри, так як суттєво зменшується довговічність пасів і ККД передачі. Розмір паса вибирають так щоб швидкість паса була не нижчою 5 м/с. Після вибору діаметра шківів визначаємо відповідні швидкості паса по формулі:

$$v = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000} \quad (4.3)$$

Для типу паса 0 $D_1 = 100 \text{ мм}$

$$v = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 1500}{60 \cdot 1000} = 7,85 \text{ м/с}$$

Для типу паса А $D_1 = 140 \text{ мм}$

$$v = \frac{3,14 \cdot 140 \cdot 1500}{60 \cdot 1000} = 11 \text{ м/с}$$

Для типу паса Б $D_1 = 180 \text{ мм}$

$$v = \frac{3,14 \cdot 180 \cdot 1500}{60 \cdot 1000} = 14,13 \text{ м/с}$$

Так як при $N_{\text{дв}} = 1,7 \text{ кВт}$ паси типу Б при швидкості $v > 5 \text{ м/с}$ застосовувати не рекомендується, а з типів 0 і А перевагу надаємо типу А.

Діаметр меншого шківів по ГОСТ 1294-80

$$D_1 = 140 \text{ мм}$$

діаметр більшого шківів при відносній ковзанні паса $\xi = 0,02$ визначимо за формулою:

$$D_2 = i \cdot D_1 \cdot (1 - \xi)$$

де i - передаточне відношення клинопасової передачі;

D_1 - діаметр меншого шківів;

ξ - відносне ковзання паса.

$$D_2 = 1,5 \cdot 140 \cdot (1 - 0,02) = 205,8 \text{ мм}$$

Найближчий діаметр по ГОСТ 1294-80, $D_2 = 200 \text{ мм}$.

Визначимо відстань між центрами шківів:

$$a_0 = c \cdot D_2$$

де D_2 - діаметр більшого шківів,

c - чисельний коефіцієнт, який приймається в залежності від передаточного відношення, $c = 1$.

$$a_0 = 1 \cdot 200 = 200 \text{ мм}$$

Розрахункова довжина пасів визначається за формулою:

$$l = \frac{2a_0 + 1,57(D_2 + D_1) + (D_2 - D_1)^2}{4a_0} \quad (4.3)$$

де a_0 - відстань між центрами шківів;

D_2 і D_1 - діаметри більшого і меншого шківів.

$$l = \frac{2 \cdot 200 + 1,57(200 + 140) + (200 - 140)^2}{4 \cdot 200} = 938 \text{ мм}$$

По ГОСТ 1284-80 приймаємо пас переріза A з внутрішньою довжиною

$l_b = 1000$ мм, розрахункова довжина яких:

$$l = l_b + 33$$

$$l = 1000 + 33 = 1033 \text{ мм}$$

Умовна довжина цих пасків $l_0 = 1100$ мм

Дійсна міжвісьова відстань:

$$a = \frac{2l - \pi(D_2 + D_1) + \sqrt{[2l - \pi(D_2 + D_1)]^2 - 8(D_2 - D_1)^2}}{8}, \text{ мм} \quad (4.4)$$

де l - розрахункова довжина паса.

$$a = \frac{2 \cdot 1100 - 3,14(200 + 140) + \sqrt{[2 \cdot 1100 - 3,14(200 + 140)]^2 - 8(200 - 140)^2}}{8} = 232 \text{ мм}$$

Швидкість паса визначається за формулою:

$$V = \frac{\omega_1 \cdot d_1}{2}$$

де ω_1 - кутова швидкість ведучого шківів;

d_1 - діаметр меншого шківів.

$$V = \frac{157 \cdot 0,14}{2} = 10,99 \text{ м/с} \quad (4.5)$$

Кількість пасків із розрахунку передачі по тяговій здібності визначимо за формулою:

$$Z = \frac{N_1 \cdot R_g}{(N_o R_\alpha R_l R_z)} \quad (4.6)$$

де N_1 - потужність ведучого шківів;

R_g - коефіцієнт динамічного навантаження і режиму роботи, $R_g = 1,25$;

R_α - коефіцієнт який враховує кут обхвату, $R_\alpha = 0,94$

R_l - коефіцієнт який враховує довжину паса, $R_l = 0,95$;

R_z - коефіцієнт який враховує кількість пасів, $R_z = 0,85$;

N_0 - потужність, яку можна передати одним пасом при $\alpha = \pi = 180^\circ$, швидкості при $V = 10,99$ м/с і спокійному навантаженню [4].

$$N_0 = 1,17 \text{ кВт}$$

$$z = \frac{1,7 \cdot 1,25}{(1,17 \cdot 0,94 \cdot 0,95 \cdot 0,85)} = 2,4$$

Приймаємо кількість пасків $z=3$

Перевіримо паски на довговічність по частоті перебігів у секунду

$$n_n = \frac{V}{l} \leq [n_n] \quad (4.7)$$

де V - швидкість різання;

l - розрахункова довжина паса;

n_n - дійсна частота перебігів паса;

$[n_n]$ - допущена частота перебігів пасу;

$[n_n] \leq 10 \text{ с}^{-1}$ [4].

$$n_n = \frac{10,99}{1,1} = 9,99 \text{ с}^{-1}$$

Умова довговічності пасків виконується.

Визначимо розміри шківів (Рис. 4.1), припустив, що вони виготовлені із чавуна СЧ 12. Розміри поковок для шківів приймаємо: по ГОСТ 1284-68.

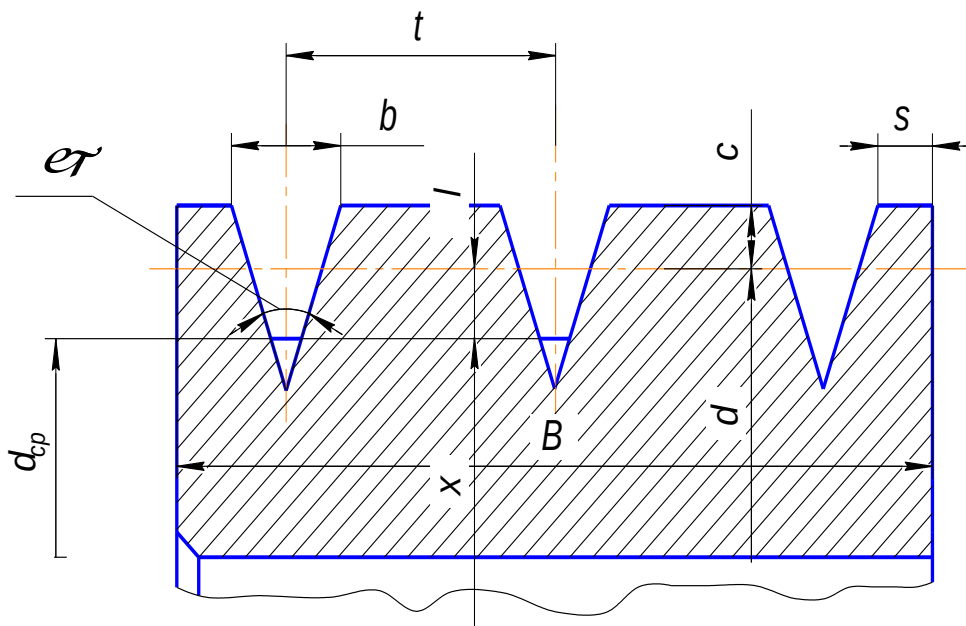


Рис. 4.1. Ескіз для визначення розмірів шківів

Для обох шківів:

$$c = 3,5 \text{ мм}$$

$$l = 12,5 \text{ мм}$$

$$t = 16 \text{ мм}$$

$$S = 10 \text{ мм}$$

Для меншого і більшого шківу:

$$\varphi_2 = 38^\circ$$

$$e_2 = 13,4 \text{ мм}$$

Визначимо зовнішній та внутрішній діаметри шківів:

$$D_{H1} = D_1 + 2C_1$$

$$D_{B1} = D_{H1} - 2l_1$$

$$D_{H1} = 140 + 2 \cdot 3,5 = 147 \text{ мм}$$

$$D_{B1} = 140 - 2 \cdot 12,5 = 115 \text{ мм}$$

Для більшого шківу:

$$D_{H2} = D_2 + 2C_2$$

$$D_{B2} = D_{H2} - 2l_2$$

$$D_{H2} = 200 + 2 \cdot 3,5 = 207 \text{ мм}$$

$$D_{B2} = 200 - 2 \cdot 12,5 = 175 \text{ мм}$$

Ширина ободків шківів:

$$B = (z - 1)t + 2S$$

$$\text{де } B = (3 - 1) \cdot 16 + 2 \cdot 10 = 52 \text{ мм}$$

Товщина ободків шківів: $K = 6 \text{ мм}$

Визначимо кількість спиць більшого шківу:

$$R_c = [1/6 \dots 1/7] \sqrt{D_2}$$

$$R_c = 1/6 \sqrt{200} = 3$$

Кількість спиць меншого шківу виходить менше трьох, тобто шків повинен бути виконаний з диском. Товщина диску 8 мм.

Визначимо внутрішній діаметр і довжину за формулою:

Для меншого шківу:

$$d'_{B1} = 2d_{B1}$$

де d_{B1} - діаметр ведучого валу.

$$d_{B1} = 20 \text{ мм}$$

$$d'_{B1} = 2 \cdot 20 = 40 \text{ мм}$$

$$l_{c1} = B/3 + d_{B1}$$

де B - ширина ободків

$$l_{c1} = 52/3 + 20 = 37 \text{ мм}$$

Для більшого шківу

$$d'_{B2} = 2d_{B2}$$

де d_{B2} – діаметр веденого валу: $d'_{B2} = 20 \text{ мм}$

$$d'_{B2} = 2 \cdot 20 = 40 \text{ мм}$$

$$l_{c2} = 52/3 + 20 = 37 \text{ мм}$$

Враховуючи, що $l_{c1} = l_{c2}$: приймаємо ведучий шків без ободків, тобто суцільним, а ведений шків з ободками.

4.1.3. Попередній розрахунок валів

Обертальні моменти, що виникають в поперечних перетинах валів визначаємо по формулі:

$$T_{el} = \frac{N_{el} \cdot 10^3}{\omega_{el}}, H \cdot m; \quad (4.8)$$

$$T_{el} = \frac{N_{el} \cdot 10^3}{\omega_{el}} = \frac{1,7 \cdot 10^3}{157} = 10,8 H \cdot m;$$

$$T_I = \frac{N_I \cdot 10^3}{\omega_I} = \frac{1,615 \cdot 10^3}{105} = 15,4 H \cdot m;$$

$$T_{II} = \frac{N_{II} \cdot 10^3}{\omega_{II}} = \frac{1,551 \cdot 10^3}{52,3} = 29,7 H \cdot m;$$

$$\text{де: } \omega_z = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52,3 \text{ рад/с}$$

Діаметри валів знаходимо за формулою:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{T_i \cdot 10^3}{0,2[\tau]}}, \quad (4.9)$$

де $[\tau_k] = 20 \dots 25 \text{ Н/мм}^2$, приймаємо $[\tau_k] = 25 \text{ Н/мм}^2$.

$$d_I = \sqrt[3]{\frac{T_I \cdot 10^3}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{15,4 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 25}} = 14,6 \text{ мм},$$

приймаємо $d_I = 30 \text{ мм}$.

$$d_H = \sqrt[3]{\frac{T_H \cdot 10^3}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{29,7 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 25}} = 18,1 \text{ мм},$$

приймаємо $d_H = 30 \text{ мм}$.

4.1.4. Розрахунок зубчастої передачі.

Вибір матеріалів для зубчастих коліс.

Для шестерні приймаємо сталь 40Х, термообробка – нормалізація; твердість HB 267, для колеса – сталь 45, термообробка – нормалізація, твердість HB 179.

Механічні характеристики матеріалів :

шестерні (рахуємо, що діаметр заготовки буде до 120 мм)

$$\sigma_s = 1000 \text{ МПа}, \sigma_m = 700 \text{ МПа};$$

колеса (діаметр заготовки буде в межах 190 – 420 мм)

$$\sigma_s = 700 \text{ МПа}, \sigma_m = 400 \text{ МПа}.$$

Границі витривалості при симетричному циклі згину обчислюємо по формулі:

$$\text{для матеріалу шестерні: } \sigma_{-1}' = 0,43 \cdot \sigma_s = 0,43 \cdot 1000 = 430 \text{ МПа},$$

$$\text{для матеріалу колеса : } \sigma_{-1}'' = 0,43 \cdot \sigma_s = 0,43 \cdot 700 = 301 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруження визначаємо виходячи із тривалості роботи передачі. При цьому число циклів навантаження зубців $N_u > 10^7$ і коефіцієнті режиму $h_{pk} = h_{p_{32}} = 1$.

$$\text{Допустиме контактне навантаження } [\sigma]_k = 28 \text{ HB} \cdot h_{pk}$$

$$\text{для шестерні } ([\sigma]_k)_{ш} = 2,8 \cdot 200 = 560 \text{ МПа},$$

$$\text{для колеса } ([\sigma]_k)_к = 2,8 \cdot 170 = 476 \text{ МПа}.$$

Допустиме навантаження згину при односторонній дії навантаження визначаємо за формулою :

$$[\sigma_0]_{32} = \frac{1,5 \cdot \sigma_{-1}}{[n] \cdot h_\sigma},$$

Для нормалізованих поковок приймаємо $[n] = 1,5$ для шестерні $h_\sigma' = 1,6$ і для колеса $h_\sigma'' = 1,5$, отримаємо:

$$\text{для шестерні : } [\sigma_0]'_{32} = \frac{1,5 \cdot 430}{1,5 \cdot 1,6} = 269 \text{ МПа},$$

$$\text{для колеса: } [\sigma_0]''_{32} = \frac{1,5 \cdot 301}{1,5 \cdot 1,5} = 201 \text{ МПа}$$

Визначаємо міжосьову відстань із умови контактної міцності по формулі:

$$A = (i_p + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1080}{[\sigma]_k}\right)^2 \cdot \frac{M_{пу}}{i_p \cdot \psi_A \cdot h_n}}, \quad (4.10)$$

Обертальний момент на валу шестерні: $M_{ш} = T_{II} = 15,4 H \cdot м$

Коефіцієнт ширини приймаємо $\psi_A = 0,3$;

коефіцієнт збільшення допустимого навантаження для прямозубих коліс із вибраного матеріалу $h_n = 1$ [16] після підстановки вибраних величин отримаємо:

$$A = (1,5 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1080}{4760}\right)^2 \cdot \frac{15,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,3 \cdot 1}} = 73 \text{ мм}.$$

Приймаємо $A = 84 \text{ мм}$.

Нормальний модуль зачеплення :

$$m = (0,01 \div 0,02) A = (0,01 \div 0,02) \cdot 84 = 0,84 \div 1,68 \text{ мм}.$$

У відповідності до ГОСТ 9563-60 приймаємо $m_n = 1 \text{ мм}$ [16].

Визначаємо сумарне число зубців

$$z_c = \frac{2A}{m_n} = \frac{2 \cdot 84}{1} = 168.$$

Число зубців шестерні : $z_{ш} = \frac{z_c}{i_3 + 1} = \frac{168}{2 + 1} = 56,$

Приймаємо $z_{ш} = 56$, тоді $z_k = z_c - z_{ш} = 168 - 56 = 112$.

Фактичне передатне число зубчастої передачі : $i_3 = 112/56 = 2$.

Основні розміри зубчастої пари.

Ділильні діаметри шестерні і колеса :

$$d_{g1} = m_n \cdot z_1 = 1 \cdot 56 = 56 \text{ мм},$$

$$d_{g2} = m_n \cdot z_2 = 1 \cdot 112 = 112 \text{ мм}.$$

Ділильні діаметри потрібно розраховувати до двох знаків після коми і перевіряти, щоб виконувалась умова : $\frac{d_{g1} + d_{g2}}{2} = A$.

В нашому випадку $\frac{56 + 112}{2} = 84 \text{ мм}$ – умова виконується.

Діаметр виступів: $D_{e1} = d_{g1} + 2 \cdot m_n = 56 + 2 \cdot 1 = 58 \text{ мм},$

$$D_{e2} = d_{g2} + 2 \cdot m_n = 112 + 2 \cdot 1 = 114 \text{ мм}.$$

Ширина зубчастого колеса: $B_2 = \psi_A \cdot A = 0,3 \cdot 84 = 25,2 \text{ мм},$

шестерні : $B_1 = B_2 = 25 \text{ мм}.$

Перевіряємо коефіцієнти ширини: $\psi_d = \frac{B_1}{d_{g1}} = \frac{25}{56} = 0,45$

Рекомендується $\frac{B_1}{d_{g1}} \leq 1,5$, тобто величина ψ_d не повинна перевищувати допустиму.

$\frac{2,5 \cdot m_n}{A} = \frac{2,5 \cdot 1}{84} = 0,0298 < \psi_A = 0,3$, тобто коефіцієнт вибрано в допустимих межах.

Колова швидкість коліс і степінь точності передач :

- колова швидкість:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{g1} \cdot n_1}{60} = \frac{3,4 \cdot 56 \cdot 1000}{60 \cdot 1000} = 2,9 \text{ м/с}$$

При даній швидкості згідно рекомендаціям , прийнятим [16], можна прийняти 9 – ту степінь точності, але для зменшення динамічного навантаження вибираємо 8 – му степінь точності.

Уточнюємо коефіцієнти навантаження : $K = K_{кц} \cdot K_{дин.}$

при $\frac{B_1}{d_{g1}} = \frac{25}{56} = 0,45$ і несиметричному розташуванні коліс відносно опор по [16] і формулі $K_{кц} = (1,4 + 1)/2 = 1,2$; $K_{дин} = 1,1$ при $v < 3 \text{ м/с}$

$$K = 1,2 \cdot 1,1 = 1,32.$$

Робочі контактні навантаження визначаємо за формулою. Передатне число $i=2$, розрахований обертальний момент на шестерні $M_{пу} = 15,4 \cdot 1,32 = 20,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Ширина колеса $B_2=25 \text{ мм}$, при цьому контактні навантаження будуть такими :

$$\sigma_e = \frac{10800}{A} \sqrt{\frac{\dot{I}_{\delta\delta} (3_{\delta} + 1)^3}{\hat{A} \cdot 3_{\zeta} \cdot h_n}} = \frac{10800}{84} \sqrt{\frac{20,33(2+1)^3}{25 \cdot 2 \cdot 1,35}} = 210 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma]_e = 476 \text{ Н/мм}^2 ,$$

по контактним навантаженням міцність забезпечена.

Сили, які діють в зачепленні:

- колове зусилля

$$P = \frac{2M_1}{d_{g1}} , \quad M_1 = M_{пу}$$

$$P = \frac{2 \cdot 20,33 \cdot 10^3}{56} = 726 \text{ Н}$$

радіальне зусилля

$$T = P \cdot \text{tg} \alpha = 726 \cdot 0,364 = 264 \text{ Н}$$

де: $\alpha=20^\circ$ - кут зачеплення.

Перевірка міцності зубців на згин :

$$\sigma_{\varphi a} = y \cdot \frac{D_y}{A \cdot m} . \quad (4.11)$$

а) фактичне число зубців: $z_{1\phi}=z_1=56$, $z_{2\phi}=z_2= 112$.

б) по [16] знаходимо коефіцієнти форми зуба $y_1=3,65$, $y_2= 3,6$.

в) порівняльна оцінка міцності на згин зубців шестерні і колеса :

$$y_1 \cdot [\sigma_o]_{\text{зг}}' = 0,462 \cdot 269 = 124 \text{ МПа} ,$$

$y_2 \cdot [\sigma_o]_{\text{зг}}' = 0,484 \cdot 201 = 97 \text{ МПа}$ (перевіряти на згин потрібно зубці колеса, так як їх міцність нижча, чим міцність зубців шестерні).

$$B = B1 = B2 = 25 \text{ мм} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Розрахункове окружне зусилля:

$$D_o = D \cdot \hat{E} = 726 \cdot 1 = 726 \text{ Н}$$

де K – коефіцієнт безпеки, враховує характер навантаження.

Робочі напруги вигину в небезпечному перетині зуба колеса:

$$\sigma_{\varphi a} = 3,6 \cdot \frac{726}{25 \cdot 1} = 105 \text{ МПа} \leq [\sigma_i]'' = 210 \text{ МПа} ,$$

умова виконується.

4.1.5. Уточнений розрахунок вала

Визначимо допустимі нормальні та дотичні напруження для імовірного небезпечного перетину вала. Приймаючи, що нормальні напруги змінюються по симетричному циклу, а дотичні – по пульсуючому.

Оскільки вал сильно навантажений, то вибираємо для нього сталь 45;

$$\sigma_{\sigma} = 600 \text{ МПа} ; \sigma_T = 300 \text{ МПа} ;$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot \sigma_{\sigma} = 0,43 \cdot 600 = 260 \text{ МПа}; \quad \tau_{-1} = 0,58 \cdot \sigma_{-1} = 0,58 \cdot 260 = 150 \text{ МПа}.$$

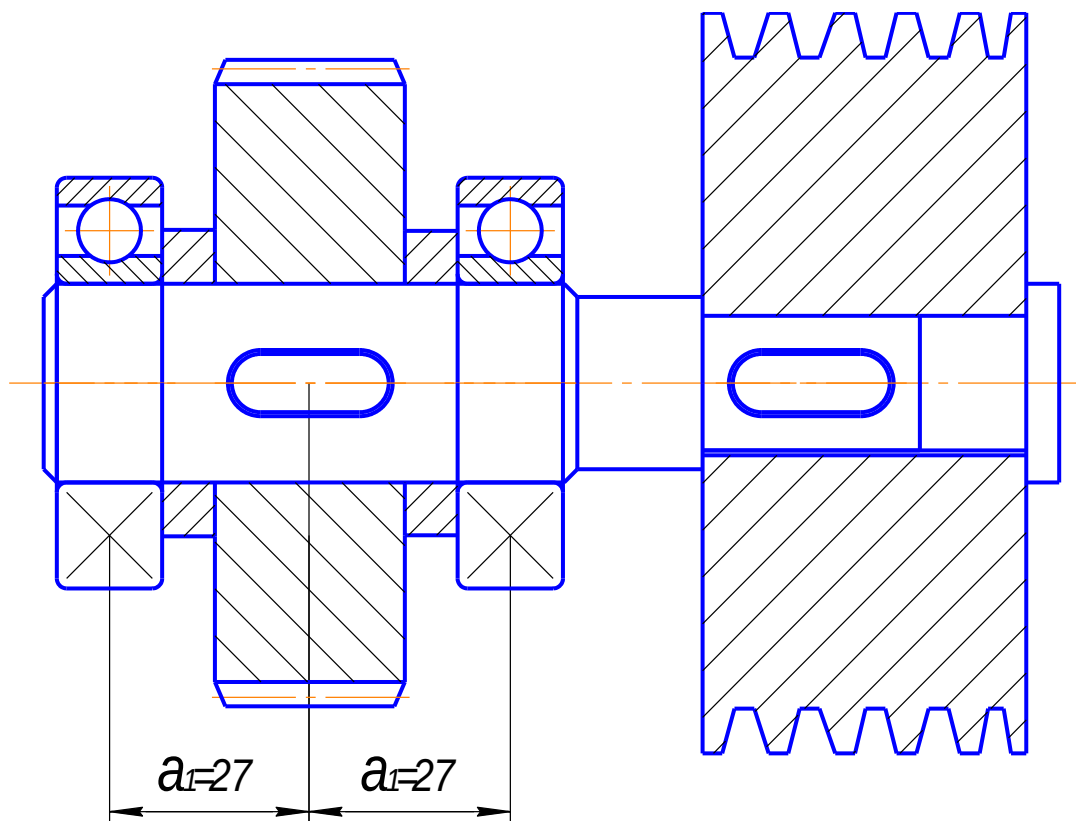


Рис. 4.2 Схема до розрахунку вала

Концентрація напруг обумовлені наявністю канавки шпони.

Згинаючі моменти:

$$M_x = R_{By} \cdot a_1 = 108 \cdot 27 = 2916 \text{ Нмм}$$

$$M_y = R_{Bx} \cdot a_1 = 296 \cdot 27 = 7992 \text{ Нмм}$$

де : R_{Bx} – реакція опори в горизонтальній площині;

R_{By} – реакція опори у вертикальній площині;

a_1 – відстань від опори до площини дії зусилля, $a_1 = 27 \text{ мм}$.

Результуючий згинаючий момент:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = \sqrt{2916^2 + 7992^2} = 8520 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

Моменти опору:

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot t \cdot (d - t)^2}{2 \cdot d} = \frac{3.14 \cdot 3^3}{32} - \frac{0.8 \cdot 0.4 \cdot (3 - 0.4)^2}{2 \cdot 3} = 2.65 - 0.36 = 2.29 \text{ см}^3 = 2290 \text{ мм}^3$$

де: d – діаметр вала під опорою, $d = 30 \text{ мм}$;

b – ширина шпоночної канавки;

t – глибина шпоночної канавки.

$$W_{\text{кнетто}} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot t \cdot (d-t)^2}{2 \cdot d} = \frac{3.14 \cdot 3^3}{16} - \frac{0.8 \cdot 0.4 \cdot (3-0.4)^2}{2 \cdot 3} = 5,3 - 0,36 = 4,94 \text{ см}^3 = 4940 \text{ мм}^3$$

Розмір $t = 4 \text{ мм}$; і $b = 8 \text{ мм}$ по [16] .

Амплітуда номінальних напруг вигину:

$$\sigma = \sigma_{\text{max}} = \frac{M}{W_{\text{кнетто}}} = \frac{85200}{2290} = 37,2 \text{ МПа}$$

Амплітуда і середнє значення циклу дотичних напруг:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{M_{K2}}{W_{\text{кнетто}}} = \frac{1 \cdot 16560}{2 \cdot 4940} = 16,8 \text{ МПа}$$

Розрахункові коефіцієнти [16]: [табл. 8.5 стр.171] [табл. 8.1 стр.167]

Коефіцієнти запасу міцності по нормальних і дотичних напругах:

$$n_{\tau} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{h_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m} = \frac{230}{\frac{1.45}{0.81} \cdot 37,2 + 0.2 \cdot 0} = 3,4$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{h_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} \tau_v + \psi_{\tau} \cdot \tau_m} = \frac{150}{\frac{1.5}{0.85} \cdot 16,8 + 0.1 \cdot 16,8} = 4,8$$

Загальний коефіцієнт запасу міцності :

$$n = \sqrt{\frac{n_{\sigma}^2 \cdot n_{\tau}^2}{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}} = \sqrt{\frac{3,4^2 \cdot 4,8^2}{3,4^2 + 4,8^2}} = 2,77$$

Коефіцієнт міцності повинен бути не меншим $[n] = 1,3$ [16]

4.1.6. Вибір підшипників

Ведучий вал: $a_1 = 27 \text{ мм}$; $P = 592 \text{ Н}$; $T = 216 \text{ Н}$.

Реакції опор:

- в площині XZ : $\sum m_B = R_{Ax} \cdot 2a_1 + P \cdot a_1$

$$R_{Ax} = R_{Bx} = \frac{P}{2a_1} = \frac{592}{2} = 296 \text{ Н}$$

- в площині YZ : $\sum m_B = R_{Ay} \cdot 2a_1 - T \cdot a_1$

$$R_{Ay} = \frac{T a_1}{2a_1} = \frac{T}{2} = \frac{216}{2} = 108 \text{ Н}$$

$$R_{Ax} = R_{Bx} = 108 \text{ Н}$$

Сумарні радіальні реакції :

$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} = \sqrt{296^2 + 108^2} = 320H$$

$$R_{\bar{A}} = \sqrt{R_{\bar{A}x}^2 + R_{\bar{A}y}^2} = \sqrt{296^2 + 108^2} = 320H.$$

Вибір типу підшипника залежить від його призначення, напрямлення та величини навантаження, кутової швидкості, режиму роботи, собівартості підшипника і особливостей монтажу.

Підшипник підбираємо для більш навантаженої опори. Так як вал не дуже навантажений (ліве опора - навантаження незначне, права опора більш навантажена), то вибираємо кульково-радіальні підшипники легкої серії для обох опор.

Вибір підшипника. За [25] діаметр вала під підшипник $d_1=30$ мм, вибираємо кульковий підшипник легкої серії 1000906, у якого динамічна вантажмо здатність $C=5950H$.

Розміри підшипника $d \times D \times B = 30 \times 47 \times 9$.

У відповідності з умовами роботи підшипника приймаємо: $K_k=1$ – обертається внутрішнє кільце, $K_\sigma=1,2$ – короточасні перевантаження до 125%,

$K_m=1$ – робоча температура підшипника не більше 60°C

Відсутність осьового навантаження вала: $R_a=0$, тоді $R_a / (K_k \cdot R_r) = 0$ для радіального шарикового підшипника приймаємо $X=1$ і $Y=0$.

Еквівалентне навантаження на підшипник правої опори:

$$R_E = X \cdot K_k \cdot R_{rB} \cdot K_\sigma \cdot K_m$$

$$(4.12)$$

$$R_E = 1 \cdot 1 \cdot 320 \cdot 1,2 \cdot 1 = 384H$$

Враховуючи рекомендації верстатобудування, для підшипників вузлів верстата бажана довговічність $[L_h]=40000$ годин.

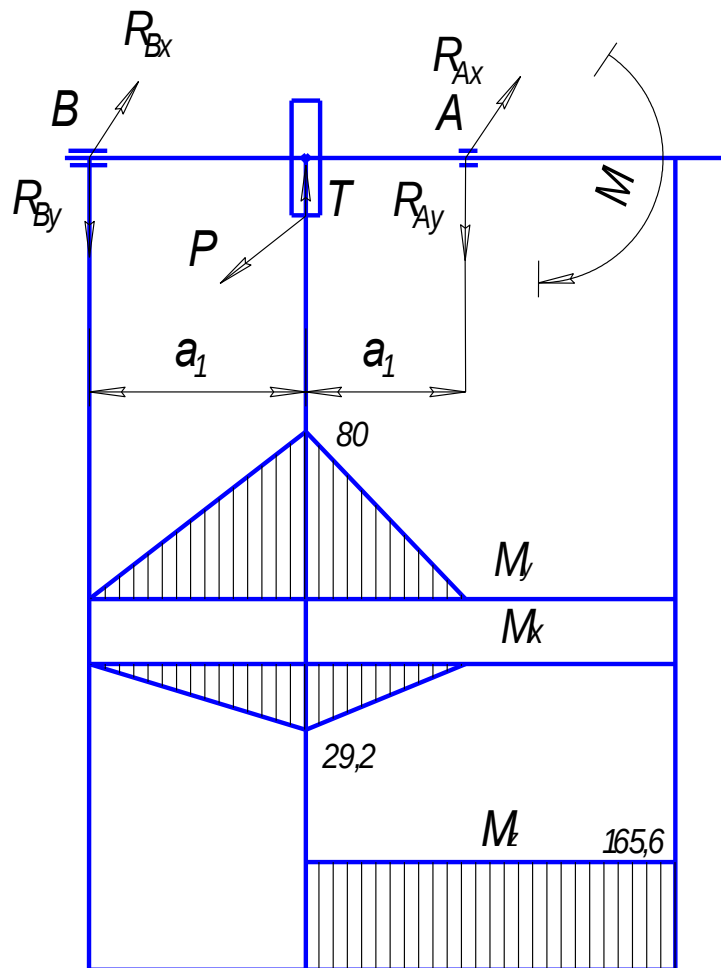


Рис. 4.3. Схема навантаження проміжного вала

Розрахункова довговічність найбільш навантаженого підшипника в годинах:

$$L_h = \frac{10^6}{572,4 \cdot \omega_2} \cdot \left(\frac{C}{R_E} \right)^3 \quad (4.13)$$

$$L_h = \frac{10^6}{572,4 \cdot 105} \cdot \left(\frac{5950}{384} \right)^3 = 61938 \text{ годин}$$

$L_h = 61938 > [L_h] = 40000 \text{ годин}$, тобто умова виконується. Зменшення габаритів підшипників і механізму головки не бажано, допустимий термін служби $h = 400000$ годин; при цьому зважаючи на тривалий термін служби, механізму головці, можливо буде потрібна заміна підшипників при капітальному ремонті.

4.1.7. Основні складові головки одношпіндельної

Головка одношпіндельна спроектована для верстата-автомата в якості привода головного руху і забезпечує обертання шпинделя разом із зенківкою з заданою швидкістю різання, а також призначена для передачі крутного моменту з його номінальним значенням $47,1 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Джерелом енергії в головці

одношпиндельний вибраний електродвигун 4АМХС90L. Головка двохступінчаста. Перша ступінь – клинопасова передача (шків поз.19, 14, див. креслення ДМСВ.111205.200 СБ). Друга ступінь – прямозуба зубчаста передача (зубчасті колеса 11, 18). Шпиндель 7 змонтований на опорах кочення. Передня опора комбінована і складається з двох підшипників: конічного роликового 7207 та радіально-упорного 8107. Задня опора менш навантажена і має один радіальний підшипник 206. Осьове биття шпинделя регулюється прокладкою 5. В конструкції силової головки передбачений механізм для натягування клинопасової передачі. Якщо необхідно підтягнути паси, дві гайки 39 відпускають та двома гайками 40 виставляють бажану натяжку ременів, після чого гайки 39 затягують. Небезпечну зону – клинопасову передачу закрито щитком 2.

4.2. Конструкція та розрахунок затискного пристрою

4.2.1. Розрахунок сили затиску та визначення діаметра циліндра
Розробляємо схему дії сил на одну деталь, що обробляється (рис. 4.4). При цьому враховуємо, що затискний пристрій одо позиційний, тобто на закріплення однієї заготовки потрібно створити зусилля W .

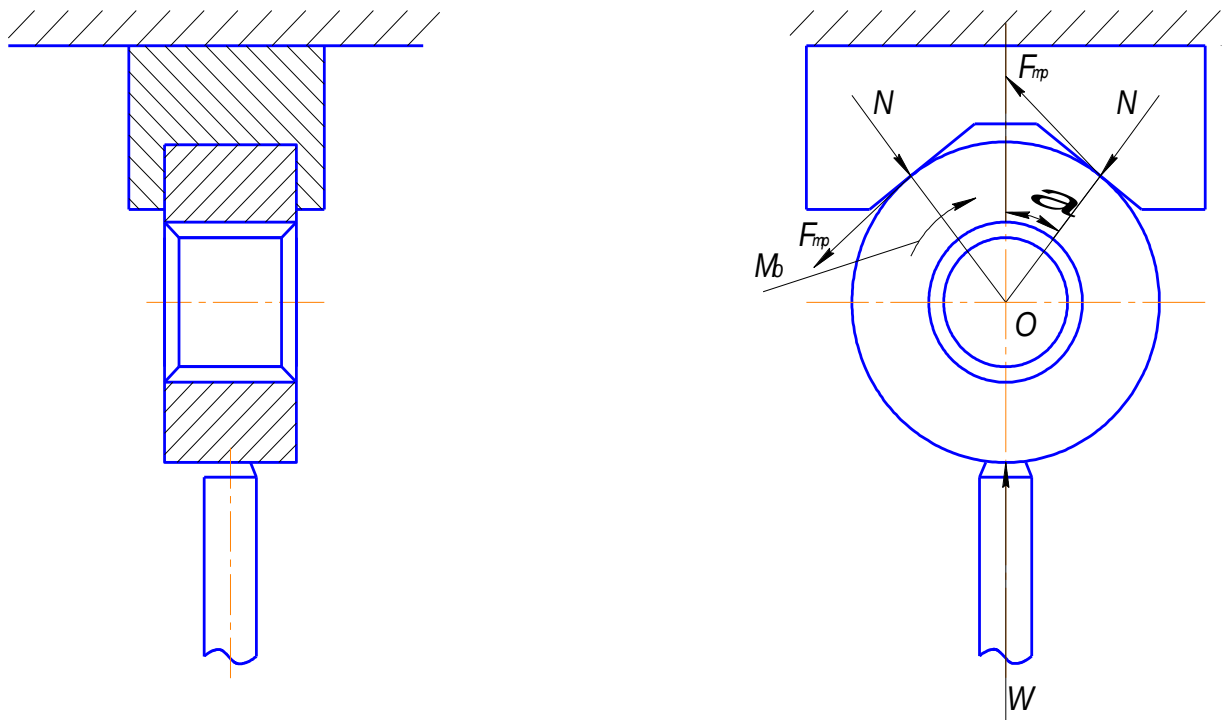


Рис. 4.4.Розрахункова схема до розрахунку затискного пристрою

Згідно розробленої схеми навантаження рівняння рівноваги однієї деталі:

$$\sum M_0 = 0; \quad (4.14)$$

$$2 \cdot F_{mp} \cdot r - M_0 = 0 \quad (4.15)$$

де: F_{mp} - сила тертя;

r – радіус зовнішньої поверхні заготовки, що обробляється, $r=3\text{ мм}$.

Сила тертя визначається по формулі:

$$F_{mp} = N \cdot f \quad (4.17)$$

де: N - реакція від дії зусилля затиску W ;

f – коефіцієнт тертя, для затискних пристроїв $f=(0,15-0,20)$.

Реакція від дії зусилля затиску W визначається по формулі:

$$N = \frac{W}{2 \cdot \cos \alpha} \quad (4.15)$$

де: W - зусилля затиску;

α – половина кута призми, $\alpha=45^\circ$.

Підставимо значення (4.14) і (4.15) в (4.13), тоді отримаємо:

$$\frac{W}{\cos \alpha} \cdot f - M_0 = 0, \text{ звідси зусилля затиску } W;$$

$$W = \frac{M_0 \cdot \cos \alpha \cdot k}{f} \quad (4.18)$$

де: k - коефіцієнт запасу для цековальної операції визначаємо по формулі:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (4.19)$$

де k_0 – коефіцієнт, який враховує неточність розрахунків, приймаємо $k_0=1,4$

k_1 – коефіцієнт, який враховує наявність випадкових нерівностей на поверхні заготовки, при чорновій обробці $k_1=1,2$

k_2 – коефіцієнт, який враховує затуплення ріжучого інструменту, $k_2=1,2$

k_3 – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання при переривистому різанні, $k_3=1,2$

k_4 – коефіцієнт, який характеризує затискні пристрої з точки зору постійності сил, які вони створюють, при ручному затиску $k_4=1,0$

k_5 – коефіцієнт, який характеризує зручність розташування рукояток в затискних пристроях, приймаємо $k_5=1,0$;

k_6 – коефіцієнт, який враховує наявність моментів, які можуть повернути заготовку, приймаємо $k_6=1,4$ (всі коефіцієнти, які впливають на коефіцієнт запасу вибрані по [3]).

$$k = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4 = 3,4$$

З другої сторони зусилля затиску створюється циліндром гідравлічним і його можна знайти за формулою:

$$W = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot i \cdot p \cdot \eta \quad (4.20)$$

де: D – діаметр циліндра, мм ;

i – передаточне відношення проміжних механізмів,

$$i = 1,0;$$

p – тиск робочої рідини, $p=10$ МПа;

η – ККД, який враховує втрати в циліндрі, $\eta=0,9$.

Прирівнюємо вирази W із формул (4.18) і (4.18), отримуємо формулу для визначення діаметра циліндра D :

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot M_o \cdot \cos \alpha \cdot k}{\pi \cdot f \cdot i \cdot p \cdot \eta}} \quad (4.21)$$

де: $M_o=M_{кр}=8,5$ Н·м – обертальний момент при зенкуванні, визначений в розділі 3.5.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,5 \cdot 10^3 \cdot \cos 45^\circ \cdot 3,4}{3,14 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 0,9}} = 120,2 \text{ мм},$$

Приймаємо з стандартного ряду $D=120$ мм.

Зусилля затиску:

$$W = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot i \cdot p \cdot \eta = \frac{3,14 \cdot 120^2}{4} \cdot 1 \cdot 10 \cdot 0,9 = 10178,7 \text{ Н}$$

4.2.2. Принцип роботи затискного пристрою

Затискний пристрій (див. креслення ДСМВ.111205.100 СБ) універсальний і має в своїй конструкції три циліндра, які виконують різні роботи, а їх гідравлічні пристосування об'єднані в одну гідравлічну плиту. Один гідравлічний циліндр призначений для створення зусилля затиску заготовки. Заготовка базується в призмі 20 і прижимається штовхачем 21. Другий гідравлічний циліндр призначений для створення руху подачі заготовки. Штовхач 30 діє на упор 29 з плитою 35, яка по напрямним здійснює переміщення відносно корпусу 36. І третій гідравлічний циліндр призначений для переміщення заготовки з місця орієнтації штовхачем 119 на місце її базування. Штовхач підпружинений пружиною 27, яка призначена для швидкого його повернення в початкове положення. Перший циліндр має діаметр 120 мм, робочий хід 17 мм; другий циліндр діаметр 60 мм, робочий хід 40 мм, третій циліндр діаметр 5мм, а робочий хід 330 мм.

4.3. Загальна характеристика та принцип дії завантажувального пристрою

4.3.1. Загальна характеристика завантажувального пристрою

Операції процесу обробки виробів на верстатах-автоматах незалежно від їх функціонального призначення, рівня автоматизації і виду техпроцесу можна розділити на такі елементарні операції чи прийоми (переходи):

- орієнтація заготовки в просторі і часі;
- подача заготовки на першу робочу позицію машини;
- базування заготовки на робочій позиції відносно технологічних баз;
- закріплення заготовки на робочій позиції;
- обробка – трансформація заготовки у напівфабрикат;
- переміщення заготовки на наступну робочу позицію;
- обробка – трансформація напівфабрикату в деталь чи виріб;
- розкріплення обробленої заготовки;
- видалення обробленої заготовки (деталі чи виробу) з робочої позиції верстата-автомата;
- подача (переміщення) обробленої заготовки у технологічну чи транспортну тару, на транспортер тощо.

Такі прийоми, як орієнтація заготовки, її подача на робочу позицію верстата-автомата, базування і закріплення, називають узагальненою операцією вводу об'єкта обробки в технологічну (робочу) машину. Під завантаженням розуміють частину цієї операції – орієнтацію і подачу заготовки на робочу позицію. Прийоми розкріплення обробленої заготовки, її видалення з робочої позиції, подачу (переміщення) обробленої заготовки у тару чи на транспортер називають узагальненою операцією виводу об'єкта обробки з верстата-автомата. Частину цієї операції, що стосується видалення заготовки з робочої позиції і переміщення її у тару чи на транспортер, називають розвантаженням.

Умовно прийнято під терміном «завантаження» розглядати комплекс операцій, що стосуються як процесів завантаження, так і розвантаження.

У простій неавтоматизованій машині механізовані тільки операції обробки – трансформації заготовки у напівфабрикат і напівфабрикату у деталь чи виріб. У напівавтоматі деякі прийоми, наприклад, орієнтація та подача заготовки на робочу позицію верстата, виконуються вручну оператором, решта прийомів – автоматично. У верстатах-автоматах автоматизовані всі прийоми операції процесу обробки.

Автоматизація завантаження у загальному комплексі проблем створення верстатів-автоматів є однією із найскладніших. Це пояснюється різноманітністю конфігурації та розмірів заготовок. Можливість і доцільність створення автоматичних завантажувальних пристроїв визначає і можливість розробки верстатів-автоматів, оскільки відсутність завантажувальних пристроїв обумовлює необхідність введення ручної операції установки заготовки на робочу позицію верстата.

4.3.2. Будова та принцип дії завантажувального пристрою.

Спроектований завантажувальний пристрій автомата для обробки фасок в центральному отворі шестерень має зварний П-подібний корпус 1, який кріпиться до живильника 2 болтами 27 (див. креслення ДСМВ.111205.300 СБ). В живильник заготовки попадають з лотка, максимальна ємність якого 52 штуки. В П-подібнім корпусі на двох підвісках, верхній 4 та нижній 5, розміщено гідро циліндр. Верхня підвіска кріпиться в приварених проушинах до корпусу з допомогою осі. Нижня підвіска з'єднує шток з відсікачем також віссю. Обидві вісі фіксують своє

положення при допомозі штифтів. Відсікач кріпиться до напрямних 13 віссю 14, навколо якої за допомогою гідроциліндра може здійснювати коливальні зворотно-обертальні рухи на заданий кут. Цими рухами відсікач здійснює відлік заготовок, які подаються в затискний пристрій. Відлік заготовок здійснюється автоматично згідно циклограми роботи верстата-автомата. Принцип дії завантажувального пристрою наступний: шток-поршень знаходить у верхньому крайньому положенні – заготовки в живильнику знаходяться в стані спокою, в затискному пристрої знаходиться заготовка, в якій зенкують фаску. Після закінчення обробки заготовка штовхачем витісняється із затискного пристрою і падає по лотку в тару. Реле тиску РД1 дає команду на повтор циклу. При цьому шток-поршень переміщується вниз, мастило подається в без штокову порожнину гідро циліндра. Відсікач 6 під дією зусилля, яке надає йому шток, починає повертатися навколо осі 14, входячи в напрямні 13 та Г-подібним кінцем відсікає заготовку, шток-поршень займає крайнє нижнє положення. Заготовка потрапляє в затискний пристрій, спрацьовує кінцевий перемикач і шток-поршень робить зворотній рух. Цикл роботи для завантажувального пристрою закінчується.

Зусилля відсіку заготовок мізерні, тому гідро циліндр не розраховуємо, а вибираємо його конструктивно з діаметром $d=30$ мм та довжиною робочого ходу 38 мм. В завантажувальному пристрої є кінцевий вимикач ВКЧ, який контролює наявність заготовок в живильнику, якщо вони закінчились, то повторного циклу не буде.

4.4. Гідросистема верстата автомата

На схемі гідравлічній принциповій показано будову гідросистеми, яка складається зі станції МОР і плити гідравлічної. Гідросистема включає в себе:

- розподільник Р1, Р2, Р3, Р4;
- реле тиску РД1, РД2, РД3;
- гідравлічний дросель Д;
- гідравлічний клапан зворотній КО;
- гідравлічний клапан тиску КП;
- гідравлічні циліндри :

- Ц1 – циліндр подачі інструменту;
- Ц2 – циліндр затиску;
- Ц3 – циліндр подачі заготовок;
- Ц4 – циліндр завантаження;
- ємкість для масла Б1;
- насос;
- два фільтри Ф1, Ф2;
- манометр МН.

Для зручності і компактної компоновки гідравлічні пристосування такі як:

- розподільник Р1, Р2, Р3, Р4;
- реле тиску РД1, РД2, РД3;
- гідравлічний дросель Д;
- гідравлічний клапан зворотній КО;
- гідравлічний клапан тиску КП;

були вмонтовані в плиту гідравлічну.

Опис принципової гідравлічної схеми.

В ємкість для масла ми заливаємо масло індустріальне 20 ГОСТ 20799-75, що передає енергію від насоса, змащує поверхні тертя всередині гідравлічних агрегатів і апаратів, відводить теплоту від джерела його виділення.

По всмоктувальній магістралі масло нагнітається через розподільник Р1 до циліндра затиску Ц2 і паралельно до циліндра подачі інструмента Ц1, циліндра подачі заготовок Ц3 і циліндра завантаження Ц4, через відповідні розподілювачі Р2, Р3, Р4.

Робота циліндра Ц1, який відповідає за робочий хід шпиндельної головки, регулюється її переміщення гідро дроселем Д.

Із бака Б по всмоктувальному трубопроводу насос Н засмоктує рідину і нагнітає її по напірному трубопроводу в розподільник Р1. В залежності від положення його плунжера розподільник направляє рідину або в одну із виконуючих магістралей циліндра Ц2 або в зливну магістраль або виконуючі магістралі циліндра:

- Ц1, - циліндр подачі інструмента;

- Ц3, - циліндр подачі заготовок;
- Ц4. - циліндр завантаження.

Коли рідина потрапляє в магістраль гідроциліндра Ц2 під дією тиску рідини поршень переміщується вздовж циліндра, витісняючи із штокової порожнини рідину, яка через розподільвач Р1 по зливній магістралі поступає в бак Б. в кінці кожного ходу поршня плунжер золотника розподільвача переставляється в інше крайнє положення, чим змінюється напрямлення руху рідини в гідроциліндрі на протилежній, а відповідно і напрямлення руху поршня зі штоком. Так відбувається затиск і розтискання деталі.

Зі збільшенням навантаження на шток і опору гідросистеми тиск нагнітання збільшується. Для його зменшення до напірної магістралі прикріплений гідравлічний клапан тиску КП, який при перенавантаженні відкривається і переводить робочу рідину на злив в бак Б. Затяжкою регулюючої пружини запобіжного клапана регулюється тиск його спрацювання $2,5 \text{ МПа}$.

Розрахуємо діаметри гідролізній.

Вихідні дані:

Насос НШ15

$Q_n = 22,5 \text{ л/хв}$ - подача насоса;

$P = 14 \text{ МПа}$ - номінальний тиск на виході із насоса;

$D_1 = 60 \text{ мм}$ - діаметр циліндра подачі інструмента Ц1;

$D_2 = 120 \text{ мм}$ - діаметр циліндра затиску Ц2;

$D_3 = 50 \text{ мм}$ - діаметр циліндра подачі заготовок Ц3;

$D_4 = 30 \text{ мм}$ - діаметр циліндра завантаження Ц4;

Визначимо подачу рідини на другий гідроциліндр.

$$Q_{y2} = V_n \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \quad (4.22)$$

де $V_n = 7,5 \dots 11,5 \text{ м/с}$ - номінальна швидкість переміщення поршня циліндра, яку ми приймаємо $9,5 \text{ м/с}$.

$D_2 = 120 \text{ мм}$ - діаметр поршня.

$$Q_{y2} = 9,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} \cdot 10^{-3} = 0,107 \cdot 10^{-3} (\text{м}^3 / \text{с}) = 0,107 (\text{л} / \text{с}) = 6,42 \text{ л/хв}.$$

Так як перший, третій і четвертий гідро циліндри з'єднані послідовно то і подачу на них ми розраховуємо як суму подач на всі три циліндри.

Тобто:

$$Q_{y1,3,4} = \sum_1^3 Q_{y1} + Q_{y3} + Q_{y4} \quad (4.23)$$

Q_{y1}, Q_{y3}, Q_{y4} - подачі на відповідні гідроциліндри, м³/с.

Але так як:

$$Q_{y1,3,4} + Q_{y2} = Q_n \quad (4.24)$$

де Q_n - подача насоса м³/с.

$$Q_{y1,3,4} = Q_{y2} + Q_n \quad (4.25)$$

$$Q_{y1,3,4} = 22,5 - 6,42 = 16,08 \text{ л / хв}$$

Всмоктувальна гідро лінія:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q_n}{V_\partial}}; \quad (4.26)$$

де Q_n - подача насоса, м³/с;

$V_\partial = 1,2 \dots 1,5$ - допустима швидкість рідини, яку приймаємо 1,4 м/с,

$$d_{в.з.л} = 1,13 \sqrt{\frac{0,375 \cdot 10^{-3}}{1,4}} = 0,018 \text{ м};$$

Приймаємо стандартне значення $d_{ст} = 0,020 \text{ м}$.

Напірна гідравлічна лінія, яка підводиться до Ц2:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{y2}}{V_\partial}} \quad (4.27)$$

де Q_{y2} - подача на другий гідроциліндр, м³/с;

$V_\partial = 5,3 \text{ м/с}$ - допустима швидкість рідини.

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,107 \cdot 10^{-3}}{5,3}} = 0,005 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення $d_{ст} = 0,006 \text{ м}$.

Напірна гідро лінія яка підводиться до Ц1, Ц3, Ц4:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{y1,3,4}}{V_{\partial}}} \quad (4.28)$$

де $Q_{y1,3,4}$ - подача на другий гідроциліндр, $м^3/с$;

$V_{\partial} = 5,3 м/с$ - допустима швидкість рідини.

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,268 \cdot 10^{-3}}{5,3}} = 0,008 м$$

Приймаємо стандартне значення $d_{cm} = 0,008 м$.

Зливна гідро лінія:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q_n}{V_{\partial}}} \quad (4.29)$$

де Q_n - подача насоса, $м^3/с$;

$V_{\partial} = 1,4...2$ - допустима швидкість рідини, яку приймаємо $2 м/с$,

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,375 \cdot 10^{-3}}{2}} = 0,015 м$$

Приймаємо стандартне значення $d_{cm} = 0,016 м$.

По вибраному діаметру трубопроводу визначаємо дійсну швидкість руху рідини, $м/с$.

$$V = \frac{Q_n}{0,785 \cdot d_{cm}^2} \quad (4.30)$$

Для всмоктувальної гідравлічної лінії:

$$V = \frac{0,375 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,020^2} = 1,19 м/с$$

Для напірної гідро лінії яка підводиться до Ц2:

$$V = \frac{0,107 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,006^2} = 3,79 м/с$$

Для напірної гідро лінії яка підводиться до Ц1, Ц3, Ц4:

$$V = \frac{0,268 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,008^2} = 5,33 м/с$$

Для зливної гідро лінії:

$$V = \frac{0,375 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,016^2} = 1,87 \text{ м/с}$$

Визначаємо товщину стінок кожного гідроциліндра:

$$\delta = \frac{P_n \cdot D_{\text{ц}}}{2 \cdot [\sigma]} \cdot k \quad (4.31)$$

де P_n - номінальний тиск на виході насоса, МПа;

$D_{\text{ц}}$ - діаметр циліндра, мм;

$[\sigma] = 450 \text{ МПа}$ - допустиме напруження на розтяг труби, для сталевих труб $[\sigma] = 400 \dots 500 \text{ МПа}$.

k - коефіцієнт запасу точності, $k = 3$.

Для Ц1

$$\delta_1 = \frac{14 \cdot 60}{2 \cdot 450} \cdot 3 = 2,8 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення $\delta_{1\text{ст}} = 2,8 \text{ мм}$.

Для Ц2

$$\delta_2 = \frac{14 \cdot 120}{2 \cdot 450} \cdot 3 = 1,6 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення $\delta_{2\text{ст}} = 1,6 \text{ мм}$.

Для Ц3

$$\delta_3 = \frac{14 \cdot 50}{2 \cdot 450} \cdot 3 = 2,3 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення $\delta_{3\text{ст}} = 2,5 \text{ мм}$

Для Ц4

$$\delta_4 = \frac{14 \cdot 50}{2 \cdot 450} \cdot 3 = 2,3 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення $\delta_{4\text{ст}} = 2,5 \text{ мм}$

Розрахуємо потрібну ємкість бака гідростанції:

$$W = 2 \cdot Q_n = 2 \cdot 22,5 = 45 \text{ л}$$

Але конструктивно приймаємо $W = 85 \text{ л}$.

Розраховуємо сумарну площу тепло випромінюючих поверхонь гідроприводу, м²:

$$F \approx 0,14 \cdot \sqrt[3]{W^2} = 0,14 \cdot \sqrt[3]{85^2} = 2,7 \text{ м}^2$$

де W - ємкість баку, л.

4.5. Розробка технічної характеристики верстата автомата

Електродвигун шпиндельної головки:

Тип	– 4AMXC9L
Потужність, кВт	– 1,7
Частота обертання, с^{-1} (хв. $^{-1}$.)	– 24,9 (1500)
Частота обертання Інструменту, с^{-1} (хв. $^{-1}$.)	– 8,3 (500)
Гідростанція:	
Електродвигун	– 4A80B4Y3
Потужність, кВт	– 1,5
Частота обертання, с^{-1} (хв. $^{-1}$.)	– 25 (1500)
Насос НШ – 15 :	
Робочий тиск, МПа (кг/см^2)	– 2,5 (25)
Об'єм бака, л	– 85
Станція МОР	
Електронасос	– 4X22М(ПА-22)
Об'єм бака, л	– 70
Номінальна потужність, кВт	– 0,12
Встановлена потужність автомата, кВт	– 3,32
Об'єм завантажувального пристрою, шт.	– 52
Продуктивність, шт./год.	– 500
Діапазон регулювання подач, мм/об	– 0...0,25
Габаритні розміри: мм , LXBXH	1480X 2750X1900

4.6. Підготовка верстата автомата до роботи

В бак станції ЗОР залити мастильну охолоджуючу рідину. В бак гідростанції залити масло промислове А20 ГОСТ 20799 – 75 . Рівень масла в баці виставити по двом масло показникам. Запобіжний клапан вивернути проти годинникової стрілки до упору. Поставити перемикач режиму роботи в

положення "Наладка". Почергово увімкнути електронасос, оберти двигуна шпіндельної головки, увімкнути гідравліку. Провести встановлення всіх кінцевих вимикачів. В вихідному положенні циліндрів Ц1 і Ц3, вимикачі ВК1 і ВК3 повинні бути натиснуті. Запобіжним клапаном збільшити тиск до 2,5 МПа. При цьому повинне спрацювати реле тиску РД1.

4.7. Принцип роботи верстата автомата

Автомат працює в двох режимах: налагоджувальний і автоматичний.

Робота в налагоджувальному режимі.

Помістити одну заготовку в завантажувальному пристрої перед упорами. Перемикач режиму роботи встановити в положення "Наладка". Натиснути кнопку "Гідростанція" включив всю гідравліку автомата. Натиснути кнопку "Насос" забезпечивши подачу ЗОР в зону обробки.

Натиснути кнопку "обертання інструменту" забезпечивши обертання інструменту "Зенкера" в шпіндельній головці. Кнопкою "Вихідне положення деталі" включається електромагніт МИС – 3100Е. Деталь займає вихідне положення, кнопку відпустити, тим самим вимкнути електромагніт.

Тумблером "Подача" забезпечується переміщення штока циліндру затиску в ту чи іншу сторону.

Тумблером "Подача інструменту" забезпечується переміщення шпіндельної головки в ту чи іншу сторону.

Робочій хід шпіндельної головки регулює ця жорстким упором, швидкість переміщення регулюється дроселем Д.

Робота в автоматичному режимі.

Завантажувальний пристрій повністю завантажити заготовками. Перемикач режиму роботи встановити в положення "Автомат". Натиснути кнопку "Вихідне положення деталі" яка включає електромагніт МИС – 3100Е і деталь подається у вихідне положення, після чого кнопку "Вихідне положення деталі" відпустити.

Натиснути кнопку "Гідростанція" яка включає всю гідравліку; потім натиснути кнопку "Насос" забезпечивши подачу МОР в зону обробки; потім натиснути кнопку "обертання інструменту" забезпечивши обертання інструменту в шпіндельній головці.

Натиснути кнопку "Цикл" при натисканні цієї кнопки включається

електромагніт розподільника РЗ. масло потрапляє в без штокову порожнину циліндра подачі заготовок (ЦЗ) і за допомогою штоку і підпружиненого штовхача заготовка подається в зону обробки. Коли заготовка дійде до упору, спрацьовує реле тиску РТЗ яке дає команду на включення електромагніту розподільника Р1. Масло потрапляє в без штокову порожнину циліндра Ц2 заготовка затискається. Коли пройде повний затиск, спрацьовує реле тиску РТ2, яке одночасно дає команду на відключення електромагніту розподільника РЗ. Масло потрапляє в штокову порожнину циліндра ЦЗ, шток циліндра повертається у вихідне положення; а також масло потрапляє в без штокову порожнину циліндра подачі інструменту Ц1.

Інструмент (зенківка) подається в зону різання і проводиться обробка заготовки (фаска $2,6 \times 60^\circ$). При підході до зони різання наїзник інструменту натискає на кінцевий вимикач ВК1, котрий подає команду на включення реле часу доробки. По закінченні встановленого часу, реле часу відключає електромагніту розподільника Р2. Виконується відвід шпиндельної головки. Наїзник, що знаходиться на головці, натискає на кінцевий вимикач ВК2 який дає команду на електромагніт розподільника Р1. І виконується відтиск деталі. Деталь падає по лотку в тару. Реле тиску РТ1 дає команду на повтор циклу.

Коли шток циліндру повертається ЦЗ повертається у вихідне положення, на своєму шляху він натискає на кінцевий вимикач ВК3, який дає команду на включення електромагніт МИС – 3100Е, при цьому наступна заготовка стає у вихідне положення.

В автоматі є кінцевий вимикач ВК4, який призначений для контролю наявності заготовок в завантажувальному пристрої. Якщо деталі в завантажувальному пристрої закінчились, цикл не повториться.

4.8. Технічне обслуговування верстата автомата.

1. В період експлуатації автомата передбачається щоденний технічний огляд, витерти й змастити направляючі в шпиндельній головці.

2. Необхідно щоденно чистити бак ЗОР, щоденно чистити стружку – збірник.

3. Щомісячно виконувати, змащування підшипників головки

одношпindelьної.

4. Перший раз заміну масла в баці гідростанції через місяць, в подальшому проводити заміну раз в пів року.

5. Заготовки перед завантаженням мають бути без стружки.

Розділ 5

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТА ДЛЯ ЗНЯТТЯ ФАСОК В ОТВОРАХ МАТОЧИН ДЕТАЛЕЙ

5.1. Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність нової конструкції необхідно обрати базу, яку приймають за основу для виявлення техніко-економічних переваг запропонованого конструкторського рішення і визначення економічного ефекту впровадження спроектованої конструкції у виробництво.

В якості бази для порівняння приймаємо два верстата мод. 2С125, що в нинішній час використовуються для зняття фасок з обох боків деталі.

Впровадження розробленого в даному дипломному проекті автомату дозволить підвищити продуктивність обробки за рахунок послідовного виконання вищеназваних операцій на одному верстаті, розширити можливості використання автомата, застосовуючи його для зняття фасок деталей різних найменувань, та зекономити чисельність операторів.

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

Таблиця 5.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники базових та нового верстатів

№ п/ п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма випуску деталей різних найменувань	шт./рік	650000	650000
2.	Штучний час обробки	хв.	0,28	0,12
4.	Площа, яку займає верстат	м ²	1,85	4,5
5.	Встановлена потужність електродвигунів	кВт	2,2	3,3
6.	Категорія ремонтної складності механічної/електричної частин	УРО	6,5/2	8/5,5
7.	Розряд роботи: верстатника	розряд	3	3
8.	Оптова ціна верстата	грн.	369100	—

5.2. Конструкторська підготовка виробництва

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

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

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

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

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

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

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

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

8) Всі отримані результати зводимо до табл. 5.2

Таблиця 5.2

Результати розрахунку трудомісткості та витрат конструкторської підготовки виробництва

№ п.п	Показники та етапи робіт	Одиниця	Технічне завдання	Технічна пропозиція	Ескізний проект	Технічний проект	Робочий проект	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Група новизни	гр.	II					II
2.	Група складності	гр.	II					II
3.	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 2×16 4×2 145×1 9×0,5 4×7 458×0,15 7×0,5	2×10 2×23 4×4 145×1 9×0,2 4×3,5 458×0,15 7×0,15	
4.	Кількість умовних деталей	шт.				299,7	312,55	
5.	Норма на умовну деталь	нормо-год				3,0	3,5	
6.	Трудомісткість виконання етапу робіт	нормо-год	35	280	280	899,1	1012,93	

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.	Середньогодинна заробітна плата конструктора	грн./год.	113,25	102,66	97,54	98,79	90,86	
8.	Зарплата основна (Z_o)	грн.	3963,75	28744,80	27311,2	88822,09	92034,82	240876,66
9.	Зарплата додаткова (Z_d): 10% від Z_o	грн.	396,38	2874,48	2731,12	8882,21	9203,48	24087,67
10.	Єдиний соціальний внесок: 22% від ($Z_o + Z_d$)	грн.	959,23	6956,24	6609,31	21494,95	22272,43	58292,15
11.	Витрати на відрядження: 5% від Z_o	грн.	198,19	1437,24	1365,56	4441,10	4601,74	12043,83
12.	Накладні витрати: 45% від Z_o	грн.	1783,69	12935,16	12290,0	39969,94	41415,67	108394,50
13.	Всього вартість проекту $B_{пк}$	грн.	7301,23	52947,92	50307,2	163610,3	169528,14	443695,0

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.

Таблиця 5.3

Витрати на технологічну підготовку виробництва

№ п.п	Показники та етапи робіт	Кількість	Кількість нормо-годин на одиницю	Загальна кількість нормо-годин	Середньогодинна зарплата, грн/год	Заробітна плата основна З _о , грн	Заробітна плата основна З _д , грн, 10% від З _о	Відрахування на соціальні потреби, грн 22% від (З _о + З _д)	Накладні витрати, грн, 55% від З _о	Сумарні витрати, грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Технологічний контроль креслень, їх відладка, розмноження, нормо- годин			27,5	105,64	2905,10	290,51	703,03	1597,81	5496,45
2.	Розробка техпроцесів виготовлення деталей:									
	а) загальна кількість деталей, шт	158		1593,5		155557,6	15555,8	37644,93	85556,65	294314,88
	б) в т.ч по групах технологічної складності:									
	I	53	4,5	238,5	83,93	20017,31				
	II	70	9	630	83,93	52875,90				
	III	22	17	374	106,23	39730,02				
	IV	13	27	351	122,32	42934,32				

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3.	Розробка техпроцесів складання вузлів:									
	а) загальна кількість вузлів, шт.	6		78,7		8070,34	807,03	1953,02	4438,69	15269,09
	б) в т.ч. по групах технологічної складності:									
	II	2	5,6	11,2	83,93	940,02				
	III	1	12,5	12,5	83,93	1049,13				
	IV	1	14,9	14,9	101,66	1514,73				
	V	1	17,8	17,8	109,05	1941,09				
	VI	1	22,3	22,3	117,73	2625,38				
4.	Проектування спеціального оснащення та нестандартні засобів механізації та автоматизації, нормо-год			105,4	122,32	12892,53	1289,25	3119,99	8380,14	25681,92
5.	Виготовлення спеціального оснащення та нестандартні засобів механізації та автоматизації, нормо-год			84,1	83,93	7058,51	705,85	1708,16	8823,14	18295,67
6.	Утримання цехів в період підготовки виробництва, н-год			48	101,66	4879,68	487,97	1986,03	6099,60	13453,28
7.	Інші витрати, нормо-год			44,8	83,93	3760,06	376,01	909,94	2068,04	7114,04
8.	Всього вартість проекту $B_{\text{пр}}$			1982,0		195123,8	19512,4	48025,10	116964,1	379625,0

5.4. Визначення повної собівартості та оптової ціни проектного верстата

Після визначення трудомісткості виготовлення проектного верстату розраховуємо:

а) основну заробітну плату виробничих робітників:

$$З_{\text{ор}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{рі}} \cdot T_i, \quad (1)$$

де n – кількість i -тих видів робіт;

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

Так, основна заробітна плата виробничих робітників на ливарних роботах:

$$З_{\text{ор}} = 45,0 \cdot 102,716 = 4622,22 \text{ грн.}$$

б) витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_o = \sum_{i=1}^n З_{\text{орі}} \cdot \frac{\Pi_{\text{ррі}}}{100}, \quad (2)$$

де $\Pi_{\text{ррі}}$ – 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:

$$B_o = 4622,22 \cdot \frac{230}{100} = 10631,11 \text{ грн.}$$

в) цехові витрати:

$$B_{\text{цех}} = \sum_{i=1}^n З_{\text{орі}} \cdot \frac{\Pi_{\text{црі}}}{100}, \quad (3)$$

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

Для ливарних робіт:

$$B_{\text{цех}} = 4622,22 \cdot \frac{142}{100} = 6563,55 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки даних статей на інших роботах, результати заносимо до табл. 4.

Таблиця 5.4

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

Види робіт	Трудомісткість робіт н-год	Середній розряд	Середньогодинна тарифна ставка робітників, грн./год	Основна заробітна плата робітників $Z_{ор}$, грн.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, B_o , грн.		Загальноцехові витрати $K_{цех}$, грн.	
					%	грн.	%	грн.
Ливарні	45,0	3	102,716	4622,22	230	10631,11	142	6563,55
Ковальсько- штампувальні	26,1	3	92,754	2420,88	310	7504,73	223	5398,56
Зварювально- заготівельні	14,7	4	106,770	1569,52	245	3845,32	132	2071,77
Механічні	585,6	4	92,015	53884,0	322	173506,4	232	125010,8
Термічні	68,7	3	102,716	7056,59	285	20111,28	250	17641,47
Гальванічні	16,8	3	92,754	1558,27	280	4363,15	150	2337,40
Слюсарсько- складальні	653,0	4	92,015	60085,8	210	126180,2	142	85321,83
Електро- та гідро- роботи	17,3	4	92,015	1591,86	215	3422,50	132	2101,25
Фарбувальні	5,0	2	72,922	364,61	110	401,07	120	437,53
Пакувальні	12,8	2	67,486	863,82	110	950,20	120	1036,58
Інші	18	3	82,810	1490,58	220	3279,28	140	2086,81
Всього	1463,0	-	-	135508,1	-	354195,2	-	250007,61

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

$$C_{\text{вир}} = M_o + M_d + \Pi_n + B_n + T_v - B_{zv} + E_{\text{тех}} + \Pi_{\text{тех}} + \\ + Z_{ор} + Z_{др} + B_{cc} + Z_{цп} + K_{цех} + K_{зав} + B_{ин}, \quad (4)$$

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

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

Розрахунок витрат на основні матеріали та покупні напівфабрикати зведено до табл. 5.

$T_{\text{в}}$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$B_{\text{н}}$ – напівфабрикати власного виробництва, грн.;

$B_{\text{зв}}$ – зворотні відходи, які реалізуються (віднімаються), грн.;

$E_{\text{тех}}, P_{\text{тех}}$ – енергія та паливо на технологічні цілі, грн.;

$З_{\text{др}}$ – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

$B_{\text{с}}$ – єдиний соціальний внесок, грн.;

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

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

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

Таблиця 5.5

Склад матеріальних витрат на верстат

№ п/п	Матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби	Оди- ниця	Витрати (шт., кг)	Ціна, грн.	Витрати на виріб, грн.
1	2	3	4	5	6
Основні матеріали					
1	Сталь 45	кг	614,8	37,60	9283,48
2	Сталь 3	кг	846,2	39,00	11567,55
3	Чавун СЧ20	кг	140	50,00	2520,00
4	Труби катані	м	1,1	235,29	103,94
5	Бронза	кг	1,8	220,00	255,60
6	Дріт звичайний	кг	0,6	24,00	5,78
7	Латунний прокат	кг	1,9	228,00	266,00
8	Інші основні матеріали				599,51
	Всього				64820,21
Покупні напівфабрикати					
1	Піддон	шт.	1	3088,0	1240,00
3	Електронасос	шт.	1	1420,0	420,00
4	Електродвигун 1,7 кВт	шт.	1	4283,0	1720,00
5	Електродвигун 1,5 кВт	шт.	1	3785,0	1520,00
6	Гідродвигун Г15-22	шт.	1	4480,0	1780,00
7	Електрообладнання				5478,00
9	Інші покупні				6972,00
	Всього	—	—		29506,00

Розрахунок собівартості зводимо до табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Собівартість виготовлення верстату та його оптова ціна

№ п.п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн.
1.	Матеріали основні	M_o	табл. 5	64820,21
2.	Матеріали допоміжні	M_d	4% від M_o	2592,81
3.	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств	Π_n	табл. 5	29506,00
4.	Зворотні відходи	$-B_{зв}$	6% від M_o	3889,21
5.	Транспортно-заготівельні витрати	T_v	5,0% від $(M_o + M_d + \Pi_n)$	3876,76
6.	Паливо та енергія на технологічні цілі	$\Pi_{тех}, E_{тех}$	59,8% від $З_{ор}$	81033,86
7.	Всього матеріальні витрати			177940,42
8.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{ор}$	табл. 4	135508,12
9.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{ор}$	13550,81
10.	Єдиний соціальний внесок	B_c	22,0% від $(З_{ор} + З_{др})$	32792,97
11.	Відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення	$З_{уп}$	12,3% від $З_{ор}$	16531,99
12.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	табл. 4	354195,23
13.	Цехові витрати	$K_{цех}$	табл. 4	250007,61
14.	Загальнозаводські витрати	$K_{зав}$	221% від $З_{ор}$	299472,95
15.	Інші виробничі витрати	$B_{ін}$	3,4% від $З_{ор}$	4607,28
16.	Виробнича собівартість	$C_{вир}$	$\Sigma(7 \div 15)$	1284607,38
17.	Позавиробничі витрати	$K_{пв}$	1% від $C_{вир}$	12846,07
18.	Повна собівартість	$C_{пов}$	$C_{вир} + K_{пв}$	1297458,33
19.	Прибуток	Π_n	20% від $C_{пов}$	259491,67
20.	Оптова ціна верстату	$C_{опт}$	$C_{пов} + \Pi_n$	1556950,0

Оптову ціну верстата розраховуємо за формулою:

$$C_{опт} = C_{пов} + \Pi_n, \quad (5)$$

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_{\text{н}} = \frac{P_{\text{с}} \cdot C_{\text{пов}}}{100}, \quad (6)$$

де $P_{\text{с}}$ – встановлений рівень рентабельності виробу, %.

$$\Pi_{\text{н}} = \frac{20 \cdot 1297458,33}{100} = 259491,67 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{опт}} = 1297458,33 + 259491,67 = 1556950,0 \text{ грн.}$$

5.5. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки), які припадають на одиницю продукції в базовому та проектному варіантах

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_{\text{е}} = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (8)$$

де B_3 – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування основних робітників, грн.;

$B_{\text{е}}$ – витрати на силову електроенергію, грн.;

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

$B_{\text{р}}$ – витрати на ремонт обладнання, грн.;

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

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

$B_{\text{а}}$ – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

$B_{\text{ір}}$ – витрати на універсальний ріжучий інструмент, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та єдиний соціальний внесок:

$$B_3 = C_{\text{г}} \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot (1 + K_{\text{д}}) \cdot (1 + K_{\text{с}}), \quad (9)$$

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

$K_{\text{д}}, K_{\text{с}}$ – коефіцієнти додаткової зарплати та єдиного соціального внеску відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_{3\text{б}} = 85,813 \cdot \frac{0,28}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 0,5823 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$B_{\text{эл}} = 82,813 \cdot \frac{0,12}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) = 0,2498 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_{\text{с}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot K_{\text{о}} \cdot K_{\text{Н}} \cdot K_{\text{д}}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{с}}} \cdot \frac{T_{\text{шт}}}{60} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (10)$$

де $N_{\text{в}}$ – встановлена потужність електродвигунів верстата, кВт;

$K_{\text{о}}$ – коефіцієнт одночасної роботи моторів (приймають 0,65...0,8);

$K_{\text{Н}}$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю ($K_{\text{Н}} = 0,7$);

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом (приймають 0,4);

$\eta_{\text{с}}$ – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів – 0,86;

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства – 0,92;

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

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{2,2 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,4}{0,86 \cdot 0,92} \cdot \frac{0,28}{60} \cdot 18,10 = 0,0432 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{3,3 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,4}{0,86 \cdot 0,92} \cdot \frac{0,12}{60} \cdot 18,10 = 0,0279 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мв}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{шт}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \quad (11)$$

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

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

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

$$B_{\text{дм}}^{\text{баз}} = \frac{78,5 \cdot 6,5 \cdot 0,28}{60} \cdot 1,1 = 0,0237 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{78,5 \cdot 8 \cdot 0,12}{60} \cdot 1,1 = 0,0127 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_{\text{р}} = \frac{R_{\text{м}} \cdot \Gamma_{\text{вм}} + R_{\text{е}} \cdot \Gamma_{\text{вс}}}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (12)$$

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 великосерійного виробництва – 3950 год).

$$B_{\text{р}}^{\text{баз}} = \frac{6,5 \cdot 980 + 2 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{0,28}{60} = 0,0093 \text{ грн.}$$

$$P_{\text{р}}^{\text{пр}} = \frac{8 \cdot 980 + 5,5 \cdot 750}{3950} \cdot \frac{0,12}{60} = 0,0061 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщення:

$$B_{\text{уп}} = \frac{F_{\text{о}} \cdot K_{\text{д}} \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (13)$$

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.

$$B_{\text{уп}}^{\text{баз}} = \frac{1,85 \cdot 4,0 \cdot 0,28}{3950 \cdot 60} \cdot 520 = 0,0045 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{уп}}^{\text{пр}} = \frac{4,5 \cdot 3,0 \cdot 520 \cdot 0,12}{3950 \cdot 60} = 0,0035 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію верстата:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (14)$$

де H_a – норма амортизації, %;

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

Балансову вартість верстатів знайдемо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (15)$$

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:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{баз}} = 369100 \cdot (1 + 0,06 + 0,05 + 0,05) = 428156 \text{ грн.},$$

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} = 1556950 \cdot (1 + 0,06 + 0,05 + 0,05) = 1806062 \text{ грн.}$$

$$B_a^{\text{баз}} = \frac{428156 \cdot 0,28 \cdot 20}{3950 \cdot 60 \cdot 100} = 0,1012 \text{ грн.},$$

$$B_a^{\text{пр}} = \frac{1806062 \cdot 20 \cdot 0,12}{3950 \cdot 60 \cdot 100} = 0,1829 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію універсального різучого інструменту:

$$B_{ip} = \frac{(S_u + p \cdot S_{\text{пер}}) \cdot \gamma \cdot T_{\text{нор}}}{t_e (p + 1)} K_{\text{вт}}, \quad (16)$$

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

p – кількість переточок різучого інструменту до повного зносу;

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

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

t_e – економічна стійкість інструменту, хв.;

K_{em} – коефіцієнт обліку втрат інструменту.

$$B_{ip}^{баз} = \frac{(335,1 + 20 \cdot 22,4) \cdot 0,7 \cdot 0,28}{280(20 + 1)} \cdot 1,01 = 0,0298 \text{ грн.}$$

$$B_{ip}^{баз} = \frac{(619,1 + 20 \cdot 45,72) \cdot 0,7 \cdot 0,12}{280(20 + 1)} \cdot 1,01 = 0,0241 \text{ грн.}$$

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 соціальні фонди	B_z	0,5823	0,2498
2.	Силовa електроенергія	$B_{ел}$	0,0432	0,0279
3.	Допоміжні матеріали	$B_{дм}$	0,0237	0,0127
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,0093	0,0061
5.	Утримання приміщення	$B_{уп}$	0,0045	0,0035
6.	Амортизація обладнання	B_a	0,1012	0,1829
7.	Універсальний ріжучий інструмент	B_{ip}	0,0298	0,0241
Загальна сума		B_e	0,794	0,507

5.6. Розрахунок показників економічної ефективності

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

$$E_{pv} = (C_{опт}^{пр} - C_{пов}^{пр}) \cdot П_v - E_n \cdot K_v, \quad (17)$$

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

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

$П_v$ – програма виробництва верстатів, шт./рік;

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

K_v – додаткові капітальні витрати у виробника, грн.

$$K_e = B_{\text{пк}} + B_{\text{т}}, \quad (18)$$

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

$$K_e = 443695 + 379625 = 823320 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{рв}} = (1556950 - 1297458) \cdot 1 - 0,16 \cdot 823320 = 127800 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект у споживача розрахуємо за формулою:

$$E_{\text{рсп}} = (B_{\text{е}}^{\text{баз}} - B_{\text{е}}^{\text{пр}}) \cdot N_{\text{д}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{сп}}, \quad (19)$$

де $P_{\text{е}}^{\text{баз}}, P_{\text{е}}^{\text{пр}}$ – 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.

$$K_{\text{сп}} = \Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}} - \Phi_{\text{бал}}^{\text{баз}} \cdot Q_{\text{баз}}, \quad (20)$$

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

$Q_{\text{пр}}, Q_{\text{баз}}$ – потреба відповідно у проектному та базовому верстатах, шт./рік.

$$Q = \frac{N_{\text{д}} \cdot T_{\text{нор}}}{F_{\text{орм}} \cdot 60 \cdot \kappa_{\text{вн}}} = \frac{650000 \cdot 0,12}{3980 \cdot 60 \cdot 1,06} = 0,31, \quad (21)$$

де $\kappa_{\text{вн}}$ – коефіцієнт виконання норм часу ($\kappa_{\text{вн}}=1,01-1,1$).

$$K_{\text{сп}} = 1806062 \cdot 1 - 428156 \cdot 2 = 949750 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{рсп}} = (0,794 - 0,507) \cdot 650000 - 0,16 \cdot 949750 = 34590 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень у виробника

$$T_{окв} = \frac{K_6}{(C_{опт}^{пр} - C_{пов}^{пр}) \cdot \Pi_B} = \frac{823320}{(1556950 - 1297456) \cdot 1} = 3,1 \text{ роки}, \quad (22)$$

Строк окупності додаткових капітальних витрат у споживача:

$$T_{оксп} = \frac{K_{сп}}{(B_e^6 - B_e^{np}) \cdot N_0} = \frac{949750}{(0,794 - 0,507) \cdot 650000} = 5,1 \text{ роки} \quad (23)$$

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	Оди- ниця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1	2	3	4	5	6
1.	Потреба у верстатах	шт./рік	2	1	-50,0
2.	Річний випуск виробів	шт./рік	650000	650000	—
3.	Штучний час обробки виробу	хв.	0,28	0,12	-57,1
4.	Балансова вартість верстатів	грн.	856312	1806062	+110,9
5.	Оптова ціна верстата без ПДВ	грн.	—	1556950	—
6.	Повна собівартість верстата	грн.	—	1297458	—
7.	Собівартість одиниці обробки із застосуванням об'єкта	грн.	0,794	0,507	-36,1
8.	Капітальні витрати на конструкторську та технологічну підготовку виробництва	грн.	—	823320	—
9.	Додаткові капітальні витрати:				
	а) у виробника	грн.	—	823320	—
	б) у споживача	грн.	—	949750	—
10.	Строк окупності додаткових капітальних витрат				
	а) у виробника	років	—	3,1	—
	б) у споживача	років	—	5,1	—
11.	Річний економічний ефект:				
	а) у виробника	грн.	—	127800	—
	б) у споживача	грн.	—	34590	—

Загальні висновки

Проведено аналітичний огляд загальних положень і вибір напрямку роботи при проектуванні верстата автомата; виконано розрахунок режимів різання та виконано нормування по зняттю фаски в шестерні; досліджено чутливість верстата автомата до збуджень, які викликаються електродвигуном; досліджено інструмент для зняття двосторонніх фасок; розроблено спеціальні вузли верстата автомата та їх основні характеристики; розроблено загальний вид верстата автомата та його технічні характеристики; виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності використання верстата-автомата для зняття фасок.

Виконані всі необхідні організаційно-економічні розрахунки. При цьому розрахункова продуктивність верстата автомата складає 650000 дет./рік., річний економічний ефект від впровадження верстата автомата для обробки фаски в центральному отворі шестерні у виробництво складає: у виробника 127800 грн. і у споживача 34590 грн., окупляться додаткові капітальні вкладення у виробника за 3,1 роки, а у споживача за 5,1 роки, що дозволяє зробити висновок про економічну доцільність впровадження верстата автомата у виробництво.

Список використаних літературних джерел

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

- Львівського університету. Серія філос.-політолог. студії. - Львів: Видавничий дім «Гельветика», 2024. – Вип. 53. – С. 78-85.
8. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. 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. Федотьев // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук : КДУ, 2010. - Вип. 5 (64), ч. 1. - С. 94-99.
15. Надеин В.С. Повышение точности шевингования облегающими шеверами / В.С. Надеин, М.Г. Сторчак, А.В. Кривошея, С.Н. Заика, Д.В. Грынъ // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы механического привода. - Харьков : НТУ "ХПИ". - 2012. - № 35. - С. 106-112.
16. Щербина К. Динамічний аналіз кульково-клинового хону в зоні малих переміщень / Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка С., Масляніков В. // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2024. - №3 (337). - С.250-254.
17. Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка А., Масляніков В. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.493-499.
18. Економічні розрахунки організаційно-планові розрахунки при розробці нових виробів. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – 36 с.
19. Планування діяльності підприємства. Методичні вказівки з використання сітьових методів в плануванні діяльності підприємства. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 30 с.