

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра інженерної механіки та технології машинобудування

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри ІМ та ТМ

д-р техн. наук, професор  М.Р. Ткач

«24» 12 2024 р.

Пояснювальна записка до магістерської роботи

на тему _ Удосконалення технології виготовлення лопаток компресорів ГТД (L = 102 мм)

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

Галузь знань	13 «Механічна інженерія»
Спеціальність	131 «Прикладна механіка»
Спеціалізація	«Технології машинобудування»

Студент групи 6261м


Шмаков Д.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник


Моргун С.О.
(прізвище та ініціали)

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування

імені адмірала Макарова

Інститут _____ Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра _____ Інженерної механіки та технології машинобудування
Освітній рівень _____ Магістр
Спеціальність _____ 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма _____ «Технології машинобудування»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІМ та ТМ
д.т.н., професор М.Р.ТКАЧ

“24” 10 2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Шмакова Дмитра Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи „Удосконалення технології виготовлення лопаток компресорів ГТД (L= 102 мм)”

керівник роботи к.т.н., доцент Моргун С.О.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “___” ___ 20__ р. № ___

2. Строк подання студентом роботи 2.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі; нормативна література; держстандарти; довідники

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Загальний розділ: Призначення та аналіз технологічності деталі.

2) Науковий розділ – Аналіз та дослідження з наукової теми роботи.

3) Технологічний розділ: Аналіз заводського техпроцесу. Вибір заготовки. Розробка маршрутної та операційної технології. Розрахунок припусків та режимів різання на одну з поверхонь деталі. Технічне нормування. Вибір обладнання, ріжучого та вимірювального інструменту.

4) Конструкторський розділ: Розрахунок і проектування спеціальних конструкцій пристроїв для верстатів та спеціального металорізального інструменту.

5) Проектування ділянки цеху – згідно методичних вказівок кафедри.

6) Організаційно-економічна частина – згідно методичних вказівок кафедри.

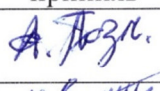
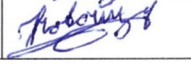
7,8) Охорона праці та навколишнього середовища – Розробка заходів з охорони праці та навколишнього середовища на

дільниці.

9) Цивільний захист – згідно методичних вказівок кафедри.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки, спеціального пристрою до металорізального верстату, спеціального металорізального або вимірювального інструменту, налагодження до однієї з технологічних операцій, планування дільниці цеху, плакати до наукової частини

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
7,8	Познанський А.С.		
Нормоконт роль	Новошицький А.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Підпис
1	Оформлення та затвердження технологічного процесу. Оформлення креслення деталі (роздруківка у форматі А3)	25.10.2024	
2	Оформлення загального та технологічного розділів (1, 3)	6.11.2024	
3	Оформлення конструкторського розділу (4)	11.11.2024	
4	Оформлення наукового розділу (2)	22.11.2024	
5	Оформлення розділу з охорони праці та навколишнього середовища (7,8)	25.11.2024	
6	Оформлення розділу з цивільного захисту (9)	29.11.2024	
7	Оформлення креслень	до 2.12.2024	
8	Нормоконтроль (креслення у форматі А3)	2-9.12.2024	
9	Затвердження МР на кафедральному перегляді (ПЗ, креслення у форматі А1)	6-14.12.2024	
10	Оформлення та передача електронного варіанту роботи(текстові та графічні матеріали у форматі PDF)	11-16.12.2024	
11	Затвердження МР зав.кафедрою (подання, анотація)	11-16.12.2024	
12	Рецензування	16-21.12.2024	

Студент
(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи
(підпис)

(прізвище та ініціали)

«24»

10

2024р.

АНОТАЦІЯ

Шмаков Д.А. «Удосконалення технології виготовлення лопаток компресорів ГТД (L = 102 мм)». Кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми «Технології машинобудування». Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова. 2024 рік. 140 сторінок.

У кваліфікаційній роботі досліджено теоретичні аспекти технологічного процесу виготовлення лопаткових вінців компресорів високого тиску та запропоновано напрями удосконалення технологій механічної обробки високонавантажених лопаток.

Запропонований технологічний процес механічної обробки робочих лопаток на основі використання автоматизованого технологічного оснащення та верстатів з ЧПК, що сприятиме зменшенню собівартості виготовленої продукції.

Ключові слова: робочі лопатки, технологічний процес, механічна обробка, автоматизоване оснащення, верстати з ЧПК.

ANNOTATION

Shmakov D.A. "Improvement of the compressor blade manufacturing technology (L = 102 mm)". Qualification work in the specialty 131 "Applied Mechanics", educational program "Technologies of Mechanical Engineering". Mykolaiv: Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 2024. 140 pages.

The qualification work investigates the theoretical aspects of the technological process of manufacturing progressive compressor blades of high pressure compressors and proposes directions for improving the technologies of mechanical processing of highly loaded compressor blades.

The technological process of mechanical processing of blades is proposed based on the use of automated technological equipment and CNC machines, which will contribute to reducing the cost of manufactured products.

Keywords: compressor blades, technological process, mechanical processing, automated equipment, CNC machines.

1. Вступ
 - 1.1. Призначення і особливості виготовлення робочих лопаток компресора.
 - 1.2. Технологічність конструкції лопаток компресорів ГТД.
 - 1.3. Основні елементи, особливості конструкції лопаток компресора і технічні умови на їх обробку.
2. Наукова частина
 - 2.1. Обробка замків робочих лопаток компресора
 - 2.2. Огляд різних засобів лезвійної обробки пера робочих лопаток компресорів.
 - 2.3. Опис еволюції обробки пера робочих лопаток компресорів з титанових стопів.
 - 2.4. Основні відомості теорії коливань і тонких пружних оболонок, необхідні для побудови резонансної діаграми робочих лопаток компресора.
 - 2.5. Вібраційна установка для віброполірування і віброзміцнення лопаток .
3. Технологічна частина
 - 3.1. Матеріали лопаток компресорів.
 - 3.2. Вибір заготовки
 - 3.3. Оброблюваність титанових стопів
 - 3.4. Розрахунок режимів різання
4. Конструкторська частина
 - 4.1. Опис роботи і розрахунок зусилля затиску в пристосуванні
 - 4.2. Розрахунок ріжучого інструменту
 - 4.3. Опис установки для контролю власної частоти коливань робочих лопаток компресора
5. Цивільна оборона
6. Охорона праці

					6261м.08.МР.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Охорона довкілля

8. Економічна частина

Перелік використаної літератури

Додатки

					6261м.08.МР.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 Призначення і особливості виготовлення робочих лопаток компресора.

У даній магістерській роботі розглядається можливість удосконалення технології відділочно - зміцнюючої обробки робочих лопаток компресорів ГТД, виготовлених з титанового стопу BT3-1.

Як відомо, компресором називається машина, призначена для перетворення механічної енергії двигуна в корисну потенційну і кінетичну енергію газу []

Лопатки осьового компресора поділяють на робочі (що обертаються разом з ротором компресора) і випрямляючі (напрямні), що є нерухомими і направляючими потік повітря, який утворюється обертанням ротора.

У кожному ступені компресора газу надається механічна енергія двигуна і відбувається її часткове перетворення в потенційну енергію тиску. Саме для виконання даної функції і призначені робочі лопатки компресора.

Тому виробництво лопаток газотурбінних двигунів в цілому і виробництво робочих лопаток компресорів, зокрема, займає особливе місце в сучасному машинобудуванні. Це також обумовлено наступними особливостями виготовлення лопаток.

1. Відповідальним призначенням лопаток в двигуні. Лопатки у вирішальній мірі визначають надійність і безвідмовність роботи газотурбінних двигунів. Ресурс роботи двигуна визначається, як правило, працездатністю лопаток. У зв'язку з цим, технологія виготовлення і контролю лопаток повинна забезпечувати стабільність якості їх виготовлення і виключати можливість установки в двигуні лопаток з відхиленнями по геометричних розмірах, якості поверхні, з металургійними і іншого роду дефектами.

2. Складністю геометричних форм і вимогами високої точності виготовлення лопаток. Про лопатки є лопаттю змінного перетину, обмеженою поверхнями складного контура і точно орієнтованою в

					6261м.08.МР.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

просторі по відношенню до замку. Точність виготовлення пера знаходиться в межах 0.05 – 0.10 мм. Замкову частину, за допомогою якої лопатки кріпляться до дисків, виготовляють з точністю 0.01 – 0.02 мм.

3. Великим числом лопаток, що виготовляються. Навіть при випуску дослідних зразків газотурбінних двигунів виготовлення лопаток носить серійний характер.

4. Вживанням дорогих і дефіцитних матеріалів і устаткування, надзвичайно складного оснащення для виготовлення лопаток. У зв'язку з цим технологічний процес виробництва лопаток повинен гарантувати мінімальні досяжні на даному устаткуванні похибки і, як наслідок, мінімальний відсоток браку.

5. Поганою оброблюваністю матеріалів, вживаних для виготовлення лопаток. Так робочі лопатки компресорів виготовляють з титанових стопів, що характеризуються украй низькою оброблюваністю.

Поєднання всіх п'яти вищезгаданих чинників і визначило специфічність виробництва лопаток

Виробництво лопаток удосконалюється в даний час. Магістральним напрямом є вживання п'ятикоординатних верстатів типу «оброблювальний центр» з ЧПК, що дозволяє втілити в життя принцип концентрації операцій; заміна ручного шліфування і полірування, а також частини слюсарних операцій віброполіруванням, введення в технологічний процес операції віброзміцнення замість гідрошротострумної обробки і зміцнення лопатки оббивкою її мікрокульками [14]. Не менш чіткою, є тенденція до впровадження у виробництво високо механізованого і автоматизованого технологічного оснащення, що приводиться в дію при допомозі гідро і пневмоприводів, що в комплексі створює можливості для впровадження елементів ГАВ у виробництво лопаток компресорів ГТД. Не менш важливим є і той факт, що комплексна автоматизація процесу як механічної, так і вділочно-зміцнюючої обробки пера і замку лопаток компресорів призвела до значного зменшення долі ручної праці в процесі

					6261м.08.МР.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виготовлення лопаток і зсуву її в область слюсарних операцій. Це дало можливість не лише скоротити загальну трудомісткість, але і підвищити якість виготовлення лопатки, що у свою чергу, призвело до кумулятивного економічного ефекту.

1.2 Технологічність конструкції лопаток компресорів ГТД.

При проектуванні лопаток компресорів ГТД, разом з вимогами газової динаміки і міцності повинні враховуватися і вимоги технологічності, що пред'являються до всіх аеродинамічних поверхонь. Враховуючи те, що виробництво лопаток компресора носить серійний характер, їх технологічність набуває первинного значення. Необхідність вживання високопродуктивних методів і засобів для виробництва заготовок лопаток і їх механічної обробки визначає як їх відносну дешевизну, так і можливість швидкого перенастроювання виробництва при переході з одного типа двигунів на іншій. Тобто, все це в комплексі дає можливість упровадити у виробництво лопаток елементи ГАВ.

Трудомісткість обробки пера складає від 60 до 85% загальної трудомісткості виготовлення лопаток компресора. У зв'язку з цим, особлива увага має бути приділена тому, щоб поверхні пера були технологічними. Це означає, що розрахункові перетини пера повинні будуватися по таких закономірностях, щоб утворювані ними поверхні можна було обробити заздалегідь передбаченими високопродуктивними методами обробки і в межах заданої точності. Однією з важливих вимог відносно технологічності лопаток компресорів є неухильне дотримання принципу постійності баз. При обробці всього профілю пера лопатка базується по замку. Тобто принцип постійності баз дотримується на всіх операціях як механічної, так і відділюючо-зміцнюючої обробки. Така форма виготовлення пера лопатки вважається технологічною [1].

При нетехнологічній формі виготовлення пера лопатки неминуча ручна підгонка і, як наслідок цього, нестабільність характеристик якості

					6261м.08.МР.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лопаток, що виготовляються. Перехід на технологічнішу форму пера лопатки дозволяє істотно автоматизувати обробку і таким чином підвищити якість лопаток і їх експлуатаційну надійність.

Таким чином, технологічність конструкції робочих лопаток компресорів є одним з чинників, що визначають не лише ресурс компресора, але і життєздатність тієї або іншої конструкції ГТД.

1.3 Основні елементи, особливості конструкції лопаток компресора і технічні умови на їх обробку.

Основними елементами лопаток є перо і замкова частина. Замкова частина робочих лопаток компресора в більшості випадків має форму типу «ласточкін хвіст».

Виходячи із засобів утворення, всі поверхні пера лопаток можна розбити на три основні класи:

- лінійчаті - поверхні, що є геометричним місцем створюючої прямої, що переміщується в просторі по певному закону;
- похідні – поверхні, що є огинаючими сімействами якої-небудь поверхні обертання (утворюючої), вісь якої описує вихідну лінійчасту поверхню;
- складнофасонні

Робочі лопатки компресора мають складну форму. Профільна частина лопаток утворюється дугами різних радіусів кривизни, кут закручування пера складає $40 - 45^{\circ}$, а в окремих випадках може доходити і до 60° .

Профільювання пера цих лопаток виконується по окремих перетинах, не дивлячись на те, що технологічне забезпечення цієї вимоги і контроль правильності виконання є значно трудомістким. При цьому для ділянок пера, розташованих між контрольними перетинами в кресленні обумовляється вимога плавного переходу від одного перетину до іншого.

					6261м.08.МР.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точність виготовлення основних елементів робочих лопаток компресора характеризується наступними даними:

Перо лопаток.

1. Відхилення форми контурів корита і спинки в розрахункових перетинах допускаються від 0.1 до 0.15 мм по всьому контуру і 0.07 – 0.08 мм у вхідної і вихідної кромки.

2. Відхилення товщини профілю пера - не більше 0.15 мм.

3. Допуск на товщину вихідної кромки від 0.1 до 0.2 мм.

4. Допуск на кут закручування пера в поперечних перетинах – в межах $\pm 2'$.

5. Зсув контурів корита і спинки від номінального положення в напрямі, перпендикулярному площині симетрії замку, – від 0.1 до 0.4 мм.

6. Шорсткість пера Ra 0.63 – Ra 0.20.

Замок лопаток.

1. Точність посадочного розміру – в межах IT 7 – IT8.

2. Допуск на кут посадочних поверхонь $2' - 8'$.

3. Точність розташування замку відносно профілю пера - у межах ± 0.2 мм.

4. Точність розташування основи замку відносно вихідної кромки в межах ± 0.1 мм.

5. Шорсткість поверхні замка Ra 0.8.

					6261м.08.МР.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1 Обробка замків робочих лопаток компресора.

Замки робочих лопаток компресора в переважній більшості випадків мають форму типу «ласточкин хвіст». Замок лопатки використовується як базова поверхня у всьому комплексі подальших операцій по обробці профілю пера лопатки. Тому до виготовлення даної частини лопатки слід ставитися особливо ретельно. Проте, не дивлячись на конструктивну тотожність робочих лопаток компресорів різних ГТД, операції по обробці замків відрізняються і можуть виконуватися простягуванням, фрезеруванням та шліфуванням.[]

У технологічному процесі по обробці деталі, що розглядається в даній роботі, застосована операція простягування замку. Зупинимося на ній детальніше.

Першою і найбільш істотною перевагою по відношенню до всіх вищеперелічених способів обробки замку лопатки є те, що простягування забезпечує найбільш точну і стабільну обробку і в той же час є найбільш продуктивним і економічним способом.

Обробка замку простягуванням здійснюється в наступній послідовності:

- обробка фасок;
- обробка основи замку;
- обробка бічних поверхонь

Обробку замку лопаток з титанових стопів ведуть на горизонтально-протяжном верстаті 7A540. При цьому як бази приймають три точки в двох перетинах пера, необроблений бічний торець, верхню поверхню замку і бічний необроблений торець технологічної бобишки

Збірна протяжка для простягування замку складається з шести окремих секцій, виготовлених з швидкорізальної сталі марок Р6М5 або Р6М5К5.

Довжина кожної секції складає близько 200 мм. Для отримання необхідних розмірів замку положення окремих секцій протяжки можна

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювати в корпусі. Загальна довжина збірної протяжки складає 1000 – 1100 мм, вага 60 кг

Приведемо короткий опис універсального самоцентруючого пристосування, для простягування лопаток на горизонтально – протяжному верстаті 7 А540.

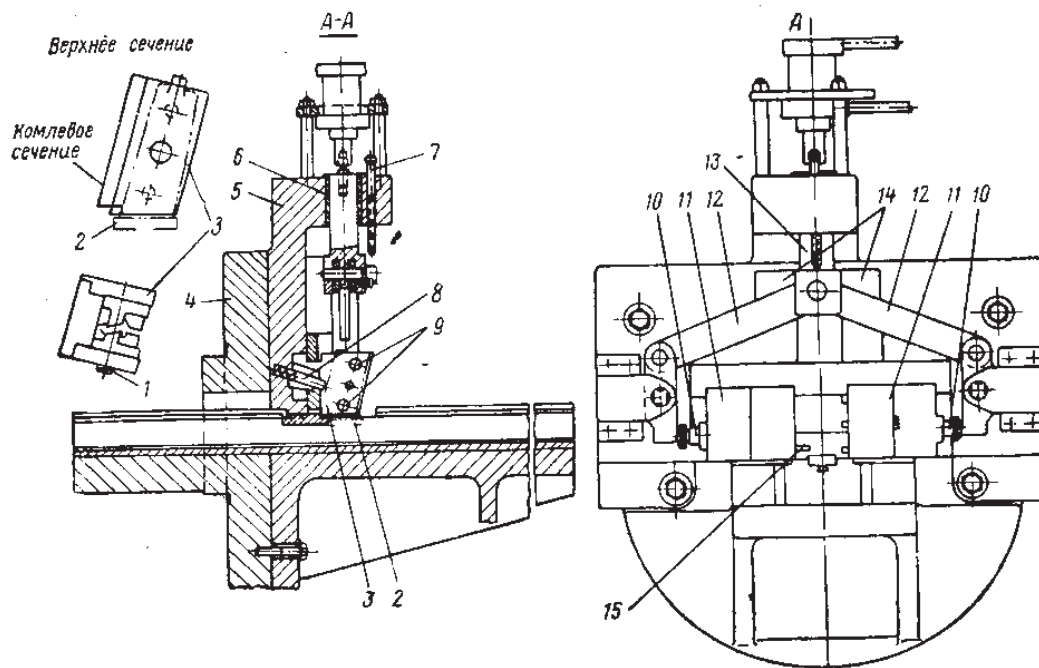


Рис 2.1. Універсальне самоцентруюче пристосування для протягування замків лопаток на горизонтально-протяжному верстаті 7А540.

1. – опора; 2. –протягувана лопатка; 3. – кассета; 4. – планшайба; 5. – корпус; 6. – втулка; 7. –гвинт регулювання ходу кулачків; 8. – плунжер; 9. – пальці; 10. – гвинт регулювання положення лопатки відносно блока протяжек; 11. – кулачки; 12. – важелі; 13. – шток; 14. – планки; 15. – штифт;

Пристосування складається з чавунної планшайби 4, яка центрується по посадочному отвору верстата. На планшайбі закріплено чавунний корпус 5, що має паз із сталевими розжареними планками для спрямування блоку протяжок. Самоцентруючі кулачки 11 переміщуються в поперечному пазу планшайби важелями, сполученими з штоком 13, і дозволяють рівномірно розподілити припуск штампування. Циліндричний хвостовик

штока 13 спрямовується сталевую розжареною втулкою 6, а прямокутна частина двома планками 14. Шток сполучено з гідравлічним циліндром.

Кулачки діють від пневмогідравлічного підсилювача, що розвиває тиск в 60 атм. Назад кулачки відводяться стислим повітрям під тиском 4 атм. Лопатка затискається зусиллям в 0.6 Мпа.

Гвинт 7 служить для регулювання довжини ходу кулачків. Гвинтами 10 встановлюють лопатку відносно блоку протяжок.

Штамповану лопатку встановлюють по двох крайніх перетинах профілю пера між половинками касети у вертикальному положенні і доводять до опорного майданчика в блоці протяжок. У горизонтальному напрямі лопатку з касетою переміщають до штифтового упору в кромку до тих пір, поки кромка пера у верхньому перетині не упреться в штифт, а торець замку в опорний майданчик. Права половина касети фіксується пальцями 9 і кріпиться болтом до правого кулачка 11. Ліва половина касети вкладається між плунжером 8 і штифтом 15 до лівого кулачка 11. Сферична опора 1 на лівій половинці касети дає їй можливість самоустановлюватися. Для спрощення виготовлення профільних ложементів використовуються ті ж шаблони, що і при виготовленні штампів. Застосовуючи змінні касети, можна на одному пристосуванні протягувати лопатки всіх ступенів.

Простягування замків робочих лопаток компресорів виконують також і на вертикально-протяжних верстатах. Для цього використовується вертикально-протяжної напівавтомат моделі МП-23.

Цей верстат працює по напівавтоматичному циклу. Поворотний стіл має дві позиції: робочу і завантажувальну. Під час простягування профілю замку на завантажувальній позиції в затискне пристосування встановлюється лопатка з обробленим замком і затискається гідравлічним пристроєм. Після повороту столу на наступну позицію обробляються торці і паз замку цієї лопатки. Каретки з інструментальними блоками рухаються

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безперервно. Робочі рухи верстата здійснюються при цьому в наступній послідовності:

- поворот столу із закріпленою лопаткою на робочу позицію для обробки профілю типу «ласточкин хвіст». Під час повороту столу в робочій зоні рухаються дві каретки без інструментальних блоків;
- поворот столу із затиснутою деталлю на робочу позицію для обробки торців і паза в замку.

Під час повороту столу в робочій зоні також рухаються дві каретки без інструментальних блоків. Верстат може бути налагоджений в двох режимах:

- безперервний цикл роботи, при якому він повторює повний цикл обробки деталі;
- цикл роботи, при якому верстат автоматично відключається після обробки деталі лише по одній операції.

Ці два способи простягування замків лопаток компресорів є найбільш поширеними в практиці газотурбобудування. Крім того знайшли вживання верстати для безперервного простягування лопаток двох типів - ланцюгові і барабанні. У першому випадку лопатки після завантаження встановлюються в безперервно рухомі ланцюги, проходять через непорушно закріплені протяжки, виконані у вигляді декількох окремих секцій. У другому випадку деталі кріпляться в поворотному барабані, а блоки протяжок – на повзунах, прикріплених до ланцюга. Цим досягається зручність спостереження за роботою протяжок і очищення їх від стружки.

Для контролю поверхні замка типу «ласточкин хвіст» використовують спеціальне пристосування (рис.2.2)

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

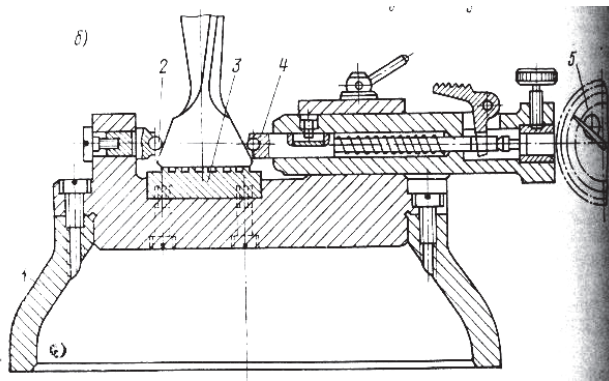


Рис. 2.2 Пристосування для контролю замка типу «ласточкин хвіст».

1. – корпус; 2. – упорна кулька; 3. – встановчий елемент; 4. – вимірювальний стрижень; 5. – індикатор.

2.2. Огляд різних способів лезвійної обробки пера робочих лопаток компресорів.

Найбільш поширеним способом утворення профілю пера лопаток, штампованих з припуском по перу, є фрезерування.

Можливі наступні способи фрезерування лопаток компресорів:

1. Кругове фрезерування вузькими поперечними строчками (ширина строчки до 1.5 мм).

Обробка даним методом виконувалася на модернізованих токарних або револьверних верстатах (рис. 2.3)

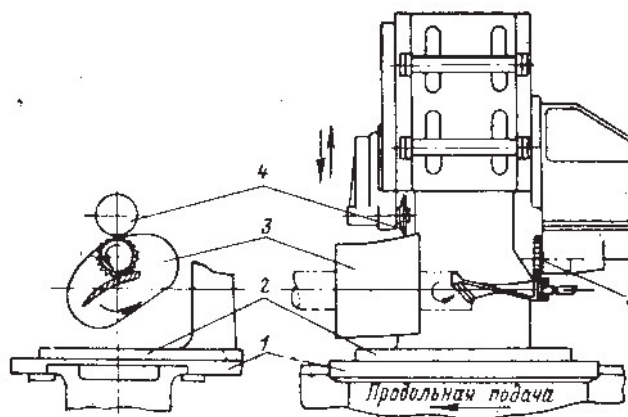


Рис. 2.3 Схема кругового фрезерування пера лопатки вузькими поперечними строчками.

1. – спеціальна основа; 2. – нижня плита; 3. – об'ємний копір; 4. – стежачий ролик; 5. – дискова трибічна фреза.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На подовжньому супорті змонтований спеціальний копіювальний – фрезерний пристрій, що надає інструменту необхідні рухи для формування об'ємної фасонної поверхні пера лопатки.

Для попереднього фрезерування застосовують значно поширений метод кругового фрезерування вузькими поперечними строчками на модернізованих токарних або револьверних верстатах. Точність і чистота обробки пера лопатки за цією схемою залежить головним чином від стійкості нижньої плити 2, установка якої безпосередньо на поперечних напрямних супорта значно скорочує ризик виникнення вібрації при обробці, а отже і виникнення рисок, забоїн і інших дефектів на вже обробленій поверхні. Проте, через недостатню ширину супорта копіювальний пристрій має малу жорсткість і недостатню стійкість, внаслідок чого спостерігається підвищене дроблення оброблюваної поверхні, що вимагає частіших підналадок. Кращі результати дає установка плити 2 на спеціальній основі 1 замість верхньої плити супорта.

Ріжучим інструментом в даному випадку служить дискова трибінна фреза 5, одержуюча через ролик 4 від об'ємного копіра 3 додаткові зворотньо – поступальні рухи.

Копір і оброблювана лопатка розташовуються на одній вісі. Ця частина наладки верстата містить в собі значні труднощі. Суть їх полягає в тому, що відбувається істотне спотворення профілю оброблюваної лопатки при неспівпаданні центроїд фрези і копірного ролика, що для такої складної аеродинамічної поверхні, як лопатка компресора є недопустимим. Найбільше значення похибки спостерігається з боку корита. Не менш істотним є і виникнення похибки внаслідок зміни діаметру при переточуванні інструменту. Встановлено, що зміна діаметру фрези після переточування на 1 мм вносить похибку у профіль пера лопатки до 0.1 мм.

До позитивних сторін роздільного фрезерування пера лопаток слід віднести можливість підведення додаткових опор під необроблюване сторону пера. Цей прогресивний і продуктивний прийом обробки дозволяє

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вести обробку ширшими строчками, що дуже важливе особливо при обробці лопаток з великими кутами закручувань. Проте, виготовлення цих опор зв'язане з великою трудомісткістю, і великим об'ємом доводочних робіт.

Істотною негативною стороною роздільного методу обробки є викривлення пера, лопатки (переважно у бік інструменту), що виникають під впливом сил пружного віджимання інструменту від деталі, виникають при однобічному почерговому зніманні припуску із заготовки. При цьому методі обробки має місце також і деяка додаткова похибка в точності обробки, пов'язана з переустановленням деталі з однієї технологічної бази на іншу.

2. Роздільне фрезерування корита і спинки пера лопатки широкими поперечними строчками.

По цьому методу перо лопатки фрезерують на копіювально-фрезерних верстатах ОФ – 31 М (рис. 2.4)

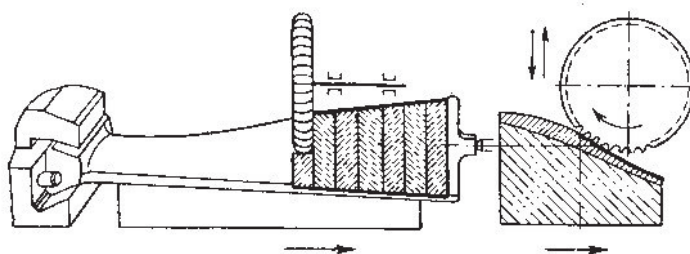


Рис. 2.4. Схема роздільного фрезерування корита і спинки пера лопатки широкими поперечними строчками.

По цьому методу можна обробити лише ті лопатки, профіль пера яких не має прямих ліній. Фреза здійснює лише обертальний рух. Лопатка встановлюється на стіл верстата, який може здійснювати гойдальні рухи довкола своєї подовжньої осі, а також підніматися і опускатися при одночасній дії двох гідроциліндрів. Гідроциліндри отримують команди від копірних золотників.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обробка здійснюється за допомогою копіра і двох стежачих роликів, відстань між якими дорівнює ширині фрези. Спеціальний копірний золотник з щупом забезпечує максимальний підхід фрези до замку і доопрацювання ділянки радіусів і полиць лопатки. Столик, на якому встановлений копір, дає можливість трохи опускати основний стіл для того, щоб при прискореному зворотному холостому ході столу інструмент не зачепив оброблену поверхню лопатки.

Обробку корита на верстаті ОФ – 31 М ведуть строчками шириною від 10 до 40 мм залежно від величини закручування пера. Величина сходинки на пері, що утворюється при обробці, залежить від правильності вибору ширини фрези і точності спрацьовування копірних золотників, що призводить до великого ризику виникнення недопустимої похибки обробки. Як правило, сходинка не повинна перевищувати 0.05 – 0.15 мм.

На верстатах ОФ – 31 М передбачена обробка лише одної сторони лопатки – спинки або корита, за одну установку. І хоча конструкція верстата дозволяє налаштовувати його на обробку двох різних поверхонь двох деталей за одну установку, але витрати часу на наладку і переналадку верстата в даному випадку є вельми істотними. Тому доцільною є обробка лопаток лише тих ступенів, які мають малу величину закручування пера, оскільки із збільшенням кута закручування зменшується допустима ширина строчки і тим самим збільшується число проходів і час обробки. Точність обробки досягається до 0.10 – 0.15 мм.

Ще істотнішим є той факт, що на верстатах ОФ – 31 М неможливо обробити корито лопаток з малими радіусами кривизни, оскільки зменшенню діаметру фрези перешкоджає мінімально можливий діаметр оправки. Тому для обробки корита таких лопаток доводиться вводити в технологічний процес додаткові операції на токарно – копіювальних верстатах із спеціальним копіюючим пристроєм. В цьому випадку лопатці надається складний рух від двох об'ємних копиров, перший з яких

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує отримання заданого профілю корита, а інший надає додатковий рух деталі відносно різця, забезпечуючи цим постійність кута різання

Весь комплекс вищеперелічених негативних чинників, а також високі значення припуску, що залишається на полірувальні операції, і заміна морально застарілих копірних пристроїв верстатами з ЧПК призвело до відмови від вживання методу обробки лопаток компресорів на верстаті ОФ – 31М.

3. Роздільне фрезерування корита і спинки пера лопатки вузькими поперечними строчками.

Цей спосіб покладено в основу обробки лопаток на восьми і чотирьохшпіндельних копіювально-фрезерних верстатах типа 8КФЛ і 4КФЛ (рис. 2.5).

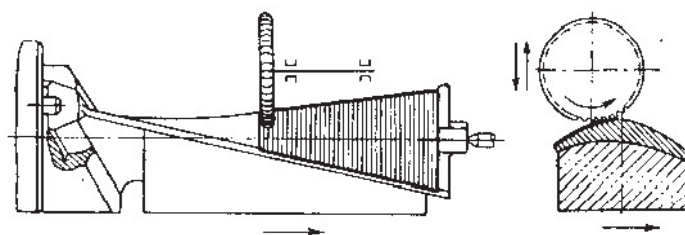


Рис. 2.5. Схема роздільного фрезерування корита і спинки пера лопатки вузькими поперечними строчками.

Основним недоліком даного методу, не дивлячись на його високу продуктивність, є наявність високих припусків, які необхідно знімати на подальших шліфувальних і полірувальних операціях, що характеризуються високим вживанням ручної праці.

4. Роздільне фрезерування корита і спинки пера однією широкою поперечною строчкою.

В цьому випадку перо лопатки фрезерують широкою фрезою, довжина якої дорівнює довжині пера лопатки на двухкопирном спеціальному пристосуванні. Проте, такий метод не є універсальним, оскільки застосовний лише для обробки лопаток, що мають лінійчату

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхню пера і вимагає розрахунку і виготовлення спеціальної фрези для певного тіпоразмера лопаток.

5. Одночасне фрезерування корита і спинки пера лопатки вузькими поперечними строчками.

По цьому методу від одного копіра фрезерують вузькою поперечною строчкою двома фрезами одночасно спинку і корито пера лопатки (рис. 2.6)

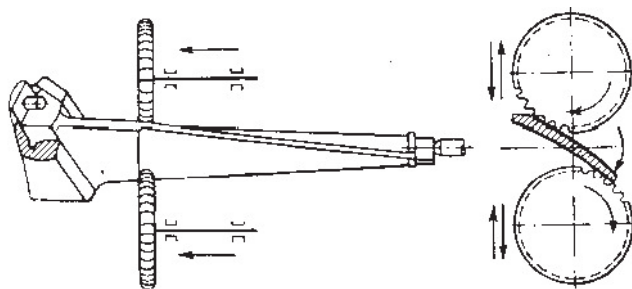


Рис. 2.6. Схема одночасного фрезерування корита і спинки пера лопатки вузькими поперечними строчками.

Спосіб є продуктивним, проте вимагає вживання спеціальних копіювально-фрезерних верстатів, наладка яких призводить до значних витрат часу, і наявності спеціальних швидкозношуваних копирів. Тому у зв'язку з впровадженням у виробництво верстатів з ЧПК, потреба в даному методі обробки лопаток відпала.

6. Роздільне фрезерування корита і спинки пера лопатки подовжніми строчками.

Цей метод обробки можливо здійснити на спеціальних чотирьохшпіндельних горизонтально-фрезерних верстатах моделі 4ФПЛ.

Схема даної обробки наведена на рис. 2.7.

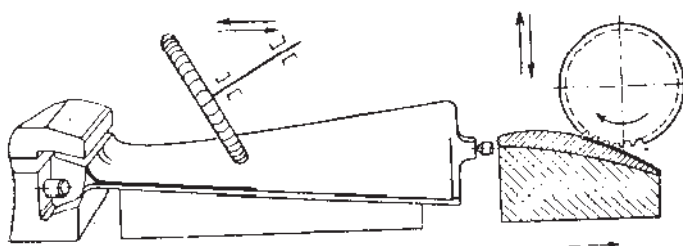


Рис. 2.7. Схема роздільного фрезерування корита і спинки пера лопатки подовжніми строчками

Корито і спинку лопатки фрезерують окремо подовжніми строчками. Ріжучим інструментом є дискова фреза, розташована відносно оброблюваної поверхні під кутом в 45^0 . Проте метод має істотний недолік - ширина фрезерування визначається профілем пера лопатки і має різні значення в різних зонах пера залежно від його кривизни. Внаслідок цього залишається високий припуск на подальшу віділочну обробку. Крім того, методу властиві і інші недоліки пов'язані з використанням копиров.

7. Кругове фрезерування подовжніми строчками на верстаті з ЧПК (метод трьохкоординатної обробки).

Даний метод фактично є перехідним від методів обробки по копіру до методу обробки лопаток на п'ятикоординатних верстатах з ЧПК, типа «оброблювальний центр».

Дискова фреза, розташована під кутом 45^0 , переміщається уздовж вісі пера лопатки. Схема фрезерування аналогічна схемі, змальованій на мал. 2.7.

Після кожної подовжньої строчки механізм верстата повертає лопатку для фрезерування наступної подовжньої строчки. Фрезерування здійснюється безперервно протягом прямого і зворотнього переміщення каретки верстата з лопаткою.

При круговому методі, коли лопатка в процесі обробки обертається і фрезерування здійснюється поперечною гвинтовою строчкою, точність обробки лопатки значно підвищується в порівнянні з методом роздільної обробки спинки і корита. В цьому випадку лопатка не перезакріплюється і знімання припуску з обох боків пера здійснюється рівномірно, що значно зменшує викривлення пера. Круговим методом можна обробляти і лопатки з великим закручуванням пера.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До негативних сторін методу кругової обробки слід віднести неможливість фрезерування по цьому методу фрезою великої ширини, що у свою чергу призводить до збільшення числа строчок. Крім того, при обертанні лопатки швидкість копіювання і величина подачі змінюються в значних межах. Так при 6 обертах деталі в хвилину, подача міняється в межах від 0 до 3700 мм/мін, причому середні подачі з боку корита значно змінюються в межах від 0 до 1100 мм/мін, зростаючи при підході до кромки і різко падаючи на самих кромках і в центральній частині профілю пера.

Таким чином, кругове фрезерування профілю пера лопаток при постійному числі обертів не може забезпечити точності і чистоти обробленої поверхні. Крім того, після кругового фрезерування залишається значний припуск, хоча і набагато менший в порівнянні з методами роздільного фрезерування, який необхідно знімати на подальших відділочних операціях.

2.3. Опис еволюції обробки пера робочих лопаток компресорів з титанових стопів.

Як вже наголошувалося вище, високі міцнісні властивості титанових стопів при їх малій питомій вазі і високій вартості матеріалу зумовлюють високі вимоги до технології їх обробки. Крім того, титанові стопи володіють високою чутливістю до концентрації напруги, яка багато разів зростає із збільшенням тривалості дії змінної напруги. Тому виникає необхідність ввести в технологічний процес спеціальні зміцнюючі операції.

У своїй еволюції ця технологія пройшла декілька етапів: обробка бічною поверхнею дискових фрез; електрохімічна обробка (ЕХО); обробка цілісними конічними фрезами з повним радіусом закруглення на верстатах з ЧПК типа «оброблювальний центр» фірми “Shtarrag” NX-154 з подальшим віброполіруванням і віброзміцненням. [].

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, заготівка для титанових лопаток виготовляється штампуванням з подальшою правкою в калібрувальному штампі. Припуск по перу повинен складати не більше 2 мм. Потім проводять термообробку і травлення лопатки. Далі лопатка поступає на механічну обробку. Як технологічні бази приймаються спеціальна технологічна бобишка на кінці пера і бічні поверхні замку. Обробку виконують в спеціальному пристосуванні з пневмоприводом, що обмежує зсув і перекіс заготівки не більше ніж на 0.05 мм.

Першою і загальною для всіх трьох вказаних вище етапів є операція простягування замку лопатки типа «ласточкин хвіст», яка виконується блоком протяжок для зовнішнього простягування на горизонтально – протяжному верстаті 7A540. Далі розглянемо обробку пера лопатки поетапно.

На першому і найраннішому етапі перо лопатки фрезерували торцями дискових фрез із сплаву ВК 8 з охолоджуючою емульсією, на копіювально-фрезерних верстатах. Обробку виконували із швидкістю різання 40 м/мін і подачею 200 мм/мін за 2 проходи з глибинами різання 2 мм (при чорновій обробці) і 0.5 мм (при чистовій обробці). Проте, ряд конструктивних елементів – вхідні і вихідні кромки, радіуси переходу від пера до замку оброблялися на додаткових операціях фрезеруванням. []

Після фрезерування слідувала операція механічного ручного полірування, на якій знімали припуск в межах 0.1 мм. Перо полірували на полірувальних бабках 20309 повстяними кругами, накатаними абразивними зернами. Перо підганялося при жорсткому закріпленні лопатки в контрольному пристосуванні по двох базах. Забезпечувана при цьому шорсткість поверхні відповідала Ra0.8. Швидкість полірування складала 15 – 20 м/сек.

Вживання твердих абразивних кругів при обробці титанових стопів не допускалося, оскільки залишкові напруження, що виникають при такій

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробці, і мікротріщини на поверхні пера значно знижували границю витривалості лопаток.

Наступною невід'ємною частиною технологічного процесу була гідрошротострумна обробка пера лопаток, що застосовувалася з метою їх зміцнення. У гідрошротострумній установці одночасно можна було обробити не більше 5 лопаток. Кожну лопатку обдувало одночасно не менше трьох сопел. Діаметр шроту складав не більше 0.5 – 0.8 мм. Забезпечувана в цьому випадку шорсткість поверхні знижувалася до Ra 1.25. Подальше підвищення шорсткості поверхні пера лопатки до Ra 0.63 досягалося поліруванням повстяними або фетровими кругами з нанесеною на них абразивною пастою.

Наступним кроком в розвитку технології обробної обробки лопаток компресорів з титанових сплавів стало вживання стрічково-шліфувальних верстатів типу ЛШ-1 або ХШ-186. Полірування на цих верстатах здійснювалося за допомогою водостійких абразивних стрічок, що дозволяло істотно механізувати відділочні операції.

Стрічкове шліфування і механічне полірування.

Довгий час механічне полірування лопаток вважалося вельми перспективним і було завершуючою механічною операцією в технологічному процесі виготовлення лопаток компресорів, як з титанових сплавів, так і з інших матеріалів. Найбільш перспективним був стрічковий полірувальний верстат ЛП – 3, призначений для полірування як робочих, так і направляючих лопаток компресора.

Полірування на цьому верстаті здійснюється завдяки руху лопаток між двома нерухомими абразивними стрічками, що притискуються до пера під певним тиском гумовими ложементами. Цей рух створюється обертанням ексцентрикових валів, горизонтального і вертикального ходу, сполучених сережкою і штоком вузла приводу лопатки. Сережка шарнірно сполучена з повідцем, закріпленим на втулці, в якій розташований шток, рухомий по кульках, ув'язнених в сепараторі. Шток через два взаємно

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перпендикулярних шарніра сполучений з ексцентриковим валом вертикального ходу. У скобі закріплюють перехідник із затиском для лопатки. При обертанні ексцентрикових валів лопатка отримує вертикальне і горизонтальне переміщення з одночасним поворотом на деякий кут довкола своєї вісі. Перехідник з лопаткою може також гойдатися в скобі на цапфах затискних болтів. Таким чином, лопатка може бути точно встановлена відносно ложементів.

Ложементи виготовляють з гуми марки 922 твердістю по Шору 55 – 65. Їх приклеюють бакелітовим лаком, змішаним з абразивним порошком, до рифленої поверхні планок. Профіль ложементів підганяють до профілю спинки і корита лопатки на фарбу. Ширіна профілю ложементів більше ширини лопатки на 2 мм на сторону.

Абразивні стрічки, змотуються з бобін, протягуються спеціальним пристроєм подачі стрічки. Бобіна повинна вільно провертатися у момент протягання стрічок і залишатися нерухомою під час обробки пера лопатки. Це досягається за допомогою спеціального вузла кріплення. Пристрій подачі стрічок сконструйований таким чином, що протягання стрічок відбувається після обробки кожної лопатки. Провідний ролик, до якого притиснутий нажимний ролик приводиться в обертання рейкою, що переміщається під дією двох гідроциліндрів. При цьому завдяки спеціальному храповому механізму ролик може обертатися лише в одному напрямі при русі рейки справа наліво. Для кожного виду лопаток регулюють величину повороту провідного ролика вузла подачі абразивних стрічок (крок подачі).

Перевагами даного методу відділочної обробки лопаток було те, що

- конструкція основних вузлів верстата дозволяє обробляти на ньому лопатки різних конструкцій і розмірів. При переході з обробки однієї лопатки на іншу потрібна переналадка верстата в порівняно невеликих об'ємах.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- з'являється можливість досягти порівняно стабільних характеристик якості в порівнянні з ручним поліруванням, існує значно менша вірогідність виникнення пріжогов;

- полірування здійснюється в подовжньому напрямі, що дозволяє істотно понизити стискуючу напругу в приповерхневому шарі лопатки;

- забезпечується шорсткість по перу лопатки на рівні Ra 1.25.

Істотними недоліками є те, що:

- полірування можна здійснити мінімум за три проходи, що істотно підвищує трудомісткість, а отже і собівартість виробу;

- не менш трудомісткою є і наладка верстата;

- наявність у верстаті складної гідравлічної системи різко знижує надійність його роботи.

Тому виходячи зі всіх вищеперелічених недоліків механічного стрічкового полірування і прагнучи мінімізувати вплив суб'єктивного чинника на формування характеристик якості обробленої лопатки, неминучого при ручному поліруванні, був проведений подальший технологічний пошук методів удосконалення відділочної обробки лопаток компресорів. Наступним етапом стало вживання гідрополірування.

Гідрополірування.

Гідрополірування виконують в спеціальних камерах. Усередині камери встановлені передня і задня бабки для кріплення деталей під час обробки (рис. 2.8.)

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

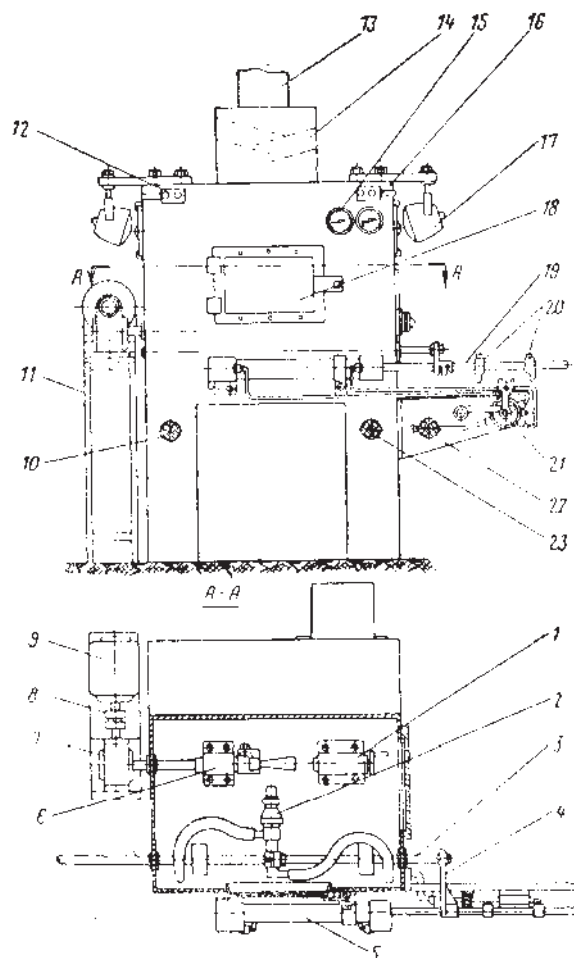


Рис. 2.7. Схема установки для гідрополірування.

1. – задня бабка; 2. – форсунка; 3. – шток форсунки; 4. – поєднуюча планка; 5. – пневмоциліндр; 6. – передня бабка; 7. – редуктор; 8. – муфта; 9. – електромотор; 10. – вентиль для подавання повітря в барботер; 11. – підставка; 12. – запускач; 13. – витяжна труба; 14. – сепаратор; 15. – манометри; 16. – запускач для подавання суміші; 17. – освітлювач; 18. – зорове віконце; 19. – шток поршня; 20. – упори; 21. – золотник; 22. – вентиль для подавання повітря в пневмоциліндр; 23. – вентиль для подавання повітря в форсунку.

Лопатки при обробці закріплюють в спеціальній державці з гумовим вкладишем для оберігання замку від гідрополірування. Шпиндель передньої бабки має привід від електродвигуна через черв'ячний редуктор. Кінець шпинделя допускає швидку зміну державки з лопаткою.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для гідрополірування по всій довжині оброблюваної лопатки повзун, на якому закріплена форсунка, пов'язаний з штоком пневмоциліндра, за допомогою якого здійснюється зворотньо поступальний рух форсунки. Для перемішування рідини з абразивом передбачений спеціальний пристрій - барботер.

Для забезпечення стабільності протікання процесу і підвищення його продуктивності вирішальне значення має правильний вибір конструкції сопла, в якому відбувається змішування рідини з абразивною сумішшю, що нагнітається в сопло стислим повітрям. Найкращі умови для зняття металу з оброблюваної лопатки досягаються у тому випадку, коли застосовується сопло Лавалю з відношенням діаметру вихідного отвору до діаметру повітряного сопла 3:1. Кут конуса повинен знаходитися в межах $10^0 - 12^0$.

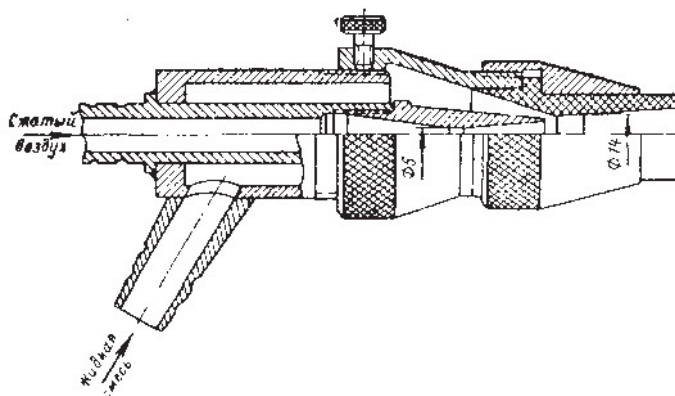


Рис. 2.9. Сопло для гідрополірувальної обробки лопаток.

В даному випадку швидкість витікання робочого тіла з сопла є максимально допустимою

Шорсткість поверхні обробленої гідрополіруванням з попередньою електрохімічною обробкою відповідає Ra 0.8 – Ra 0.63.

До позитивних сторін вживання цього методу слід віднести те, що вживання гідрополірування дозволяє істотно механізувати процес відділочної обробки пера лопатки компресора в порівнянні з ручним механічним поліруванням, поліпшити умови праці. Не менш істотним є і той факт, що при такій обробці лопатки не мають прижогів матеріалу,

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характерних для процесу механічного ручного полірування, оскільки процес проходить в рідинному середовищі, що сприяє інтенсивному охолодженню оброблюваної поверхні. Також лопатка, піддана обробці гідрополіруванням, зміцнюється, що призводить до поліпшення фізичних властивостей поверхневого шару і декілька підвищує втомну міцність лопатки. Матовий колір обробленої поверхні дозволяє візуально виявити деякі дефекти, які можуть мати місце або залишитися від попередньої обробки.

До недоліків гідрополірування можна віднести наступні факти: необхідність постійної циркуляції рідинного середовища, що вимагає наявності потужного насоса для її прокачування; наявність бака – відстійника, що збільшує займану установкою виробничу площу; висока вартість і трудомісткість виготовлення сопел Лавалю, схильних до інтенсивної ерозії при проходженні абразиву, і їх малий термін служби

На другому за часом етапі розвитку технології обробки лопаток компресорів з титанових стопів почали застосовуватися так звані електричні (електроімпульсний і електрохімічний) методи обробки. Основою для їх впровадження у виробництво послужила широка механізація з елементами автоматизації процесу обробки, і, як наслідок, зниження трудомісткості обробки.

Електрoімпульсная обробка.

Цей вид обробки пера лопатки дає можливість одночасно обробляти профіль корита і спинки і, що найістотніше, дозволяє замінити однією електричною операцією декілька механічних операцій фрезерування. Крім того, обробка ведеться з одного комплекту технологічних баз, що дозволяє підвищити точність оброблюваної поверхні, виключивши похибку, що виникає при переустановленні (рис.2.10)

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

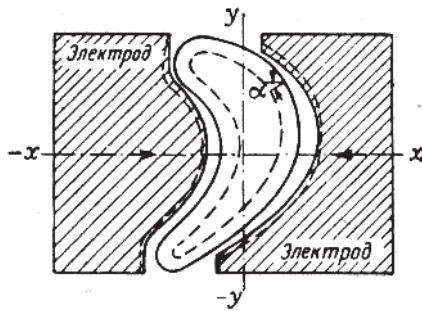


Рис. 2.10. Перетин профілю лопатки з еквідистантним припуском і профілі електродів.

Електроімппульсна обробка ведеться на верстаті МЕ-8. Джерелом технологічного струму у верстаті служить машинний генератор уніполярних імпульсів МГІ – 3, що має наступну характеристику – потужність 11,5 кВт, номінальна напруга (середня) 24 – 26 В, номінальний імпульсний струм 230 А, частота імпульсів 400 імп/сек, число обертів якоря 3000 об/хв. В якості регулювальника подачі електродів - інструментів на кожній голівці передбачений електродвигун постійного струму СЛ – 261 потужністю 24 В з незалежним збудженням, якір якого підключений до керованого регулювальника тиристора (рис. 2.11)

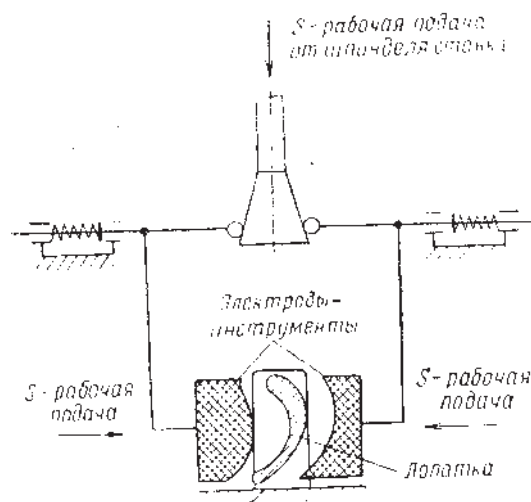


Рис. 2.11. Технологічна схема одночасної обробки корита і спинки лопатки компресора.

Інструментом для електроімппульсної обробки профілю пера лопаток виступають електроди, виготовлені з коксографітової композиції марки

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АРВ. Істотним недоліком даного інструменту є їх відносно невисока електроерозійна стійкість (відносний знос дорівнює 0.04 – 0.06), що вимагає правки електродів.

Профіль фасонної робочої частини електродів є відображенням профілем корита і спинки лопатки, відповідно. Всі розміри електродів встановлюються залежно від розмірів лопатки.

Чистота поверхні після електроімпульсної обробки залежить від електричних режимів і характеризується глибиною зміненого поверхневого шару. Цей шар утворюється в результаті того, що розплавлений під дією електричного імпульсу метал стикається з рідиною, що бере участь в процесі. На кордоні розплавленого металу і рідини утворюється великий перепад температур і різке підвищення тиску. В результаті цього розплавлений метал вибухає і розпліскується у вигляді дрібних часток, частина з яких залишається на обробленій поверхні лопатки і застигає на ній. Металографічні дослідження показали, що мікроструктура зміненого шару титанового сплаву ВТ3-1 після електроімпульсної обробки має чітко виражений кордон з основним сплавом. У зміненому шарі є оксидні включення і дефекти у вигляді рихлот і мікротріщин. Тому змінений шар підлягає повному видаленню на подальших відділочних операціях.

Слід зазначити, що при пониженні електричних режимів чистота поверхні покращується, а товщина змінного шару зменшується, проте, це призводить до підвищення основного часу обробки. Тому оптимальними вважаються наступні електричні режими, що призначаються на електроімпульсну обробку компресорних лопаток із сплаву ВТ3-1:

- робоча напруга – 20 – 25 В;
- сила струму – 25 А.

Отримувана при даних режимах товщина змінного шару складає 0.20 мм.

Вживання електроімпульсної обробки дозволяє понизити трудомісткість операцій по обробці пера лопатки в 2 – 3 рази.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електрохімічна обробка (ЕХО).

Єство методу ЕХО лопаток полягає в наступному: оброблювана деталь, що є анодом, і інструмент, що є катодом, занурюються в соляний розчин. Деталь і інструмент підключаються до джерела живлення постійного струму. При малих відстанях між електродами (0.1 – 0.8 мм) відбувається копіювання профілю пера на аноді. Для підвищення інтенсивності знімання металу з анода застосовується велика щільність струму, яка може доходити до 75 – 100 А/см² і вище. Між деталлю і інструментом здійснюється інтенсивна циркуляція електроліту.

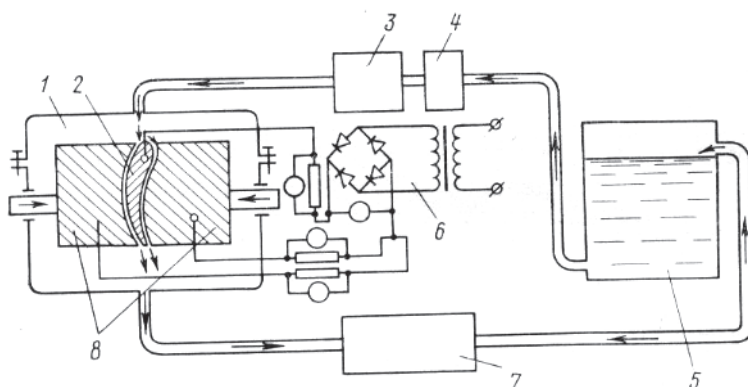


Рис. 2.12. Схема електрохімічного методу обробки лопаток компресорів.

1. – робоча камера; 2. – оброблювана лопатка; 3. – насос; 4. – теплообмінник; 5. – ємність для електроліту; 6. - випарювач; 7. – центрифуга для очищення електроліту; 8. – електроди – інструменти.

У початковій стадії обробки виступаючі місця поверхні профільного інструменту знаходяться значно ближче до оброблюваної деталі. Тому щільність струму, який проходить в цих місцях, значно вище, внаслідок чого оброблювана деталь в зонах з більшою щільністю розчиняється з більшою швидкістю. Таким чином, здійснюється профілізація деталі. Припуск на електрохімічну обробку складає 1.0 – 1.5 мм.

Шорсткість поверхні лопаток, що обробляються електрохімічним способом, досягає Ra 1.25 - Ra 0.63. Проте, на поверхні пера утворюється темно – сіра плівка, яку доводиться видаляти на подальших відділочних операціях.

Металографічними дослідженнями встановлено, що електрохімічна обробка лопаток дозволяє повністю видалити змінений поверхневий шар, що утворився після електроімпульсної обробки на м'яких режимах, тому в деяких випадках мала місце заміна чорнового шліфування на ЕХО.

Після ЕХО на поверхні лопаток, що пройшли термічну обробку, виявляється роз'ятрення по кордонах зерен. Глибина шару, в якому відбувається роз'ятрення по кордонах зерен: 0.01 – 0.03 мм. Роз'ятрені шари видаляють на подальших операціях відділочної обробки лопаток.

Процес електрохімічної обробки має ряд серйозних переваг. По-перше, обробка виконується без контакту інструменту з оброблюваною деталлю. У зв'язку з цим інструмент не чинить на неї тиску, і тому не виникає сила пружного віджимання і вібрація, а також характеризується невисоким зносом інструменту. Мікротвердість поверхневого шару лопаток, оброблених електрохімічним способом, не відрізняється від мікротвердості поверхневого шару, що явно вказує на відсутність в ньому наклепання. Це, у свою чергу, є істотним позитивним чинником. Дослідженнями також встановлено, що після електрохімічної обробки залишкова напруга на поверхні лопаток відсутня. Це пояснюється тим, що процес електрохімічної обробки не супроводиться пластичними деформаціями і виділенням тепла. Шорсткість оброблених поверхонь знаходиться в межах $Ra\ 1.25 - Ra\ 0.63$. Продуктивність обробки досягає 50000 мм³/мін і вище. Тобто, із збільшенням продуктивності також підвищується чистота поверхні і точність обробки в порівнянні з попередніми методами обробки. ЕХО також характеризується простотою здійснення процесу.

До негативних сторін ЕХО можна віднести те, що наявне роз'ятрення по кордонах зерен обмежує можливість заміщення електрохімічною обробкою подальших операцій зміцнюючої обробки, таких як полірування, що характеризуються у край низькою механізацією і великою часткою ручної праці. Ще істотнішим недоліком є висока екологічна шкідливість

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництв, на яких застосовується ЕХО. Заходи, що приймаються, по мінімізації і ліквідації цих негативних наслідків призводять до збільшення собівартості лопаток, оброблених цим способом. Процес ЕХО вимагає безперервного видалення водню з робочої камери, тобто є потенційно вибухонебезпечним, характеризується необхідністю очищення електроліту центрифугуванням або відстоєм в баках-відстійниках, що спричиняє за собою збільшення займаної виробничої площі. Також ЕХО характеризується високою енергоємністю (1000 А х ч на 1 кг знятого матеріалу).

Електролітичне полірування.

Як вже було вказано вище, ні електрохімічна, ні, тим більше, електроімпульсна обробка не можуть бути використані для виконання відділочних операцій, зокрема, заміни механічного ручного полірування, що характеризується великою часткою ручної праці і, як наслідок, нестабільністю параметрів якості. На описуваному етапі розвитку технології обробки профілю пера лопатки заміну ручному поліруванню покликане було скласти електролітичне полірування.

Електролітичне полірування – це особливий процес анодного розчинення матеріалу на оброблюваній поверхні, обумовлений утворенням пріанодного поляризаційного шару з продуктів електроліту. При електролітичному поліруванні з оброблюваної поверхні знімається припуск приблизно 0.05 мм.

Лопатки, що підлягають електролітичному поліруванню, поміщають в спеціальний електроліт і підключають як анод до позитивного полюса джерела струму. При проходженні струму певної щільності через електричний ланцюг, що утворився, поверхня анода розчиняється вибірково, причому відбувається згладжування мікрометричних нерівностей і з'являється блиск, тобто досягається ефект полірування.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес полірування відбувається в спеціальній електролітичній ванні. Ванна з листового свинцю поміщається в бак з циркулюючою водою. У бак вмонтований зміювик для підігрівання води парою або її охолодження стислим повітрям.

Лопатки ретельно знежирюють в парах трихлоретилену. Ділянки, які не повинні піддаватися поліруванню (замкова частина, полиці) покривають спеціальним захисним лаком. Потім деталі встановлюються по 8 штук в спеціальні пристосування, які підвішують в електроліті на щаблях, що виступають анодами.

При досягненні електролітом температури в $28^0 - 35^0$ С, включається струм і реле часу. Після закінчення встановленого часу реле відключає струм, лопатки вивантажують з ванни і промивають спочатку проточною водою (для видалення солей електроліту), а потім в киплячій воді (для знімання лаку).

Перевагою електролітичного полірування в порівнянні з ручним механічним є його висока механізація, відносна стабільність отримуваних характеристик якості, можливості досягнення шорсткості Ra 0.8. Крім того встановлено, що електролітичне полірування дозволяє видалити наклепання в поверхневому шарі пера лопатки (в разі попередньої механічної обробки) і, отже, підвищити її міцнісні характеристики, зокрема межа витривалості, можливість більш тривалого опору втомним навантаженням.

До істотних недоліків електролітичного полірування варто віднести його високу енергоємність (порівнянна з ЕХО) при незначному зніманні металу і нерівномірним зніманням металу в районі переходу пера лопатки в замок, що вимагає введення в технологічний процес слюсарних операцій підгонки профілю. Також процес є екологічно шкідливим.

Все це в комплексі, впровадження верстатів з ЧПК і невпинний технологічний пошук призвели до появи третього етапу в еволюції технології обробки лопаток компресорів ГТД.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Третій, сучасний етап розвитку технології обробки лопаток компресорів характеризується комплексною автоматизацією практично всіх операцій обробки лопаток і зсувом ручної праці в область слюсарних операцій, які не мають вирішального впливу на параметри характеристик якості. Комплексна автоматизація досягається за рахунок використання в серійному виробництві фрезерних верстатів з ЧПК на основі технології NX для лезвійної (як чорнової так і чистової) обробки пера лопатки, а також комплексним впровадженням віброполірування і віброзміцнення, що замінила весь комплекс відділочно-зміцнюючої обробки, присутніх на попередніх етапах.

Фрезерування пера лопаток компресорів з титанових стопів здійснюється на фрезерних верстатах з ЧПК типа Shtarrag NX – 154, Ferrari, Pickomaks.

Принципова відмінність цього способу обробки від всіх описаних вище полягає в тому, що обробка всього профілю пера лопатки, включаючи спинку, корито і кромки переходу ведеться без відриву ріжучого інструменту від оброблюваної поверхні. Це досягається завдяки використанню спеціальних фасонних фрез з повним радіусом закруглення. Сутність методу полягає в тому, що для здобуття гладкої спіралі, що є, основою для формування всіх без виключення аеродинамічних поверхонь необхідний постійний контакт між ріжучою кромкою інструмента й поверхнею оброблюваної деталі. У випадку застосування дискової фрези траєкторія руху різального інструменту перетвориться із гладкої в кусочно-гладку спіраль. Спроба знімання рівномірного припуску призведе в підсумку до того, що на оброблюваній поверхні з боку корита з'явиться велика кількість «недорізів», видаляти які доведеться на наступних операціях обробки, а з боку спинки - risks й забоїни, що призводять до отримання невиправного браку. Що ще гірше, високий питомий тиск при площинному контакті різального інструменту й оброблюваної поверхні приведе до руйнування вхідної й вихідної крамок лопатки.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому єдино можливим варіантом ведення фрезерної обробки такої складної аеродинамічної поверхні, як робоча лопатка компресора, що до того ж обмежена гладкими спіралями, є зведення схеми обробки пера лопатки до відомої з курсу теоретичної механіки схеми контакту двох сферичних поверхонь. Такий контакт може бути тільки точковим. Реалізована вона може бути тільки на 5-координатних фрезерних верстатах з ЧПК, оснащених технологією NX.

Наведемо коротку характеристику обробного центра Shtarrag NX - 154:

Таблиця 2.1

Коротка характеристика обробного центра Shtarrag NX - 154:

Найменування параметра	Значення
Відстань від голівки до ніжки на приводній позиції:	
мінімальна	210 мм
максимальна	885 мм
Максимальна довжина оброблюваної лопатки	700 мм
Розміри зони обробки	
Поздовжній, X	1500 мм
Поперечний, Z	400 мм
Вертикальний, Y	400мм
Обертання, A	360 ⁰
Поворот, B	±45 ⁰
Подача:	
напрямки X, Y, Z	5000 об/хв
напрямок A	20 об/хв
напрямок B	3.5 об/хв
Прискорене переміщення:	
напрямки: X, Y, Z	10000мм/хв
напрямок A	40 об/хв

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

6261м.08.МР.08.01.ПЗ

напрямок В	7 об/хв
Відстань між шпинделями	300 мм
Потужність електродвигуна кожного шпинделя	25 кВт
Регулювання числа швидкостей шпинделя	Безступінчас те
Діапазон швидкостей шпинделя	3000 – 8000 об/хв
Ємність інструментального магазину	24 -96 in
Маса нетто верстата	37 т

Схема обробки лопаток компресорів з використанням обробного центра типу Shtarrag NX – 154 має ряд істотних переваг перед всіма перерахованими вище:

- комплексна автоматизація дозволяє домогтися стабільних характеристик якості продукції, збільшити її надійність, експлуатаційний ресурс.

- точкова схема контакту й переміщення фрези по еквідистантній до профілю пера кривій, що задається тотожними для корита и спинки в кожному окремому перерізі координатами, дозволяє одержати підвищену точність обробленої поверхні.

- обробка як спинки, так і корита лопатки без переустановки дозволяє істотно знизити похибку обробки.

- даний вид обробки дозволяє досягти параметрів шорсткості Ra 0.63, що дозволяє виключити з технологічного процесу таку трудомістку, енергозбиткову й екологічно шкідливу операцію, як чорнове шліфування. Це істотно знижує собівартість кожної лопатки;

- чотирьохшпindelний обробний центр типу Shtarrag NX - 154 дозволяє одночасно обробляти 4 лопатки, що також істотно знижує витрати на їхнє виготовлення, а отже й собівартість кожного виробу;

Незважаючи на всі перераховані вище достоїнства використання фрезерних обробних центрів, що дають зокрема, можливість виключити з технологічного процесу механічної обробки чорнове шліфування, весь наступний комплекс відділочно-зміцнюючих операцій залишався слабо автоматизованим. Про недоліки механічного, електролітичного, гідрополірування, не говорячи вже про ручне, полірування було сказано вище. Всі ці методи несли в собі або високу імовірність появи прижогов і тріщин на оброблюваній поверхні, або були вкрай трудомісткими й енергоємними, не забезпечуючи при цьому стабільної якості обробленої поверхні. Зміцнююча ж обробка зводилася до операції гідрошротострумною оббивки пера лопатки, що має такі істотні недоліки, як:

- зниження отриманої в ході чистового полірування шорсткості;
- створення в районі радіусів переходу від пера лопатки до замка додаткових концентраторів стискаючих напруг, що різко знижує границю витривалості лопатки, зменшує її надійність і довговічність;
- більша ймовірність появи сколів й тріщин внаслідок імпульсного навантаження на вхідну й вихідну кромки, що мають найменшу товщину.

Тому в даній роботі, з огляду на передовий досвід ведучих в області газотурбобудування підприємств, пропонується здійснити комплексну автоматизацію відділочно-зміцнюючих операцій на основі віброполірування й віброзміцнення з використанням спеціальної вібраційної установки МВПС -50, принцип роботи якої описаний нижче.

Сутність процесів віброполірування й віброзміцнення полягає в тому, що жорстко закріплені в спеціальному пристосуванні лопатки, містяться в спеціальну віброкамеру вібраційної установки, днища й стінки якої

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вібрують за допомогою комплексу ексцентрикових валів і дебалансів. Сипучий абразив (при віполіруванні) або металеві кульки (при віброзміцненні) коливається між ними, одержуючи енергію від кожного днища. Бічні стінки контейнера виконані похилими, що створює додаткове обтиснення абразиву, а отже й збільшує сили динамічного впливу абразиву на оброблювані лопатки.

Однак застосування вібраційних установок для полірування й зміцнення лопаток має істотну особливість. Існує потенційна небезпека збігу власної частоти коливань оброблюваних лопаток із частотою вимушених коливань днищ контейнера, тобто виникнення резонансу. Це у свою чергу вимагає побудови резонансної діаграми Кемпбела для кожного типорозміру оброблюваних лопаток.

Зважаючи на те, що для побудови резонансної діаграми лопатку потрібно розглядати як оболонкову конструкцію, необхідним є приведення в даній роботі основних відомостей теорії коливань і теорії оболонок.

2.4. Основні відомості теорії коливань і тонких пружних оболонок, необхідні для побудови резонансної діаграми робочих лопаток компресора.

Першим і найголовнішим допущенням є те, що лопатка, встановлена в пристосування для віброзміцнення може бути розглянута як жорстко-затиснена балка (стрижень) зі змінною площею поперечного переріза.

Основною особливістю систем з безупинно розподіленою масою полягає в нескінченності числа власних частот і форм коливань. Тому в математичному плані дослідження таких систем має істотну особливість: замість диференціальних рівнянь, що описують системи з декількома ступенями волі, у цьому випадку доводиться мати справу з диференціальними рівняннями в частинних похідних. Крім початкових умов, що визначають початкові зсуви й швидкості, необхідно враховувати також і граничні умови, що характеризують кінцеві закріплення стрижня.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поздовжні коливання жорстко затиснених балок.

Основне рівняння.

При аналізі поздовжніх коливань будемо вважати, що виконується гіпотеза плоских перерізів. Це допущення дозволить вивести основне рівняння коливань, що потім можна модифікувати для стрижня зі змінною площею поперечного перерізу, яким й є лопатка компресора. Також будемо на даному етапі вважати, що частки стрижня не роблять поперечних рухів і переміщаються тільки в поздовжньому напрямку.

Нехай u – поздовжнє переміщення поточного перетину стрижня при коливаннях. Це переміщення залежить від місця розташування перетину (координати x) і від часу t . У такий спосіб:

$$u = u(x, t) \quad (2.1)$$

Дана формула є функцією двох змінних. Її визначення й становить основне завдання.

Переміщення нескінченно близького перетину тоді буде представлено в такий спосіб:

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} dx$$

Звідси можна зробити висновок, що відносне подовження буде мати вигляд:

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.2)$$

Відповідно до цього поздовжня сила в перетині з координатою x може бути записана у вигляді:

$$N = EF\varepsilon = EF \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.3)$$

EF - жорсткість стрижня при розтяганні - стиску.

Сила N також є функцією тих же аргументів, що й переміщення, тобто – координати x і часу t .

Для розгляду рівняння руху розглянемо елемент стрижня, розташований між двома нескінченно близькими перетинами.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Припустимо, що до лівої грані елемента прикладена сила N . Тоді до правої грані прикладена сила $N + \frac{\partial N}{\partial x} dx$. Якщо позначити через ρ щільність матеріалу, з якого виготовлений стрижень, то маса розглянутого елемента складе $\rho F dx$. Тому рівняння руху в проекції на вісь X матиме вигляд:

$$-N + \left(N + \frac{\partial N}{\partial x} dx \right) = \rho F dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

або:

$$\frac{\partial N}{\partial x} = \rho F \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.4)$$

З огляду на формулу (4.3) і приймаючи, що $F = \text{const}$, одержуємо:

$$c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.5)$$

де:

$$c^2 \equiv \frac{E}{\rho} \quad (2.6)$$

Дотримуючись закону Фур'є ми можемо знайти частинне рішення диференціального рівняння (2.5) у вигляді:

$$u = X(x)T(t) \quad (2.7)$$

Таким чином, ми вводимо припущення, що переміщення u можна представити у вигляді добутку двох функцій, одна з яких залежить тільки від аргументу x , а інша – тільки від аргументу t . Тоді замість визначення функції двох змінних $u(x, t)$ необхідно визначити дві функції $X(x)$ і $T(t)$, кожна з яких залежить тільки від однієї змінної.

Підставивши рівняння (2.7) у рівняння (2.5), одержимо

$$c^2 X'' T = X T''$$

Перепишемо це рівняння у вигляді:

$$c^2 \frac{X''}{X} = \frac{T''}{T} \quad (2.8)$$

Ми прийшли до диференціального рівняння з розподільними змінними, у якому ліва частина залежить тільки від змінної x , а права – тільки від змінної t . Для тотожного виконання цієї рівності (при будь-яких

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

x и t) необхідно, щоб кожна із частин рівності дорівнювала постійній, котру позначимо через $-f^2$.

Тобто:

$$c^2 \frac{X''}{X} = -f^2 \qquad \frac{T''}{T} = -f^2$$

Звідси випливають два диференціальних рівняння:

$$\begin{cases} T'' + f^2 T = 0 \\ X'' + \frac{f^2}{c^2} X = 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

Перше рівняння має вигляд:

$$T = a \sin (ft + \alpha) \quad (2.10)$$

що свідчить про коливальний характер процесу.

З рівняння (2.10) очевидно, що величина f є частотою вільних коливань.

Друге рівняння має рішення:

$$X = C \sin \frac{f}{c} x + D \cos \frac{f}{c} x \quad (2.11)$$

і визначає форму коливань.

Частотне рівняння, що визначає величину f , як показано нижче, складається шляхом використання граничних умов. Це рівняння завжди трансцендентне й має нескінченне число коренів. Таким чином, число власних частот нескінченно, причому кожному значенню частоти f_n відповідає своя функція $T_n(t)$, обумовлена залежністю (2.10) і своя функція $X_n(t)$, обумовлена залежністю (2.11).

Отримане рішення рівняння (2.7) є лише частковим. Повне рішення можна отримати лише накладенням всіх приватних рішень:

$$u \equiv \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) T_n(t) \quad (2.12)$$

Функції $X_n(x)$ називаються власними функціями задачі й описують власні форми коливань. Вони не залежать від початкових умов.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому для більш повного дослідження коливань вводять граничні умови.

Граничні умови.

Існує кілька видів граничних умов. Однак у цьому випадку, становить інтерес гранична умова, що виражається у жорсткому зашумленні замкової частини лопатки в пристосуванні.

У затисненому кінці стрижня переміщення u повинно дорівнювати нулю. Звідси випливає, що в цьому перетині $X = 0$. Тому завдання зводиться до розгляду частотного рівняння.

Визначаємо власні частоти жорстко затисненого (консольного) стрижня. $X = 0$ при $x = 0$; $X' = 0$ при $x = l$.

Підставляючи по черзі ці умови в рівняння (2.11), одержуємо:

$$\begin{cases} D \equiv 0 \\ C \frac{p}{c} \cos \frac{pl}{c} = 0 \end{cases} \quad (2.13)$$

Умова $C \neq 0$ приводить до частотного рівняння:

$$\cos \frac{pl}{c} = 0$$

Корінь цього рівняння:

$$\frac{pl}{c} = (2n-1) \frac{\pi}{2} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

визначають власні частоти:

$$p_n = \frac{(2n-1)\pi c}{2l} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Число частот нескінченно. Перша (нижча) частота при $n = 1$

$$p_1 = \frac{\pi \times c}{2l} = \frac{\pi}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.14)$$

Рівняння (4.14) справедливо при дослідженні поздовжніх коливань стрижнів. Однак, в нашому випадку необхідно враховувати, що лопатка піддана, як крутним, так й згинальним коливанням. Зупинимося на даному питанні більш докладно.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крутні коливання.

Розглянемо спочатку крутні коливання, тому що при розгляді жорстко затисненого стрижня вони описуються рівнянням, за структурою подібним до рівняння (2.4).

З теорії крутіння стрижнів відомо, що крутний момент M у перетині з абсцисою x пов'язаний з кутом повороту φ диференціальною залежністю:

$$M = GJ_{\rho} \frac{d\varphi}{dx} \quad (2.15)$$

де G – модуль зсуву; J_{ρ} – полярний момент інерції поперечного переріза.

Тоді в суміжному перетині крутний момент дорівнює:

$$M + \frac{\partial M}{\partial x} dx$$

Позначимо через ρJ_{ρ} (де ρ – щільність матеріалу стрижня) інтенсивність моменту інерції маси стрижня щодо його довжини (тобто момент інерції одиниці довжини). Рівняння руху елементарної ділянки стрижня буде мати такий вигляд:

$$-M + \left(M + \frac{\partial M}{\partial x} dx \right) = \rho J_{\rho} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} dx$$

або:

$$\frac{\partial M}{\partial x} = \rho J_{\rho} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (2.16)$$

Підставивши рівняння (2.15) у рівняння (2.16) і прийнявши, що $J_{\rho} = \text{const}$ одержуємо:

$$c^2_1 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (2.17)$$

$$\text{де } c^2_1 = \frac{G}{\rho}$$

Загальне рішення рівняння (4.17) має вигляд:

$$\varphi = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) T_n(t) \quad (2.18)$$

Причому:

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} X_n = C_n \sin \frac{f_n x}{c_1} + D_n \cos \frac{f_n x}{c_1} \\ T_n(t) = a \sin(\rho_n t + \alpha_n) \end{cases} \quad (2.19)$$

Однак, як й у попередньому випадку, власні частоти стає можливим визначити тільки при накладенні конкретних граничних умов.

Граничні умови й частотне рівняння:

У цьому випадку жорсткого зашмилювання лопатки компресора для випадку крутильних коливань ми одержуємо наступні граничні умови:

$$\varphi = 0 \text{ при } X = 0$$

$$M = 0 \text{ при } X' = 0$$

Тепер, задавши граничні умови, ми можемо прийти до рішення частотного рівняння:

$$p_n = \frac{(2n-1)\pi \times c_1}{2l} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (2.20)$$

Коливання вигину.

Зі статичної теорії вигину стрижнів відомо, співвідношення:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EJ \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = q \quad (2.21)$$

у якому $y(x)$ – прогини, викликувані поперечним навантаженням q ; EJ – жорсткість при вигині

Це співвідношення покладене в основу виводу основного диференціального рівняння вільних коливань балок, якщо вважати, що прогини є функцією двох змінних (координати x і часу t), а зовнішнім навантаженням служать розподілені сили інерції. Тоді:

$$q(x, t) = -m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2.22)$$

де m – інтенсивність розподіленої маси балки. Таким чином, одержуємо:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (2.23)$$

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виводі цього диференціального рівняння був використаний спосіб додавання сил інерції до безмасового кістяка системи в якості зовнішнього навантаження.

Звідси може бути отримана й частинне рішення при $EJ = \text{const}$ й $m = \text{const}$.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{EJ}{m} \times \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0 \quad (2.24)$$

Рішення даного рівняння розглянуто нижче.

Для рішення рівняння (2.24) приймаємо, як й у попередніх випадках, що:

$$y = X(x)T(t)$$

Тоді приходимо до наступного диференціального рівняння:

$$\frac{T''}{T} = -\frac{EJ}{m} \times \frac{X^{IV}}{X} \quad (2.25)$$

Для тотожного виконання рівності необхідно, щоб кожна з його частин була постійною. Позначимо цю постійну через $-f^2$. Тоді одержуємо наступні рівняння:

$$\begin{cases} T'' + f^2 T = 0 \\ X^{IV} - \frac{mf^2}{EJ} X = 0 \end{cases} \quad (2.26)$$

Перше з рівнянь (2.26) вказує на те, що балка робить коливання із частотою f . Друге рівняння визначає власну форму коливань. Рішення відповідно його порядку містить чотири постійні й може бути записане у вигляді:

$$X = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3 \sinh kx + C_4 \cosh kx$$

де

$$k = \sqrt[4]{\frac{mf^2}{EJ}} \quad (2.27)$$

Для його рішення скористаємося функціями А.Н. Крилова.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} S = \frac{1}{2}(ch kx + \cos kx) \\ U = \frac{1}{2}(ch kx - \cos kx) \\ T = \frac{1}{2}(sh kx - \sin kx) \\ V = \frac{1}{2}(sh kx + \sin kx) \end{cases} \quad (2.28)$$

Тоді рівняння (2.27) може бути записане в наступному виді:

$$X = C_1 S + C_2 T + C_3 U + C_4 V \quad (2.29)$$

Функції А.Н. Кривої зв'язані між собою дифференціальними співвідношеннями:

$$\begin{cases} S = \frac{1}{k} T' \\ T = \frac{1}{k} U' \\ U = \frac{1}{k} V' \\ V = \frac{1}{k} S' \end{cases} \quad (2.30)$$

Як і при розгляді крутих коливань число власних частот коливань вигину балки f_n буде нескінченно великим. Кожний з них відповідає своя функція часу T_n і своя власна форма X_n /

Загальне рішення може бути отримане шляхом накладання частинних і виражено наступною залежністю:

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) T_n(t) \quad (2.31)$$

Щоб визначити частоти й форми коливань необхідно накласти граничні умови.

У розглянутому нами випадку:

$$y = XT$$

$$\varphi = X'T$$

Граничні умови будуть наступні: $X = 0$ й $X' = 0$

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак, при розгляді коливань таких складних конструкцій, як лопатка компресора, необхідно враховувати також вплив інерції поворотів, вплив зсувів.

У рівнянні (2.24) ми приймали допущення, що балка (лопатка) знаходиться під впливом навантаження, що не має розподілених моментів. У дійсності ж до складу зовнішнього навантаження входять і розподілені моменти. Тоді рівняння (2.24) перетвориться в наступне:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = q - \frac{dM^*}{dx} \quad (2.32)$$

M^* - інтенсивність зовнішнього моментного навантаження.

Тоді одержуємо:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EJ \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = q - \frac{dM^*}{dx} \quad (2.33)$$

Справа в тому, що при коливаннях балок розвиваються не тільки поперечні інерційні навантаження (які приймалися й у всіх вищенаведених викладеннях), але й інерційні моментні навантаження також інерційного походження, пов'язані з поворотами перетинів балки. При коливанні балок з нижчими частотами, інерційні навантаження даного типу малоістотні, однак, у цьому випадку, коли мова йде про високочастотні коливання такими навантаженнями зневажати не можна.

Як і вище приймаємо у для позначення прогину балки. Тоді для кута повороту перетину під дією розподіленого інерційного моменту можна одержати наступне значення: $\varphi = \frac{\partial y}{\partial x}$

Отже, при коливаннях кутове прискорення перетину буде дорівнювати:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\partial^3 y}{\partial x \partial t^2}$$

Цьому прискоренню відповідає розподілена моментне інерційне навантаження: $-\rho J \frac{\partial^3 y}{\partial x \partial t^2}$, де J – момент інерції перетину балки щодо нейтральної осі; ρ - щільність матеріалу.

2.5. Вібраційна установка для віброполірування, і виброзміцнення лопаток.

Опис і робота.

Призначення установки.

Установка призначена для віброабразивного полірування й віброударного зміцнення дрібних і середніх деталей (довжиною від 20 до 260 мм). Ці деталі повинні мати низьку шорсткість поверхні ($Ra = 1.25\text{мкм}$ і нижче) і високу точність виготовлення (деталі типу силових болтів, осей, лопаток ГТД довжиною до 260 мм).

Оброблювані деталі закріплюються в пристосуванні, що занурюється в робочу камеру установки. Пристосування типу касетних утримуваїв уніфіковані. Конструктивні розходження пристосувань залежать від способу кріплення деталей й їхніх типорозмірів. Пристосування до складу віброустановки не входять.

Таблиця 2.3

Технічна характеристика установки.

Максимальне навантаження, Н	1120
Частота коливань контейнера, Гц	24
Максимальна амплітуда коливань, мм	4.0
Максимальні габарити оброблюваних деталей, мм	260x100x30
Маса установки, кг	1290
Габаритні розміри (довжина x ширина x висота)	1780x1370x1505

Таблиця 2.4

Технічна характеристика електроустаткування.

Електродвигун	AIP100L4SY3
кількість, шт	1
потужність, кВт	4.0

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруга, В	380/220
частота обертання, про/хв	1440
Електронасос	ПА - 22
кількість, шт	1
продуктивність, л/хв	22
тиск, Па	$1.53 - 2.04 \times 10^{-5}$
потужність, кВт	0.12
напруга, В	380/220
сила струму номінальна, А	0.3
частота обертання, про/хв	1440

Склад вібраційної установки.

Конструктивна схема віброустановки з позначенням основних складових частин наведена на рис.2.12

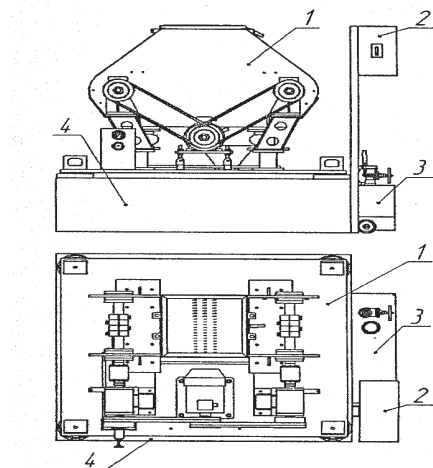


Рис. 2.12. Конструктивна схема віброустановки.

1. Машина вібраційна; 2. Електроустаткування; 3. Бак - відстійник;
4. Підставка

Склад установки і принцип роботи.

Позначення органів керування установкою представлено на мал. 2.13

					6261м. 08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

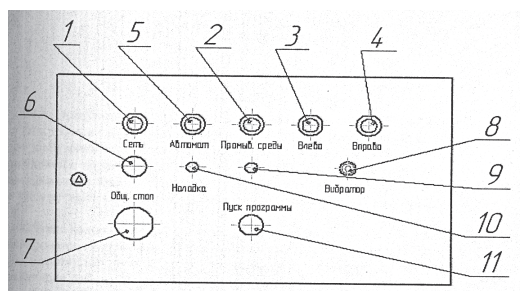


Рис. 2.13. Органи керування установкою.

Перелік органів керування установкою наведений у таблиці. 2.5

Таблица 2.5.

Перелік органів керування установкою

Поз. На мал.	Позначення на електричній схемі	Органи керування і їхнє призначення
1	HL1	Сигнальна лампочка вкл. «Мережа»
2	HL2	Сигнальна лампочка включення вібронасоса «Промивання середовища»
3	HL3	Сигнальна лампочка «Вібратор уліво»
4	HL4	Сигнальна лампочка «Вібратор вправо»
5	HL5	Сигнальна лампочка включення режиму «Автомат»
6	SB2	Кнопка вкл. «Мережа»
7	SB1	Кнопка «Загальний стоп»
8	SA3	Тумблер включення приводу вібромашини
9	SA2	Тумблер включення насоса «Промивання середовища»
10	SA1	Тумблер перемикавання режимів «Автомат» й «Налагодження»
11	SB3	Кнопка «Пуск програми»

Кінематична схема виброустановки.

Обертання валів вібратора 1 (рис. 2.14), розташованих на корпусі вібромашини по обидва боки робочої камери, здійснюється від електродвигуна 7.

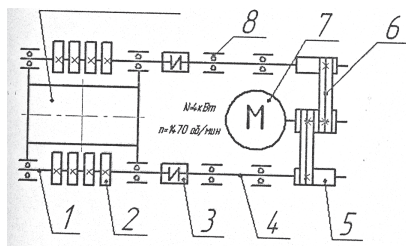


Рис.2.14. Кінематична схема віброустановки.

Синхронна передача крутного моменту від вала електродвигуна на вали вібратора здійснюється через клиноремінну передачу 5, 6, проміжні вали 4 і муфти 3. Амплітуда коливань вібраторів регулюється зміною ексцентриситету дебалансів 2, встановлених на валах.

Опис конструкції вібромашини.

Конструкція вибромашини являє собою несучий корпус 1 (рис.2.15), пружно встановлений на пневмоопорах основи.

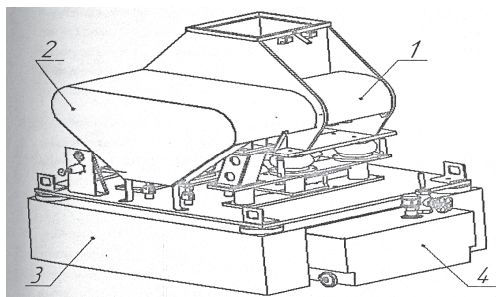


Рис. 2.15. Конструкція вібромашини.

Корпус є зварною конструкцією з вертикальною нішею для установки робочої камери 2 і кріплення колектора 3. По обидва боки ніші розташовані підшипникові вузли 4, для установки валів 5 двухвального вібратора з дебалансними вантажами 6.

Робоча камера являє собою квадратний короб, виконаний з нержавіючої сталі, із циліндричним перфорованим днищем. На обечайку короба, виконану з кутка, встановлюється перфорована рамка 7, що воложить робоче середовище.

Основа вібротренирувального машини містить нижню плиту 1 (рис. 2.16), дві опорні площадки 2 для гумовокордних оболонок 3 і проміжних опор 4, а також пневмопанель 5 із пневморозводкою 6 згідно пневмосхеми.

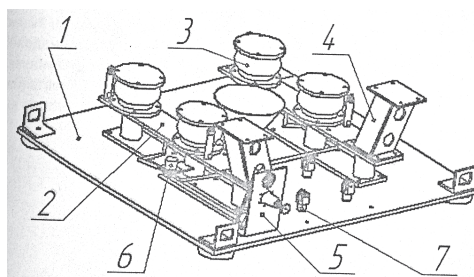


Рис. 2.16. Основа.

Синхронне обертання валів вібратора (рис. 2.17.) здійснюється від електродвигуна 2 через клиноремінну передачу зі шківів 3,4,5 і двома парами ременів 6. а також через опори 7 і гнучкі муфти 8. плита електродвигуна 9 з механізмом натягу ременів закріплена на вушках 7.

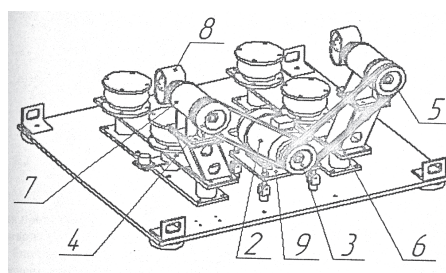


Рис. 2.17. Привід вібратора.

Основа 3 (мал. 2.17) являє собою прямокутну зварену конструкцію зі швелера й кутка, і призначена для більш компактного розташування установки на виробничій площі.

Бак - відстійник 4 (мал. 2.18.) є основним вузлом системи промивання робочого середовища. Схема промивання наведена нижче на рис. 2.18.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

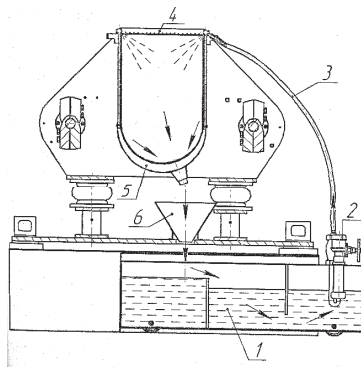


Рис. 2.18. Схема промивання робочого середовища.

Промивання середовища необхідне для видалення з робочої зони відходів віброобробки. У схему входять бак - відстійник 1 із закріпленим на ньому вібронасосом 2 типу ПА - 22, напірний шланг 3, кільцева система розбризкуачів 4, колектор з розподільними ґратами 5 і лійка 6.

Напірний шланг від насоса встановлюється після закінчення монтажу установки. Стики з'єднань установки й шланга покриваються клеєм «Герметик». Насос і бак - відстійник повинні бути з'єднані заземлюючим проводом з вібромашиною і з цеховою мережею заземлення.

Пневматична схема віброустановки.

У віброустановці стиснене повітря використовується для наповнення пневмокамер, що виконують функції пристроїв, для демпферування. Пневмосхема наведена на рис. 2.19

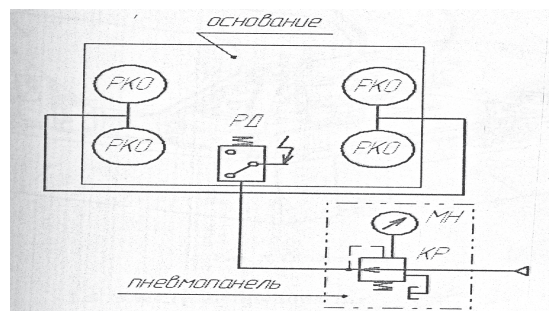


Рис. 2.19. Схема пневматична.

Стиснене повітря тиском 0.4 - 0.5 МПа із цехової пневмосистеми надходить у редукційний пружинний клапан КР. З редукційного клапана повітря під необхідним тиском надходить у гумовокордні оболонки РКО.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому тиск повітря встановлюється таким, щоб забезпечити співвісність валів вібратора й проміжних валів. Величина встановлюваного тиску визначається по манометру МН. Для запобігання можливості пуску або роботи електродвигуна вібропривода при відсутності або недостатньому тиску повітря в РКО в якості блокуючого пристрою використовується реле тиску РД. Воно включає електричний ланцюг електродвигуна при тиску повітря в РКО більше 0.15 Мпа.

З метою захисту персоналу від випадкового зіткнення з обертовими деталями й вузлами, установка обладнана знімними кожухами.

Електроустаткування.

Електроустаткування вібраційної установки виконано відповідно до принципової електричної схеми (мал.2.20)

До складу електричної частини вібромашини входить пульт керування з електроапаратурою й розташоване на станині самої машини устаткування:

- електродвигун насоса М1 змінного струму – 380 У, 50 Гц, потужністю $P_n=0.12\text{кВт}$;
- електродвигун вібромашини М2 змінного струму – 380 У, 50 Гц, потужністю $P_n=4\text{кВт}$ із номінальним числом оборотів $n = 1500 \text{ про/хв}$;
- реле тиску пневматичне Р.

На пульті розміщені наступні органи керування:

- вимикач автоматичний QF;
- кнопки керування SB2, SB3 і кнопка SB1 - «Загальний стоп»;
- лампи світлової сигналізації HL1 - HL5;
- тумблери SA1, SA2 і трипозиційний перемикач SA3.

У пульті встановлена панель із електроапаратурою, на якій розташовані:

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- запобіжник FU;
- пускачі електромагнітні ДО1 - ДО3;
- реле теплового захисту КК1, КК2;
- реле часу КТ1 - КТ3;
- реле змінного струму ДО4, ДО5.

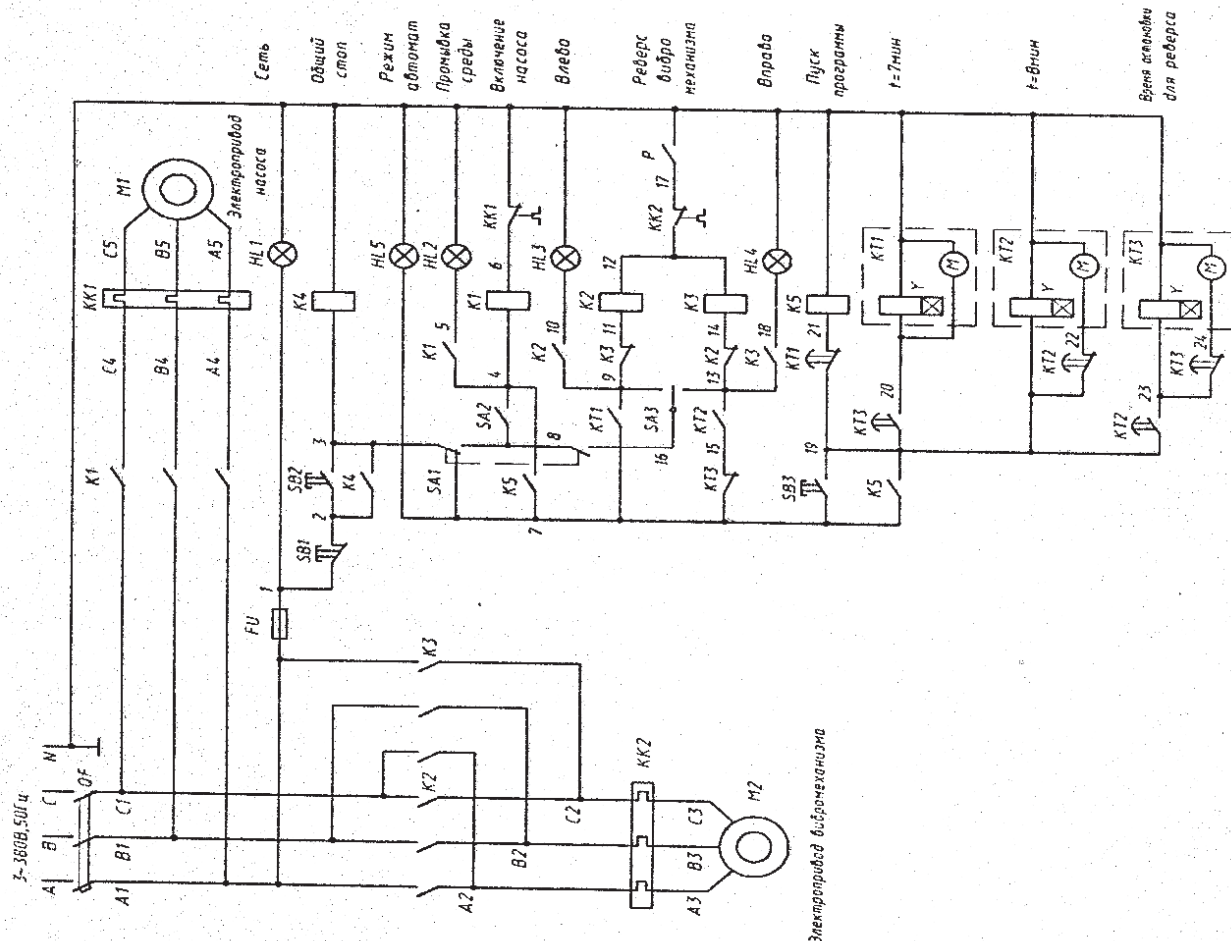


Рис. 2.20 Схема електрична.

Всі представлені на електросхемі позначення перебувають у таблиці 2.6.

Таблица. 2.6

Розшифровка наведених на електросхемі позначень

Позиція	Найменування	К-сть	Прим..
QF	Вимикач автоматичний АЕ2025	1	
FU	Запобіжник ПРС – 6П	1	

HL1	Сигнальна лампа ТЛО	1	
HL2-HL5	Сигнальна лампа ТЛЗ	4	
K1-K3	Пускач електромагнітний ПМЛ 1001	3	
KK1	Реле електротеплове РТЛ- 1003	1	
KK2	Реле електротеплове РТЛ - 1014	1	
KT1-KT3	Реле РП21 – 003УХЛ4А	2	
M1	Реле часу ВР – 33 – 1УХЛ4	3	t=60хв
M2	Електронасос ПА 22	1	
SB1	Електродвигун АИР100L4В3	1	
SB2-SB3	Кнопка КЕ - 022	1	червона
SA1,SA2	Кнопка КЕ - 011 вик.2	2	чорна
SA3	Перемикач П2Т1	1	
P	Реле тиску пневматичне	1	

Опис роботи електричної схеми.

Включенням автоматичного вимикача QF до силової частини схеми подається напруга 380 У, 50 Гц, а через запобіжник FU у схему керування надходить напруга живлення 220 V, 50 Гц, про що сигналізує лампа HL1 - «Мережа». Вимикач QF служить для захисту мережі від струмів короткого замикання, а запобіжник FU захищає від коротких замикань схему керування. Натисканням кнопки SB2 заживлюється реле ДО4, що своїм контактом шунтує SB2 і підготовляє схему до подальшої роботи. Перемиканням тумблера SA1 забезпечується робота схеми в автоматичному або налагоджувальному режимах.

Для роботи в налагоджувальному режимі необхідно тумблер SA1 встановити в положення «Налагодження». При цьому включення й відключення насоса M1 забезпечується тумблером SA2, а включення, зупинка й реверс двигуна вібромашини виконується трипозиційним перемикачем із середнім положенням - тумблером SA3. Налагоджувальний режим роботи схеми служить для перевірки працездатності

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроустаткування, а також для визначення в ході випробувань витримки реле часу КТ3, необхідної для зупинки приводу М2 вібромашини при її реверсуванні.

Для перемикання схеми в автоматичний режим роботи необхідно спочатку виключити тумблер SA2 й установити в нейтральне положення тумблер SA3, потім перемкнути у відповідне положення тумблер SA1; при цьому повинна включитися сигнальна лампа HL5 «Автомат». Пуск машини в автоматичному режимі здійснюється натисканням кнопки SB3 «Пуск програми». Включається реле ДО5, що своїм контактом шунтує кнопку SB3 і подає напругу живлення на реле часу КТ2 і пускач ДО1, що включає насос М1 і сигнальну лампу HL2 «Промивання середовища». Своїм контактом миттєвої дії реле КТ2 включить пускач ДО3, силові контакти якого підключають двигун М2 і почнеться обертання вібромеханізму, про що сигналізує лампа HL4 «Вправо». Котушки пускачів ДО2 і ДО3 живляться через контакт пневматичного реле Р, що блокує включення вібромеханізму при зниженні тиску в пневмосистемі. Теплові реле КК1 і КК2 здійснюють захист від струмів перевантаження двигуни М1 і М2 відповідно. Після закінчення встановленого часу контакт реле КТ2 замкне й підключить реле часу КТ3, що своїм контактом миттєвої дії відключить пускач ДО3.

Силові контакти ДО3 виключать двигун М2 і почнеться відлік витримки часу, необхідної для нормальної зупинки й реверса приводу. Після цього замкне контакт реле КТ3 і підключить реле часу КТ1, що своїм контактом миттєвої дії включить пускач ДО2, що підключає двигун М2. Відбувається реверс обертання вібраційного механізму в іншу сторону, про що сигналізує лампа HL3 «Уліво». Після закінчення встановленого часу реле КТ1 його контакт розімкне ланцюг живлення реле ДО5, що знеструмить ланцюги живлення автоматичного режиму, внаслідок чого відключаться двигуни М1 і М2.

Кнопкою SB1 здійснюється повна зупинка роботи встаткування вібромашини у випадку появи аварійних ситуацій. Після завершення

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи необхідно зробити загальне відключення електроустаткування вимикачем QF.

Експлуатаційні обмеження при використанні установки.

У таблиці 2.7. наведені технічні характеристики, недотримання яких неприпустиме за умовами техніки безпеки і які можуть привести до виходу установки з ладу.

Таблиця. 2.7

Експлуатаційні обмеження

Технічні характеристики	Значення
Електроживлення	380+18/-19V 50±1 Гц
Вплив навколишнього середовища: температура навколишнього повітря відносна вологість повітря	+5 +50°C 80% при t = 35°C
Опір контуру заземлення	Менше 4 Ом

2.6 Аналіз результатів вібраційної обробки досліджуваної робочої лопатки компресора.

Віброполірування.

Віброполірування здійснюється завдяки принципу роботи вібраційної установки, описаному вище. В якості наповнювача виступають спеціальні абразивні гранули.

Таблиця. 2.8

Порівняльний аналіз шорсткості, наклепу й втоми робочих лопаток компресора зі сплаву ВТ 3-1 при різних видах оздоблювальної обробки.

Вид обробки пера лопатки	Ra, мкм	Глибина наклепу, мм	Границя витривалості, σ_{-1} , МПа
Остаточне ручне полірування	0.65 - 0.8	0.030	300

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6261м.08.МР.08.02.ПЗ		

Остаточне ручне полірування + дифузійний відпал	0.65 – 0.8	0.020	290
Віброполірування	0.6 – 0.7	0.040	310

З таблиці 2.8 можна зробити наступні висновки:

Віброполірування супроводжується утворенням залишкових стискаючих напруг, що не перевищують, 200 МПа, та проникають на глибину не більше 0.040 мкм. Від величини напруг, вимірюваних на лопатках, оброблених традиційним ручним поліруванням, вони відрізняються трохи меншою величиною в поверхні й більшою глибиною залягання. У випадку застосування слідом за віброполіруванням дифузійного відпалу, величина залишкових напруг трохи зменшиться. Але не зміниться їхній знак. Крім того, наведені в даній таблиці значення границь витривалості показують, що опір утоми лопаток, підданих вібраційній обробці, вище, ніж у лопаток, оброблених за традиційною технологією - ручним поліруванням. Тобто:

- віброполірування дозволяє досягти меншої шорсткості й підвищує значення границі витривалості оброблюваної лопатки в порівнянні з традиційним ручним поліруванням;

- однак, віброполірування збільшує глибину наклепу на 10 мкм, у порівнянні із традиційним ручним поліруванням.

Слід також зазначити, що стосовно опору утоми залишкові стискаючі напруги на поверхнях робочих лопаток компресорів, виготовлених з титанових стопів, корисні. Однак, з огляду на можливість різких відхилень від встановлених режимів вже в процесі експлуатації компресора (пуск, реверс, аварійна зупинка), варто обмежувати залишкові напруги у поверхневих зонах деталі таким чином, щоб сумарні напруги не перевищували межі міцності матеріалу, що відповідає максимально можливій температурі експлуатації.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання залишкових напруг, як з боку спинки, так і з боку корита лопатки проводилося на приладі ПИОН - 2.

Не менш важливим є й той факт, що в компресорних лопатках відсутня кореляція між наклепом і залишковими напругами. Дана величина наклепу повністю знімається в процесі наробітку в 8002 години, тоді як залишкові напруги в поверхневому шарі зберігаються.

Однак, залежно від умов роботи всього ГТД рівень змінних напруг у лопатках компресора звичайно перебуває в межах 40 - 160 МПа. З урахуванням необхідного запасу міцності їхня границя витривалості, як правило, повинна перебувати в межах 300 - 350 МПа. Одержувана же при віброполіруванні границя витривалості становить усього 310 МПа. На опір лопаток втомі істотний вплив робить стан поверхневого шару, а саме:

- залишкові напруги - їхній знак, величина, глибина залягання, характер розподілу по перетинах лопатки;
- мікрорельєф поверхні - величина й характер мікронерівностей, наявність рисок й інших слідів попередньої обробки і їхній напрямок;
- структура поверхневого шару.

Тобто, на остаточних операціях обробки лопаток повинне бути забезпечене зняття мікронерівностей, рисок й інших дефектів попередньої механічної обробки (що досягається віброполіруванням) і створені в поверхневому шарі залишкові стискаючі напруги необхідної величини. Цього можна домогтися за допомогою методу віброзміцнення. Розглянемо його докладніше.

Віброзміцнення.

Процес віброзміцнення аналогічний описаному вище процесу віброполірування в частині використовуваного устаткування й технологічного оснащення. Однак як наповнювач при віброзміцненні використовуються сталеві кульки (сталь ШХ - 15) замість спеціальних полірувальних гранул, застосовуваних при віброполіруванні.

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Віброзміцнення, також зменшує шорсткість оброблюваної деталі за рахунок полірувального ефекту, створюваного ковзаючим зіткненням кульок й оброблюваних лопаток у контейнері вібраційної установки, що коливається в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Поряд із цим мікрорельєф оброблюваної поверхні здобуває плавні обриси, що збільшує опір утоми лопаток з титанових стопів, досить чутливих до надрізів.

Відбувається також і збільшення глибини наклепу. Найбільш значним воно є при зміцненні протягом 1.5 - 2.0 години. При збільшенні тривалості віброзміцнення до 4 годин глибина проникнення пластичної деформації й мікротвердість поверхні практично не змінюється. Отже, пренаклеп на вділочно-зміцнюючих операціях виключений. Крім того, наклеп що утворився при віброзміцненні сприяє підвищенню демпфіруючих властивостей, титанових стопів, наявність яких надзвичайно важлива особливо в кореновому перерізі лопаток компресорів ГТД.

Слід також зазначити, що віброзміцнення супроводжується подальшим збільшенням границі витривалості в порівнянні з номінальною (за номінальну прийнята границя витривалості, отримана після віброполірування). Як й у випадку зі зменшенням шорсткості й збільшенням глибини наклепу, найбільший ефект досягається при віброзміцненні лопаток протягом 1.5 - 2.0 години.

Таблиця 2.9

Зміна границь витривалості робочих лопаток компресора зі стопу ВТ 3-1 при віброзміцненні.

Час зміцнення, години	Границя витривалості, МПа	Підвищення границі витривалості стосовно номінальної, %
-	310	-
0.5	350	9.3

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.0	370	24.6
1.5	420	28
2.0	450	31.4

Результати досліджень, наведені в даній таблиці, свідчать про те, що ефективне зміцнення робочих лопаток компресора, виготовлених з титанового стопу ВТ 3-1, досягається протягом 1.5 - 2.0 години. Подальше збільшення часу візміцнення призводить до невиправданої трудомісткості даної операції.

Всі наведені вище результати свідчать про те, що застосування віброзміцнення для остаточної обробки робочих лопаток компресорів, виготовлених з титанових стопів, є доцільним. Однак цей позитивний ефект може бути досяжним тільки при оптимальних режимах обробки.

Під оптимальними режимами віброзміцнення лопаток компресорів розуміють такий режим деформації, що забезпечує необхідну довговічність лопаток при знакозмінних навантаженнях, а також здатність протистояти ударним навантаженням, які можуть виникнути на не стабільних режимах роботи або внаслідок надзвичайної ситуації.

Приведемо оптимальні режими й деякі параметри віброзміцнення робочих лопаток компресора з титанового сплаву ВТ 3-1.

Діаметр кульок, мм	1.5 – 2.5
Час обробки, години	1,5±0.2
Параметри коливань, що прикладають до стінок контейнера:	
частота, Гц	24±2
амплітуда, мм	3±0.5
Величина залишкових напруг, МПа	10 – 25
Глибина залягання максимальних залишкових напруг, мкм	60 - 120

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимальна глибина ПДШ (поверхово деформованого шару):

$$h_{\sigma \max} < 0.15 \times t_{\delta} \quad (2.61)$$

(t_{δ} – товщина оброблюваної деталі).

У нашому випадку товщина самого найтоного місця (вхідної й вихідної кромки) робочої лопатки 8-й шабля КНД із титанового сплаву ВТ 3-1 не перевищує 0.6 - 0.8 мм.

Виходить, глибина ПДШ складе 90 - 120 мкм відповідно.

Звідси можна зробити висновок, що вібраційне зміцнення може бути застосовно для розглянутої лопатки.

Не менш (а по даним деяких джерел і більше) перспективним методом зміцнення робочих лопаток компресорів з титанових стопів є ультразвукове зміцнення. Даний тип зміцнення поряд з підвищенням опору втоми лопаток стабілізує й комплекс фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Так здійснюється нейтралізація таких поверхневих дефектів, як риси, що призводить до збільшення границі витривалості. Збільшення границі витривалості також обумовлено утворенням у поверхневому шарі лопатки стискаючих залишкових напруг. У порівнянні з віброполірованими лопатками розсіювання границі витривалості зменшується на 60%. Однак даний метод є дорогим, крім того його впровадженню у виробництво заважає відсутність опрацювання цілого комплексу питань, пов'язаних з охороною праці.

В завершення, варто відзначити, що вібраційна обробка робочих лопаток компресорів ГТД крім всіх зазначених вище переваг може бути також використана й при проведенні ППР ГТД. Так доведено, що застосування віброзміцнення дозволяє зняти ушкоджений ерозією шар і механічні ушкодження, що виникають у процесі експлуатації, глибиною 0.02 - 0.03 мм. У поверхневому шарі наводяться тільки стискаючі напруги

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порівняно невеликого рівня. У результаті підвищується якість поверхні лопатки, а також відновлюється границя витривалості.

Стосовно ж до технології виготовлення робочих лопаток компресорів ГТД необхідно також вказати, що вібраційна обробка дозволяє досягти стабільної якості поверхні й характеристик циклічної міцності по всьому профілю пера лопатки; виключає можливість утворення прижогів і тріщин, характерних для ручного полірування.

Не менш важливим є й той факт, що вібраційна обробка дозволяє істотно автоматизувати весь комплекс відділочно-зміцнюючих технологічних операцій, виключити з нього застосування ручної праці, перемістивши його з області механічної обробки в область завантажувальних і розвантажувальних операцій, знизити трудомісткість й у результаті домогтися істотного позитивного економічного ефекту (що буде детально розглянуто в економічній частині проекту).

					6261м.08.МР.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1. Матеріали лопаток компресорів.

Лопатки компресора виготовляють в основному з конструкційних сталей і титанових стопів. У зв'язку з постійним ростом ступеня підвищення тиску в осевих компресорах сучасних газотурбінних двигунів і пов'язаного із цим підвищення температур повітря, сфера застосування конструкційних сталей істотно звузилась.

У зв'язку із цим значне поширення одержали лопатки з титанових стопів. Їхньою особливістю є висока границя міцності, що не уступає високолегованим конструкційним сталям, при порівняно малій питомій вазі ($\gamma = 4.54 \text{ кг/м}^3$). Високі міцнісні властивості титанових стопів у сполученні з малою питомою вагою визначають їхнє широке застосування при виготовленні компресорних лопаток газотурбінних двигунів.

Необхідно, однак, відзначити, що титанові стопи мають високу чутливість до концентрації напруг, що у свою чергу зобов'язує особливо ретельно стежити за тим, щоб при механічній обробці лопаток з титанових стопів не з'являлися випадкові ризики або подряпини.

Розглянута в даній роботі робоча лопатка компресора виготовлена з титанового стопу ВТ 8. []

Хімічний склад стопу ВТ8 відповідно до ГОСТ 90013 - 89

Ti	85.5%
Al	5.5 – 7.0%
Mo	2.0 – 3.0%
Cr	0.8 – 2.3%
Si	0.15 – 0.40%
Fe	0.20 – 0.70%
C	не більше 0.10%
Zr	не більше 0.50%
O ₂	не більше 0.18%
N ₂	не більше 0.05%

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

H₂ не більше 0.015%

Сума інших домішок: не більше 0.30%

Механічні властивості матеріалу при розтяганні - стиску, крутінні, вигині із крутінням, зрізі.

Щільність матеріалу ρ 4500 кг/м³

Модуль зсуву G 4600 МПа

Границя пропорційності при крутінні $\tau_{\text{пл}}$ 580 МПа

Умовна границя плинності при крутінні $\tau_{0.3}$ 700 Мпа

Границя витривалості при крутінні τ_B 890 МПа

Максимальний не призводячий до
руйнування кут закручування 435°

Границя витривалості залежно від кута перекосу σ_B

0° $\sigma_B = 1430$ МПа

2° $\sigma_B = 1300$ МПа

4° $\sigma_B = 1130$ МПа

6° $\sigma_B = 830$ МПа

Границя витривалості при стиску $\sigma_{\text{сж}}$ 1750 МПа

Умовна границя витривалості при стиску $\sigma_{0.2 \text{ сж}}$ 950 МПа

Відносне вкорочення при стиску Δ 23%

Границя міцності при крутінні τ 700 (Мпа)

Коефіцієнт Пуассона μ 0.3

Початкова температура повзучості t 400°С

Інші дані про характеристики стопуу для розрахунків на повзучість не наведені, тому що в даній роботі розглядаються лопатки компресора, що працюють при температурах нижче початкової температури повзучості стопу ВТ 8.

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1

Дані про можливі види термічної обробки ступу ВТ 8.

Вид термічної обробки	Температура, °C	Час витримки, години	Умови охолодження
Неповний відпал	530 – 620	0.5 – 4	На повітрі, в аргоні
Ізотермічний відпал	870 - 920	1 – 4	У печі
	600 – 650	2	В аргоні
Подвійний відпал	870 – 920	1 – 4	У печі
	550 - 600	2 - 5	У печі
Гартування	840 -900	1 – 4	У воді
Старіння	500- 620	1 – 6	На повітрі

Таблиця 3.2

Дані про можливі види гарячої обробки тиском ступу ВТ 8

Вид обробки	Температура деформації, °C		Ступінь деформації, %	Умови охолодження
	початку	закінчення		
Кування злитка	1180	850	Більше 40	На повітрі
Кування попередньо деформованої заготовки діаметром: до 100 мм	1000 - 980	820	40 – 50*	
			70**	
більше 100 мм	1100-1020	850	40 – 50*	
			70**	
Штампування на пресі	930 – 950	800	40 – 60	

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Штамування на молоті	940 – 980	850	40 - 60	
-------------------------	-----------	-----	---------	--

Примітка:

* - деформація в $\alpha + \beta$ - області

** - деформація в β - області

3.2 Вибір заготовки.

Найпоширенішими видами заготовок робочих лопаток компресорів з титанових стопів виступають:

- штампування із припуском по перу 2.0 - 3.5 мм на механічну обробку;
- точне штампування із припуском по перу 1.0 - 1.5 мм на механічну обробку.

Слід зазначити, що підвищення точності виготовлення заготовок різко знижує не тільки витрати на експлуатацію різального інструменту, але й стійкість штампів, а також змушує вводити додаткові операції в ковальських цехах. Тому навіть в умовах серійного виробництва трудомісткість цих додаткових операцій і збільшення витрат штампів часто перевищує економію, що досягається в механічних цехах у результаті скорочення припусків під механічну обробку лопаток. Ще більш істотним буде те, що при виготовленні лопаток зі зменшеними припусками виникають більше труднощів в усуненні можливого виникнення жолоблення пера при наступній термообробці й на початковій операції механічної обробки. У такий спосіб на цьому етапі скорочення трудомісткості механічної обробки досягається значним підвищенням трудомісткості штампування заготовок.

Перспективний також метод гарячого видавлювання з наступним вальцюванням. Суть даного процесу в тому, що нагріта мірна заготовка, що має циліндричну форму, піддається осаджуванню й наступному видавлюванню. Після такої обробки в заготовці утвориться замок і перо

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наближеної аеродинамічної форми (без закручення). Після другого нагрівання заготованку пропускають через вальці, що надають перу необхідний профіль і закручення. Припуск на механічну обробку в цьому випадку становить приблизно 0.3 - 0.5 мм. Однак, для досягнення подібної точності заготованки штамп повинен мати невеликі розміри (для досягнення необхідного зусилля штампування), внаслідок чого виникають істотні обмеження стосовно розмірів заготованки. Тому даний спосіб, може застосовуватися тільки для виготовлення заготованок лопаток КВД останніх щаблів.

В якості заготованки для розглянутої нами робочої лопатки компресора вибираємо штампування. Штампування буде проводитися на спеціальному штампувальному устаткуванні. Перейдемо до розрахунку заготованки.

1. Зважаючи на те, що лопатку компресора формують криволінійні поверхні, розташовані під різними кутами в просторі, доцільно розташувати площину рознімання штампа паралельно осі ЦМ -перерізів. Таким чином, площина рознімання штампа буде проходити через центр мас кожного з розрахункових перерізів лопатки, кут нахилу яких до площини рознімання штампа буде відповідати куту їхнього нахилу до осі ЦМ -перерізів.

2. Визначимо масу кованки.

$$G_n = K_n \times \gamma \times V \quad (3.1)$$

У формулі (3.1)

K_n – коефіцієнт, що враховує величину припусків. $K_n = 1.03$ для нашого випадку.

γ – питома вага матеріалу. Для титанового сплаву ВТ 8 $\gamma = 431 \text{ кг/м}^3$

V – об'єм деталі.

Приймаємо $V = 0.0015 \text{ м}^3$

Тоді маса кування складе:

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\Pi} = 0.206 \text{ (кг)}$$

Визначаємо ступінь складності кування як відношення її обсягу до обсягу, описаної навколо її фігури.

$$C = \frac{V_n}{V_{\phi}} \quad (3.2)$$

$$V_n = \frac{G_n}{\gamma} \quad (3.3)$$

Тоді об'єм кування по формулі (3.3) складе:

$$V_n = \frac{0.206}{431} = 4.7 \times 10^{-5} \text{ (кг / м}^3\text{)}$$

Ступінь складності кування:

$$C = \frac{4.7 \times 10^{-5}}{13.4 \times 10^{-5}} \approx 0.35$$

Дане значення відповідає ступеню складності С1

Зважаючи на те, що ступінь точності штампування Т1, категорія матеріалу М1, то одержуємо відповідно до доповнення (4.1) [] вихідний індекс штампування 1.

Тепер можна перейти до призначення припусків. Нам необхідно призначити припуск по перу, по ширині пера й по замку.

Відповідно до ГОСТ 7505 - 89 призначаємо наступні припуски:

- припуск по перу: 3 мм на сторону
- припуск по ширині пера -5 мм
- по замку 1.5±2 мм на сторону.

Штампувальні нахили призначаємо в межах 7°.

Інші технічні вимоги на виготовлення даної заготовки зазначені в графічній частині проекту.

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу (КИМ).

$$КИМ = \frac{G_o}{G_3} \quad (3.4)$$

де

G_o – маса деталі (кг)

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

G_3 – маса заготовки (кг)

У такий спосіб

$$КИМ = \frac{0.140}{0.206} = 0.72$$

Отримане значення вище від виробничого аналогу, що становить 68%.

3.3 Оброблюваність титанових сплавів.

При обробці деталей з титанових сплавів однієї марки, але різних плавок, допустима швидкість різання змінюється в значних межах (у два рази й більше в порівнянні з обробкою конструкційних сталей). Це обумовлено тим, що на оброблюваність титанових сплавів великий вплив справля вміст у них різних компонентів (алюмінію, хрому, а також домішок і таких газів як кисень, азот й ін.). При призначенні режимів різання на обробку лопаток з титанових стопів необхідно враховувати те, що згідно з довідниками [] титанові стопи належать до VII групи матеріалів відповідно до оброблюваності матеріалу. Вміст алюмінію й кисню треба контролювати в деталях кожної партії й залежно від цього корегувати припустиму швидкість різання. Обробку титанових стопів рекомендується вести інструментами, оснащеними або пластинками із твердого сплаву ВК 4, ВК 8, або інструментами зі швидкорізальної сталі Р6М5К5.

3.4 Розрахунок режимів різання на фрезерну чистову операцію.

У даному проекті докладно розглянутий розрахунок режимів різання на фрезерну з ЧПК операцію по чистовій обробці профілю пера лопатки компресора на верстаті типу обробний центр моделі Shtarrag NX - 154.

Елементи режимів різання встановлюють у наступному порядку:

- глибина різання t ;
- подача s ;
- швидкість різання v .

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задамося глибиною різання. У цьому випадку для чистової обробки глибина різання складе $t = 1 \text{ мм}$.

Наступним кроком є визначення подачі на оберт s_o . Подачу на оберт можна визначити, знаючи подачу на зуб і число зубів фрези.

По [] визначаємо подачу на зуб $s_z = 0.105 \text{ мм/зуб}$. З конструктивних міркувань приймаємо для чистової фрези з повним радіусом закруглення $z = 4$ зуби.

Визначаємо подачу на оберт:

$$s_o = s_z \times z \quad (3.5)$$

$$s_o = 0.105 \times 4 = 0.42 (\text{мм} / \text{об})$$

Визначаємо швидкість різання.

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v \quad (3.6)$$

K_v – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання.

$$K_v = K_{Mv} \times K_{Iv} \times K_{iv} \quad (3.7)$$

K_{Mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу.

По табл. 4 [] знаходимо $K_{Mv} = 0.8$

K_{Iv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготованки.

По табл. 5 [] знаходимо $K_{Iv} = 1.0$

K_{iv} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента.

З огляду на те, що різальний інструмент на дану операцію виготовлений зі швидкорізальної сталі Р6М5К5 по табл. 6 [] знаходимо: $K_{iv} = 1.0$

Визначаємо загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_{Mv} = 0.8 \times 1.0 \times 1.0 = 0.8$$

По табл. 39 [] визначаємо значення коефіцієнта C_v і значення показників ступенів x, y, q, u, p, m .

$$C_v = 53; q = 0.45; x = 0.3, y = 0.2; u = 0.1; p = 0.1; m = 0.33.$$

Стійкість застосовуваної на даній операції фрези $T = 60 \text{ хв}$.

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначивши всі необхідні для розрахунку дані, знаходимо швидкість різання:

$$v = \frac{53 \times 56.5^{0.45} \times 0.8}{60^{0.33} \times 1^{0.3} \times 0.105^{0.2} \times 12^{0.1} \times 4^{0.1}} = 90 (\text{м} / \text{мин})$$

Припуск, залишений на чистову обробку, може бути знято за один прохід. Тому приймаємо число проходів $i = 1$.

Визначаємо частоту обертання шпинделя верстата. Зважаючи на те, що обробний центр Shtarrag NX – 154 має кроковий двигун, то частота обертання шпинделі може змінюватися безступенево. Приймаємо $n = 1000$ об/хв по []

					6261м.08.МР.08.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1. Опис роботи й розрахунок зусилля затиску в пристосуванні.

У даному розділі розглядається пристосування, призначене для виконання фрезерних операцій по обробці профілю пера й радіусів переходу робочої лопатки компресора на верстаті типу обробний центр моделі Shtarrag NX - 154.

Опис роботи пристосування.

У пристосуванні знаходяться два вмонтованих пневмоприводи, призначені для фіксації замка лопатки в наладці пристосування 1. При подачі стисненого повітря відбувається розжим тарілчастих пружин 16 і стиск тарілчастих пружин 15. Поршень 8 разом зі штовхачем 5 опускається до упору у фіксуючий гвинт 17. Одночасно прихват 4 відходить убік до упору в гайку 3. Цим звільняються базові поверхні наладки 1, виконані у формі замка лопатки типу «ласточкін хвіст», для можливості встановлення в пристосування оброблюваної лопатки. Після встановлення лопатки в пристосування подача стисненого повітря припиняється. Стиснене повітря виходить через технологічні отвори наладки 1 і основи 6. Під дією пружності тарілчасті пружини 15 й 16 повертають у вихідне положення поршень 8, штовхач 5 і прихват 4. Цим досягається одночасно базування лопатки і її фіксація затискними елементами пристосування й упором 2.

Надійна робота пневмопривода забезпечується шляхом встановлення напрямних втулок 10 й 11, у які монтуються гумові кільця 9. Такі ж кільця встановлюються в поршні 8 і прихваті 4. Для запобігання витоків і перетічок з однієї порожнини пневмоциліндра в іншу стисненого повітря в розйомі між наладкою 1 і пневмоциліндром 7 встановлено гумове ущільнення 14.

Необхідна точність встановлення пристосування на робочому столі верстата досягається за допомогою комплектів установочних штифтів 12 і центрувальних штифтів 13.

					6261м.08.МР.08.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок сили затиску.

Вихідне зусилля на поршні пневмоциліндра може бути обчислене по формулі (4.1):

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} p - (f \pi D + c) \quad (4.1)$$

де:

Q - сила затиску, що розвиває пневмоциліндром

D – діаметр робочої камери пневмоциліндра $D = 40$ мм

p – тиск у пневмомережі $p = 0.5$ МПа

c - коефіцієнт жорсткості пружини.

f – коефіцієнт тертя.

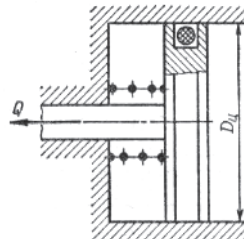


Рис.4.1. Схема розрахунку сили затиску.

По табл. 17. [] визначаємо коефіцієнт тертя при терті сталевого поршня пневмоциліндра й ущільнювального гумового кільця.

$$f = 0.55$$

$$c = 1.2 \text{ - з []}$$

Підставивши усі вище зазначені дані у формулу (4.1) визначаємо силу затиску, що розвиває на поршні пневмоциліндра:

$$Q = 15.1 \text{ (Кн)}$$

Отримане значення сили затиску пристосування більше, за сили різання, що розвиваються в процесі обробки, отже, надійне закріплення заготовки в пристосуванні й вимоги техніки безпеки гарантовані.

4.2. Розрахунок різального інструменту.

У даному проекті проведемо розрахунок різального інструменту, застосовуваного на чистовій фрезерній з ЧПК операції. На цій операції по

					6261м.08.МР.08.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробці профілю пера лопатки (як спинки, так і корита) за один установ застосовується фасонна фреза з повним радіусом закруглення. Проведемо міцнісні розрахунки фрези й визначимо її діаметр.

Головна складова сили різання R – тангенційна сила P_z може бути визначена по формулі (4.3):

$$P_z = \frac{9.81 \times C_p \times t^x \times s_z^y \times B \times z}{D^{q_p}} \quad (4.2)$$

C_p – постійна.

Відповідно до табл. 41 [] визначаємо $C_p = 68.2$

Також по табл. 41 визначаємо значення коефіцієнтів:

$$x_p = 0.85; y_p = 0.74; q_p = 0.86$$

Дані щодо подачі, глибини різання й числа зубів фрези наведені в технологічній частині проекту.

У підсумку одержимо:

$$P_z = \frac{9.81 \times 68.2 \times 6^{0.85} \times 0.15^{0.74} \times 12 \times 4}{56.5^{0.86}} = 14250(H) = 14.25(kH)$$

Рівнодіюча всіх трьох сил різання може бути обчислена по формулі (4.4):

$$R = \sqrt{Px^2 + Py^2 + Pz^2} \approx 1.411Pz \quad (4.3)$$

Тоді одержуємо:

$$R = 1.411 \cdot 14.25 = 20.106 (Kn)$$

Дану фрезу можна розглядати як жорстко-защимлену балку, яку піддано одночасному впливу навантаження вигину із крутінням.

У цьому випадку сумарний момент, що діє на оправку з фрезою, складається зі згинального моменту, що виникає під дією сил різання й крутного моменту, наявність якого обумовлено самою кінематикою процесу фрезерування. Тобто:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{M_{\text{кр}}^2 + M_{\text{изг}}^2}$$

У розглянутому нами випадку ця залежність може бути перетворена у формулу (4.5):

					6261м.08.МР.08.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\left(\frac{3}{16} Pl\right)^2 + \left(\frac{P_z D}{2}\right)} \quad (4.4)$$

У даній формулі:

l - виліт різального інструменту.

З конструктивних міркувань приймаємо $l = 86$ мм.

Тоді одержуємо:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\left(\frac{3}{16} 20106 \times 86 \times 10^{-3}\right)^2 + \left(\frac{14250 \times 25 \times 10^{-3}}{2}\right)} = 1770 (H \cdot m)$$

Далі нам необхідно визначити діаметр фрези. Він може бути визначений по формулі (4.6):

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сум}}}{0.1[\sigma]}} \quad (4.5)$$

$[\sigma]$ – допустима границя міцності матеріалу оправки.

Оправку виготовлено з конструкційної сталі 30 ХМ. Для цієї сталі в літературі [] наведене наступне значення $[\sigma] = 250$ МПа

Тоді шуканий діаметр:

$$d = \sqrt[3]{\frac{1770}{0.1 \times 250 \times 10^6}} \approx 19 (мм)$$

З конструктивних міркувань приймаємо діаметр фрези $d = 20$ мм.

4.3. Опис установки для контролю власної частоти коливань робочих лопаток компресора

Після закінчення вброзміцнюючої обробки робочих лопаток компресора, контролюють їхню власну частоту.

Форми й частоти коливань для лопаток кожного ступеня компресора попередньо розраховуються за допомогою прикладного пакета програм ANSYS WORKBENCH. Частотний контроль здійснюється збудженням змушених коливань лопаток, затиснутих у пристосуванні.

Апаратура збудження:

- підсилювач частоти ТУ - 5 - 3 потужністю 5 кВт;

					6261м.08.МР.08.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- електродинамічний вібратор потужністю 5 кВт. Елементом збудження вібратора є короткозамкнена дюралюмнева звукова котушка, що знаходиться в постійному магнітному полі;

- звуковий генератор типу ЗГ - 2А;

- випрямляч типу СВ - 24 - 64/

Вимірювальна апаратура:

- звуковий генератор типу ЗГ - 2А, по шкалі якого визначаються частоти коливань;

- еталонні лопатки;

Лопатки для вимірів вибираються з кожної серії.

Схема установки представлена на рис. 4.2.

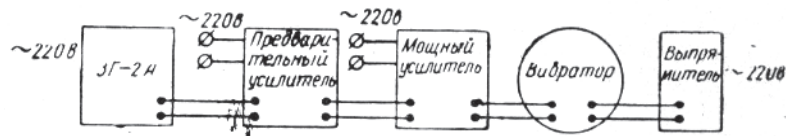


Рис. 4.2. Схема установки для контролю власної частоти коливань лопаток.

Послідовність проведення контрольно – вимірювальних робіт.

Після встановлення на вібраторі пристосування для затиску лопаток, апаратуру прогрівають протягом 30 хв і встановлюють генератор на нуль.

Затискне пристосування й показання генератора варто перевіряти по зразкових лопатках у наступній послідовності:

- вставити лопатку у вкладиш спинкою вниз;

- вставити лопатку із вкладишем у гідрозатиск;

- затиснути лопатку;

- установити нижчу частоту, задану для даної лопатки;

- подати напруга 10 В з генератора на вхід підсилювача;

- налаштувати положення «Резонанс» на шкалі. При цьому частота коливань лопатки повинна перевищувати розрахункову не більше, ніж на 3 Гц;

					6261м.08.МР.08.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зняти отриману форму коливань і порівняти її з розрахунковою. Якщо отримана форма коливань укладається у встановлені допуски, то приступають до контролю наступної, більш високої частоти.

Контроль високочастотних форм коливань лопаток, починаючи з форми $m=1$, $n=3$ здійснюють у тім же порядку, з тією лише різницею, що після затиску контрольовану лопатку змащують гасом.

Вид всіх контрольованих форм коливань заноситься в праву частину спеціального протоколу. У його лівій частині вказуються відповідні розрахункові форми коливань. У випадку, якщо хоча б одна з контрольованих форм коливань більш ніж на 5% відхиляється від розрахункової - лопатку бракують.

					6261м.08.МР.08.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Проектування діляниці

5.1 Розрахунок трудоємкості та верстатоемкості діляниці

5.1.1. Вихідні дані для проектування діляниці

Вихідні дані для зручності зводимо у таблицю

Таблиця 5.1. Вихідні дані для проектування діляниці

Найменування деталі	Вал-шестерня
Марка матеріалу	38ХН3МФА
Річна програма	500 шт.
Маса деталі	685 кг
Маса заготовки	1016 кг
Режим роботи	1 зміна

Таблиця 5.2. Технологічний процес виготовлення деталі вал-шестерня

Номер і найменування операції	Модель верстата	Розряд	Норма часу, хв	
			Т _{шт}	Т _{п.з.}
1	2	3	4	5
005 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
010 Фрезерно-центрувальна	МР-76М	2	19	18
015 Токарно-гвинторізна	165	3	50,3	12
020 УЗК	УЗ дефектоскоп	4	-	-
025 Гартування-термопокращення	Піч СНЗ-11.22.7/12	3	-	-
030 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
035 Токарно-гвинторізна	165	3	83,42	12
040 Токарно-гвинторізна	165	3	209,65	12
045 Зубофрезерна (чорнова)	КУ - 331	3	441	12
050 Полірувальна	Верстак слюсарний	3	17,2	8
055 Промивка	Ванна 9920-1459	2	-	-

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.2. Технологічний процес виготовлення деталі вал-шестерня

1	2	3	4	5
060 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
065 Стабілізація	-	3	-	-
070 Очистка - піскоструйна	44712	3	-	-
075 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
080 Токарна з ЧПК	1Н65РФЗ	3	100,1	9
085 Круглошліфувальна	3А174	3	47,3	6
090 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
095 Зубофрезерна (чистова)	КУ - 331	3	97,24	12
100 Полірувальна	Верстак слюсарний	3	25,6	8
105 Зубошевінгувальна	RFw-10S	3	73,7	13
110 Полірувальна	Верстак слюсарний	3	25,2	8
115 Промивка	Ванна 9920-1459	2	-	-
120 Магнітний контроль	-	4	-	-
125 Промивка	Ванна 9920-1459	2	-	-
130 Гальванічна-лужіння	-	3	-	-
135 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
140 Азотування	-	3	-	-
145 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
150 Радіально-свердлувальна	RF-31/B	3	98,36	8
155 Вертикально-фрезерна	6Р12П	3	17,2	12
160 Слюсарна	Верстак слюсарний	3	18,4	8
165 Круглошліфувальна	3А174	3	57,16	6
170 Зубофрезерна	КУ - 331	3	46,11	12
175 Полірувальна	Верстак слюсарний	3	17,1	8
180 Балансувальна	9718	4	-	-
185 Радіально-свердлувальна	RF-31/B	3	21,3	8
190 Балансувальна	9718	4	-	-

					6261М.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.2.

1	2	3	4	5
195 Промивка	Ванна 9920-1459	2	-	-
200 Магнітний контроль	-	4	-	-
205 Промивка	Ванна 9920-1459	2	-	-
210 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
215 Оксидування	-	4	-	-
220 Технічний контроль	Плита контрольна	4	-	-
Разом:			1465,34	192

5.1.2 Розрахунок розміру партії деталі

Об'єктом календарно-оперативного планування на ділянці є партія деталей, під розміром якої розуміється кількість однакових деталей, оброблюваних на кожній операції з однократною витратою підготовчо-заключного часу. Мінімальний розмір партії визначається по формулі:

$$n = \frac{\sum T_{пз}}{\sum T_{шт}} \times K_c$$

де $T_{пз}$ – підготовчо-заключний час;

$T_{шт}$ – штучний час на операцію;

K_c – коефіцієнт серійності.

Для серійного виробництва $K_c=20\ldots40$.

$$n=192/1465,34 \times 20=0,131 \times 20=2,62$$

Приймаємо розмір партії деталі $n=3$

Кількість запусків визначаємо по формулі: $K = \frac{N}{n}$,

де N – річна програма, шт.;

n – розмір партії деталей, шт.

$$K = 500 / 3 = 167 \text{ разів}$$

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.3 Розрахунок штучно-калькуляційного часу по операціях

Розрахунок штучно-калькуляційного часу проводиться для визначення річної трудомісткості кожної операції, потрібної кількості обладнання, розрахунку чисельності основних робітників, а також нарахування їхньої заробітної плати.

Штучно-калькуляційний час обчислюється по формулі:

$$T_{шт.к} = T_{шт.} + (T_{пз} / n)$$

де $T_{шт.к}$ – час, штучно-калькуляційний хв;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час, хв;

n – розмір партії деталей, шт.

Таблиця 5.4. Розрахунок штучно-калькуляційного часу, для про нормованих операції технологічного процесу на механічну обробку вал-шестерні.

Фрезерно-центрувальна	$T_{шт.к} = 19 + (18 / 3) = 25 \text{ хв.} = 0,42 \text{ год.}$
Токарно-гвинторізна	$T_{шт.к} = 50,3 + (12 / 3) = 54,3 \text{ хв.} = 0,9 \text{ год.}$
Токарно-гвинторізна	$T_{шт.к} = 83,42 + (12 / 3) = 87,42 \text{ хв.} = 1,46 \text{ год.}$
Токарно-гвинторізна	$T_{шт.к} = 209,65 + (12 / 3) = 213,65 \text{ хв.} = 3,56 \text{ год.}$
Зубофрезерна (чорнова)	$T_{шт.к} = 441 + (12 / 3) = 445 \text{ хв.} = 7,42 \text{ год.}$
Полірувальна	$T_{шт.к} = 17,2 + (8 / 3) = 19,87 \text{ хв.} = 0,33 \text{ год.}$
Токарна з ЧПК	$T_{шт.к} = 100,1 + (9 / 3) = 103,1 \text{ хв.} = 1,72 \text{ год.}$
Круглошліфувальна	$T_{шт.к} = 47,3 + (6 / 3) = 49,3 \text{ хв.} = 0,82 \text{ год.}$
Зубофрезерна (чистова)	$T_{шт.к} = 97,24 + (12 / 3) = 101,24 \text{ хв.} = 1,69 \text{ год.}$
Полірувальна	$T_{шт.к} = 25,6 + (8 / 3) = 28,27 \text{ хв.} = 0,47 \text{ год.}$
Зубошевінгувальна	$T_{шт.к} = 73,7 + (13 / 3) = 78,03 \text{ хв.} = 1,3 \text{ год.}$
Полірувальна	$T_{шт.к} = 25,2 + (8 / 3) = 27,87 \text{ хв.} = 0,46 \text{ год.}$
Радіально-свердлувальна	$T_{шт.к} = 98,36 + (8 / 3) = 101,07 \text{ хв.} = 1,68 \text{ год.}$
Вертикально-фрезерна	$T_{шт.к} = 17,2 + (12 / 3) = 21,2 \text{ хв.} = 0,35 \text{ год.}$
Слюсарна	$T_{шт.к} = 18,4 + (8 / 3) = 21,07 \text{ хв.} = 0,36 \text{ год.}$

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.4.

Круглошліфувальна	$T_{шт.к} = 57,16 + (6 / 3) = 59,16 \text{ хв.} = 0,94 \text{ год.}$
Зубофрезерна	$T_{шт.к} = 46,11 + (12 / 3) = 50,11 \text{ хв.} = 0,83 \text{ год.}$
Полірувальна	$T_{шт.к} = 17,1 + (8 / 3) = 19,77 \text{ хв.} = 0,33 \text{ год}$
Радіально-свердлувальна	$T_{шт.к} = 21,3 + (8 / 3) = 23,97 \text{ хв.} = 0,4 \text{ год}$
Разом:	$\Sigma T_{шт.к} = 1068,1 \text{ хв.} = 17,8 \text{ год}$

5.2 Визначення кількості обладнання ділянки

5.2.1 Визначення фонду часу роботи обладнання

Календарний фонд часу роботи устаткування обчислюється множенням числа календарних днів (D) у розрахунковому періоді на число годин у добу:

$$\Phi_k = D \cdot 24 = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год.}$$

Номінальний фонд часу роботи устаткування – кількість робочих днів у році відповідно до прийнятого режиму роботи без обліку планових втрат часу на ремонт обладнання:

$$\Phi_n = D_p \times T_{см} \times h - 1 \times D_{np} = 251 \times 8 \times 1 - 10 = 1998 \text{ год.}$$

де D_p – кількість робочих днів за рік;

$T_{см}$ – тривалість зміни, год;

h – кількість змін;

D_{np} – кількість передсвяткових днів.

Ефективний фонд часу роботи обладнання дорівнює номінальному, зменшеному на час перебування верстатів у ремонті, що враховується коефіцієнтом β ($\beta = 0,019$ - для універсальних верстатів масою до 10т, $\beta = 0,047$ - для верстатів з ЧПК масою до 10т):

$$\Phi_{ef} = \Phi_n (1 - \beta) = 1998 (1 - 0,019) = 1960 \text{ год.}$$

$$\Phi_{ef} = \Phi_n (1 - \beta) = 1998 (1 - 0,047) = 1904 \text{ год.}$$

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.2 Розрахунок потрібної кількості устаткування і його завантаження

До основного виробничого обладнання дільниці механічного цеху відноситься обладнання, що виконує технологічні операції. На дільниці механічного цеху це металорізальні верстати. При розробці технічного проекту дільниць цехів серійного виробництва визначення потрібної кількості обладнання ведеться точним методом, тобто на основі підрахунку річної трудомісткості обробки всіх деталей, закріплених за даним типом верстата, і дійсного фонду часу роботи обладнання.

Потрібна кількість обладнання визначається за формулою:

$$C_{pi} = \frac{TH_i}{\Phi_{ef} \cdot K_{вн}},$$

де Φ_{ef} – ефективний річний фонд часу роботи обладнання, верст.-год;

$K_{вн}$ – коефіцієнт виконання норм часу ($K_{вн}=1,1$, $K_{вн}$ на ЧПК = 1,0).

TH_i – річна трудомісткість виготовлення деталі на i -тому обладнанні, н-год.

$$TH_i = T_{шт-кi} \cdot N,$$

де $T_{шт-кi}$ – сумарний штучно-калькуляційний час обробки однієї деталі на i -тому типі обладнання, год;

N – річний програма випуску деталей, шт.

Коефіцієнт завантаження i -того типу устаткування являє собою відношення розрахункового числа одиниць до прийнятого:

$$K_{zi} = \frac{C_p}{C_{пр}}.$$

де C_p – розрахункова кількість верстатів;

$C_{пр}$ – прийнята кількість верстатів;

K_{zi} – коефіцієнт завантаження.

Якщо верстат завантажений менше ніж на 0,84%, його необхідно довантажити роботою по кооперації.

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довантаження визначається по наступній формулі:

$$T_{\text{обиц}} = \frac{T \times K_3(\text{з довантоженням})}{K_3(\text{без довантаження})}$$

де $T_{\text{обиц}}$ – загальна трудомісткість,

$$T_{\text{дог}} = T_{\text{обиц}} - TH_i$$

1. Робимо розрахунок на фрезерно-центрувальний верстат моделі МР-76М:

$$TH = 0,42 \times 500 = 210 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 210 / (1960 \times 1,1) = 0,1 \text{ шт.};$$

Приймаємо $C_{np} = 1 \text{ шт.};$

$$K_3 = 0,1 / 1 = 0,1 \text{ \%};$$

$$T_{\text{обиц}} = 210 \times 0,84 / 0,1 = 1764 \text{ н.год.};$$

$$T_{\text{дог}} = 1764 - 210 = 1554 \text{ н.год.}$$

2. Робимо розрахунок на токарно-гвинторізний верстат моделі 165:

$$T_{\text{шт-к}} = 0,9 + 1,46 + 3,56 = 5,92 \text{ год.};$$

$$TH = 5,92 \times 500 = 2960 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 2960 / (1960 \times 1,1) = 1,37 \text{ шт.};$$

Приймаємо $C_{np} = 2 \text{ шт.};$

$$K_3 = 1,37 / 2 = 0,69 \text{ \%};$$

$$T_{\text{обиц}} = 2960 \times 0,84 / 0,69 = 3603 \text{ н.год.};$$

$$T_{\text{дог}} = 3603 - 2960 = 643 \text{ н.год.}$$

3. Робимо розрахунок на зубофрезерний верстат моделі КУ-331:

$$T_{\text{шт-к}} = 7,42 + 1,69 + 0,83 = 9,94 \text{ год.};$$

$$TH = 9,94 \times 500 = 4970 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 4970 / (1960 \times 1,1) = 2,31 \text{ шт.};$$

Приймаємо $C_{np} = 3 \text{ шт.};$

$$K_3 = 2,31 / 3 = 0,77 \text{ \%};$$

$$T_{\text{обиц}} = 4970 \times 0,84 / 0,77 = 5422 \text{ н.год.};$$

$$T_{\text{дог}} = 5422 - 4970 = 452 \text{ н.год.}$$

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Робимо розрахунок на токарний верстат з ЧПК моделі 1Н65РФ3:

$$TH = 1,72 \times 500 = 860 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 860 / (1960 \times 1) = 0,45 \text{ шт.};$$

$$\text{Приймаємо } C_{np} = 1 \text{ шт};$$

$$K_3 = 0,45 / 1 = 0,45 \%;$$

$$T_{\text{обц}} = 860 \times 0,84 / 0,45 = 1605 \text{ н.год.};$$

$$T_{\text{дог}} = 1605 - 860 = 745 \text{ н.год.}$$

5. Робимо розрахунок на круглошліфувальний верстат моделі 3А174:

$$T_{\text{шт-к}} = 0,82 + 0,94 = 1.76 \text{ год.};$$

$$TH = 1.76 \times 500 = 880 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 880 / (1960 \times 1,1) = 0,4 \text{ шт.};$$

$$\text{Приймаємо } C_{np} = 1 \text{ шт};$$

$$K_3 = 0,4 / 1 = 0,4 \%;$$

$$T_{\text{обц}} = 880 \times 0,84 / 0,4 = 1848 \text{ н.год.};$$

$$T_{\text{дог}} = 1848 - 880 = 968 \text{ н.год.}$$

6. Робимо розрахунок на зубошевінгувальний верстат моделі RFw-10S:

$$TH = 1,3 \times 500 = 650 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 650 / (1960 \times 1,1) = 0,3 \text{ шт.};$$

$$\text{Приймаємо } C_{np} = 1 \text{ шт};$$

$$K_3 = 0,3 / 1 = 0,3 \%;$$

$$T_{\text{обц}} = 650 \times 0,84 / 0,3 = 1820 \text{ н.год.};$$

$$T_{\text{дог}} = 1820 - 650 = 1170 \text{ н.год.}$$

7. Робимо розрахунок на радіально-свердлувальний верстат RF-31/B:

$$T_{\text{шт-к}} = 0,33 + 0,4 = 0,73 \text{ год.};$$

$$TH = 0,73 \times 500 = 365 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 365 / (1960 \times 1,1) = 0,16 \text{ шт.};$$

$$\text{Приймаємо } C_{np} = 1 \text{ шт};$$

$$K_3 = 0,16 / 1 = 0,16 \%;$$

$$T_{\text{обц}} = 365 \times 0,84 / 0,16 = 1916 \text{ н.год.};$$

$$T_{\text{дог}} = 1916 - 365 = 1551 \text{ н.год.}$$

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Робимо розрахунок на вертикально-фрезерний верстат моделі 6Р12П:

$$TH = 0,35 \times 500 = 175 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 175 / (1960 \times 1,1) = 0,08 \text{ шт.};$$

$$\text{Приймаємо } C_{np} = 1 \text{ шт};$$

$$K_3 = 0,08 / 1 = 0,08 \%;$$

$$T_{обц} = 175 \times 0,84 / 0,08 = 1837 \text{ н.год.};$$

$$T_{дог} = 1837 - 175 = 1662 \text{ н.год.}$$

9. Робимо розрахунок на слюсарний верстак:

$$T_{шт-к} = 0,33 + 0,47 + 0,46 + 0,36 + 0,33 = 1,95 \text{ год.};$$

$$TH = 1,95 \times 500 = 974 \text{ н.год.};$$

$$C_p = 974 / (1960 \times 1) = 0,5 \text{ шт.};$$

$$\text{Приймаємо } C_{np} = 1 \text{ шт};$$

$$K_3 = 0,5 / 1 = 0,5 \%;$$

$$T_{обц} = 974 \times 0,84 / 0,5 = 1636 \text{ н.год.};$$

$$T_{дог} = 1636 - 974 = 662 \text{ н.год.}$$

Розрахунок потрібної кількості обладнання і коефіцієнтів завантаження обладнання по типах для зручності зводимо в таблицю табл. 5.5.

5.3 Складання кошторису витрат на обладнання.

Дані про кількість, модель, габарити, потужність електродвигуна, вартість (з урахуванням транспортування та монтажу) та ремонтну складність обладнання на ділянці заносимо у зведену відомість обладнання табл. 5.6.

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Т а б л и ц я 5.5 Розрахунок потрібної кількості обладнання, і його завантаження

Найменування обладнання	Модель Верстаг а	Річ на пр- ма, шт	Штучно кальку- ляційний час Тшт.к., год	Річна трудос- місткіс- ть Т - н.-г	Дован- тажен- ня Тдов н.-г	Річний обсяг робіт, Т н.-г	Ефекти- вний фонд Часу Фе, год	Квн	Кількість верстагів		Кз	Кз ср
									Ср	Спр		
Токарний з ЧПК	1Н65РФ 3	500	1,72	860	745	1605	1904	1	0,45	1	0,45	0,84
Токарно- гвинторізний	165		5,92	2960	643	3603	1960	1,1	1,37	2	0,69	
Фрезерно- центрувальний	МР-76М		0,42	210	1554	1764	1960	1,1	0,1	1	0,1	
Зубофрезерний	КУ-331		9,94	4970	452	5422	1960	1,1	2,31	3	0,77	
Круглошліфува льний	3А174		1,76	880	968	1848	1960	1,1	0,4	1	0,4	
Зубошівінгува льний	Фw-10S		1,3	650	1170	1820	1960	1,1	0,3	1	0,3	
Вертикально- фрезерний	6Р12П		0,35	175	1662	1837	1960	1,1	0,08	1	0,08	
Радіально- свердлувальний	RF-31/В		0,73	365	1551	1916	1960	1,1	0,16	1	0,16	
Слюсарний верстаг	Верстаг		1,9	974	662	1636	1960	1,1	0,5	1	0,5	
Разом:	-		24,04	12044	9407	21451	-		5,67	12		

6261м.08.МР.07.05.ПЗ

Арк.

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

5.4 Визначення чисельності робітників на дільниці.

5.4.1 Розрахунок кількості основних виробничих робітників.

Число основних виробничих робітників визначається по формулі:

$$Ч_p = \frac{T_{общ}}{F_{эф} \times K_n \times K_{б.обс}}$$

де, $T_{общ}$ – загальний річний обсяг робіт, н-ч;

$F_{эф}$ – ефективний фонд часу робітника в рік, чіл/година;

K_n – коефіцієнт виконання норм;

$K_{б. обс}$ – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування.

Ефективний фонд часу робітника визначається по формулі:

$$F_{эф} = D \times q \times (1 - \alpha),$$

де, D – кількість робочих днів у році;

q – тривалість робочої зміни;

α – плановий відсоток втрати робочого часу, $\alpha = 8 \dots 15\%$.

Приймаємо $\alpha = 10\%$;

$D = 251$ днів;

$q = 8$ годин.

$$F_{эф} = 251 \times 8 \times (1 - 0.1) = 1807 \text{ чол/год}$$

Розрахунок кількості фрезерувальників:

$$Ч_p = 3603 / (1807 \times 1,1 \times 1) = 1,81$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 2$ люд.

Розраховуємо кількість токарів:

$$Ч_p = 3603 / (1807 \times 1,1 \times 1) = 1,81$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 2$ люд.

Розраховуємо кількість операторів токарних верстатів з ЧПК:

$$Ч_p = 1605 / (1807 \times 1 \times 1) = 0,89$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 1$ люд.

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо кількість шліфувальників:

$$Ч_p = 1848 / (1807 \times 1,1 \times 1) = 0,92$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 1$ люд.

Розраховуємо кількість зуборізників:

$$Ч_p = 5422 / (1807 \times 1,1 \times 1) = 2,72$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 3$ люд.

Розраховуємо кількість шевінгувальників:

$$Ч_p = 1820 / (1807 \times 1,1 \times 1) = 0,91$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 1$ люд.

Розраховуємо кількість сведлувальників:

$$Ч_p = 1916 / (1807 \times 1,2 \times 1) = 0,88$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 1$ люд.

Розраховуємо кількість слюсарів з механоскладальних робіт:

$$Ч_p = 1636 / (1807 \times 1 \times 1) = 0,9$$

Приймаємо $Ч_{пр} = 1$ люд.

Таблиця 5.7 – Розрахунок чисельності основних робітників

Професія	Розряд	Трудоміст кість Тобщ, н-ч	Кб. о.	Кв.	Фэф, чол/годин	Кількість робітників	
						Ч _р	Ч _{пр}
Фрезерувальник	2	3601	1	1,1	1807	1,81	2
Токар	3	3603	1	1,1	1807	1,81	2
Оператор з ЧПУ	3	1605	1	1	1807	0,89	1
Шліфувальник	3	1848	1	1,1	1807	0,91	1
Зуборізальник	3	5422	1	1,1	1807	2,72	3
Шевінгувальник	3	1820	1	1,1	1807	0,91	1
Сведлувальник	3	1916	1	1,2	1807	0,88	1
слюсарів з механоскладальних робіт	3	1636	1	1	1807	09	1
Разом:		21445					12

Середній розряд основних робочих на дільниці становить:

$$R_{сер} = \sum P_p R_o / \sum R_o = 2 \times 2 + 3 \times 10 / 12 = 2,83$$

де R_p – тарифний розряд робочих;

P_o – кількість основних робочих даного розряду.

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4.2 Розрахунок кількості допоміжних робітників.

Допоміжні робочі – це працівники, які обслуговують основне виробництво (наладники, комірники та роздавачі інструментів, слюсарі для ремонту верстатів та оснастки, електромонтери, контролери та інші).

Чисельність допоміжних робітників визначається відповідно до нормативів обслуговування.

Таблиця 5.8 - Розрахунок необхідної кількості допоміжних робочих

Професія	Норми обслуговування	Кількість агрегатів та основних робітників, шт (осіб), рем.од.	Кількість допоміжних робітників	Розряд	Режим роботи	Необхідна кількість робочих, осіб	Годинна тарифна ставка, грн.
Наладчики :- верстатів з ЧПК	5 верстатів	1	0,2	5	1	0,2	14,483
Настройщик регулювальник інструменту для верстатів с ЧПК	1 на 20-25 верстатів	1	0,1	2	1	0,1	9,372
Слюсар з поточного ремонту обладнання	500 р.о.	136	0,27	4	1	0,27	12,779
Верстатник з ремонту облад.	1 на 12 осн.робіт.	12	1	3	1	1	11,501
Мастильник	1000 р.о.	136	0,13	2	1	0,13	9,372
Комірник	1на 55-56 верстатів	11	0,16	3	1	0,16	11,501
Електромонтер	1500 р.о.	104	0,1	3	1	0,1	11,501
Контролер	7-9% від кількості верстатів	11	1	4	1	1	12,779
Транспортний робочий	1 на 35 осн. робіт.	21	0,3	2	1	0,3	9,372
Прибиральник	1 на 2000-2500 кв.м	421 кв.м	0,15	2	1	0,14	9,372
Разом:						3,4	

Середній розряд допоміжних робочих на ділянці становить:

$$R_{сер} = 5 \times 0,2 + 4(0,27+1) + 3(1+0,16+0,1) + 2(0,3+0,14) / 3,4 = 3,14$$

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4.3 Розрахунок чисельності фахівців і МОП

Чисельність керівних робітників, спеціалістів, службовців і молодшого обслуговуючого персоналу розраховується методом структури кадрів, при чому ця категорія працюючих становить 15–20% від прийнятої кількості основних та допоміжних робочих або встановлюється за нормами обслуговування. Результати розрахунку зводяться в табл.ицю. 5.9.

Таблиця 5.9. - Розрахунок кількості спеціалістів, службовців і МОП.

Посада	Норма обслу- говування	Кількість робочих, яких обслуговують	Необхідна кількість працюючих	Посадовий оклад, грн.
1	2	3	4	5
I Спеціалісті:				
Майстер	1 на 12-25 о.р.	12	1	2600
Інженер-технолог	1 на дільницю	1	1,00	2300
Інженер-нормувальник	100-150 о.р.	12	0,12	2000
Інженер-планувальник	200-450 р.	18,62	0,16	2000
Економіст	200-450 р.	18,62	0,16	1800
Бухгалтер	200-450 р.	18,62	0,16	1800
Разом:			2,60	
II Службовці:				
Табельник	200-450 р.	18,62	0,16	1200
Нарядник	200-450 р.	18,62	0,16	1200
Обліковець	200-450 р.	18,62	0,16	1200
Разом:			0,48	
III МОП:				
Прибиральник	1 на 600 кв.м	84,2 кв.м	0,14	920
Разом:			0,14	

5.4.4 Зведена відомість працюючих на дільниці.

Загальна кількість працюючих дільниці та їх структура у % зведені у табл. 5.10.

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.10 - Зведена відомість працюючих на дільниці.

Категорія працюючих	Кількість працюючих	Питома вага, %
1.Основні робочі	12	64,45
2.Допоміжні робочі	3,4	18,25
3.Спеціалісти	2,6	14
4.Службовці	0,48	2,55
5.Молодший обслуговуючий персонал	0,14	0,75
Разом:	18,62	100

5.5 Розрахунок основних і допоміжних площ дільниці.

5.5.1 Визначення виробничої площі.

Виробнича площа – площа відділень і ділянок, безпосередньо призначена для здійснення технологічного процесу. У її состав включається територія цеха, що займає основне виробниче обладнання, необхідне оснащення, робочі місця, стенди, наземні засоби транспортування, місця майстра й контролера ВТК, проходи та проїзди між верстатами за виключенням магістралей та пожежних проїздів.

Виробничу площу цеху попередньо визначаємо по питомих площах для кожної групи устаткування. Розрахунок виконуємо по формулі:

$$F_{\text{вир}} = \sum_{i=1}^n F_{\text{нум}i} \cdot C_i$$

де $F_{\text{нум}i}$ – середня питома площа для розміщення одного верстата i -ої групи, м²; (для дрібних верстатів $F_{\text{нум}}=10\ldots15$ м²; для середніх $F_{\text{нум}}=16\ldots25$ м²; для великих $F_{\text{нум}}=26\ldots45$ м², для верстаків $F_{\text{нум}}=10$ м²);

C_i – кількість верстатів i -ої групи встаткування.

$$F_{\text{вир}} = (1 \times 100 + 4 \times 50 + 3 \times 24 + 2 \times 20 + 1 \times 16 + 2 \times 10) = 448 \text{ м}^2.$$

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.5.2 Визначення допоміжної площі.

На допоміжних площах розміщуються склади заготовок і деталей, ремонтні відділення, інструментально-роздавальні склади із заточувальними відділеннями, майстерні енергетика й механіка, склади допоміжних матеріалів, магістральні й пожежні проїзди.

1. Площа складу готових деталей розраховується за формулою:

$$F_{сгд} = \frac{N \cdot G \cdot t_{сер}}{\Phi \cdot q \cdot k_{\phi}},$$

де N – річний обсяг випуску деталей, шт.;

G – вага деталі, кг;

$t_{сер}$ – норматив зберігання запасів, залежить від виду виробництва; приймаємо $t_{сер}=5$ днів;

Φ – число календарних днів у році;

q – вантажопідйомність підлоги, $q=0,7 \dots 1,5$ т/м²;

k_{ϕ} – коефіцієнт використання площі складу залежно від виду транспорту, $k_{\phi}=0,3$.

$$F_{сгд} = (500 \times 685 \times 5) / (365 \times 1000 \times 0,3) = 15,6 \text{ м}^2.$$

2. Площа складу заготовок розраховується аналогічно:

$$F_{ск} = \frac{N \cdot G \cdot t_{сер}}{\Phi \cdot q \cdot k_{\phi} \cdot k_{\text{вм}}},$$

де $k_{\text{вм}}$ – коефіцієнт використання матеріалу.

$$F_{ск} = (500 \times 685 \times 5) / (365 \times 1000 \times 0,3 \times 0,67) = 23,3 \text{ м}^2.$$

Загальна площа допоміжних відділень становить:

$$F_{дон} = F_{сгд} + F_{ск} = 15,6 + 23,3 = 38,9 \text{ м}^2.$$

Виробнича площа ділянки уточнюється на основі планування ділянки.

5.5.3 Визначення площі побутових і службових приміщень.

Площі службово-побутових приміщень визначаються згідно БНіП. У побутові приміщення входять гардеробні, умивальники, курильні, душові,

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кімната прийому їжі, кімнати особистої гігієни. При укрупнених розрахунках площа службово-побутових приміщень приймається 15-20% від виробничих площ і вона становить:

$$F_{ноб} = 0,2 \times F_{вир} = 0,2 \times 448 = 89,6 \text{ м}^2.$$

5.6 Розрахунок висоти цеху.

Висота цеху розраховується виходячи з висоти найбільш високого верстата, розмірів і конструкції кранів, а також санітарно-гігієнічних вимог.

Загальна висота будинку від підлоги до нижньої виступаючої частини верхнього перекриття дорівнює:

$$H = k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6,$$

де k_1 – висота найбільш високого верстата, м;

k_2 – відстань безпеки між верстатом і вантажем (0,5–1 м);

k_3 – висота вантажу або контейнера з деталями, м;

k_4 – довжина стропів, м;

k_5 – мінімальна відстань від гака до рейки, м;

k_6 – відстань від головки рейки до нижньої частини верхнього перекриття, м.

$$H = 3,4 + 1,0 + 0,6 + 1,0 + 0,5 + 1,3 = 7,8 \text{ м.}$$

Приймаємо найближче більше стандартне значення $H = 8,4 \text{ м.}$

5.7. Визначення виду й параметрів вантажопідйомного устаткування дільниці, виду наземного транспорту.

Весь транспорт на заводі поділяється на загальнозаводський і внутрішньоцеховий. Цеховий транспорт буває безперервної й перериваної дії. До транспортних засобів безперервної дії відносяться конвеєри, рольганги, транспортери, перериваного – електро- і автовантажувачі, кранове устаткування.

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір транспортних засобів залежить від ступеня безперервності вантажопотоку, маси, форми й габаритів переміщуваних вантажів. Тип ПТО повинен відповідати переміщуваним вантажам по характеру технологічного процесу, по виду транспортованого вантажу, мати необхідну продуктивність і мінімальну кількість обслуговуючого персоналу.

Партія запуску деталей буде важити $1016 \times 3 = 3048$ кг. В такому разі для переміщення заготівель від верстата до верстата вибираємо кран-балку з наземним керуванням вантажопідйомністю 5 т.

Для транспортування деталей на ділянку можливе застосування електрокарів. Цей засіб цілком підходить для транспортування деталей та заготовок у спеціальній тарі.

5.8. Визначення обсягу капітальних вкладень у діляницю механічного цеху по виготовленню деталі вал - шестерня

Таблиця 5.11.- Визначення величини капітальних вкладень та їх структури.

Група основних фондів	Вартість основних фондів	Питома вага, %	Вказівки до розрахунку
1	2	3	4
Група 1 Будівлі, споруди, та передаточні пристрої, утому челі:			
1.1. Будівлі виробничого призначення	336000	16,47	750грн за 1 кв.м
1.2. Будівлі побутового призначення	58240	2,86	650грн за 1 кв.м
1.3. Силові машини	165357	8,1	1000 грн за 1 кВт
Група 2 Автомобільний транспорт, меблі, інше конторське обладнання			
2.1. Транспорт та ЕОМ	186043	9,12	15% від п. 3.1
2.2. Інвентар	6000	0,29	500грн на 1 о.р.
Група 3 будьякі інші основні фонди, що не включені до груп 1 і 2			
3.1. Робочі машини та обладнання	1261897	61,86	За кошторисом витрат
3.2. Вимірювальні та регулюючі приприлади	7700	0,38	700 грн на 1 верстат
3.3. Інструмент та пристосування	18604	0,92	1,5% от п.3.1.
Разом :	2039841	100	

					6261м.08.МР.07.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Організаційно-економічна частина.

6.1. Склад і методика розрахунку річного фонду заробітної

плати працівників дільниці

Фонд заробітної плати на дільниці складається з:

- а) фонду основної заробітної плати працюючих;
- б) фонду додаткової заробітної плати працюючих.

До основної заробітної плати відносяться витрати на виплату основної заробітної плати, нарахованої відповідно до прийнятих систем оплати праці у вигляді тарифних ставок, окладів і відрядних розцінок, а також планованого обсягу відповідних видів продукції.

До додаткової заробітної плати відносяться витрати на виплату виробничому персоналу цеху додаткової заробітної плати, нарахованої за роботу понад установлену норму, за трудові успіхи і винахідливість, особливі умови праці. Вона включає також доплати, надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені законодавством. Сума додаткової заробітної плати визначається множенням суми основної заробітної плати на середні норми додаткової заробітної плати.

Основний фонд заробітної плати спеціалістів, службовців і молодшого обслуговуючого персоналу визначається на основі штатного розкладу цеху і діючих систем посадових окладів.

6.2. Розрахунок річного фонду заробітної платні працівників

дільниці

6.2.1. Визначення фонду заробітної плати основних виробничих

робочих

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок основного фонду заробітної плати основних робочих здійснюється за формулою:

$$ЗП_{\text{тар.відр.}} = \sum_{i=1}^m (C_{\text{ч}_i} \cdot T_n);$$

б), на програму:

94

де m - номенклатура деталей;

$C_{\text{ч}_i}$ - годинна тарифна ставка робочих, грн.;

T_n - трудомісткість річної програми i -го виробу, н-год;

P_i - відрядна розцінка за обробку i -ї деталі, грн./шт.;

A_i - річна програма i -го виробу, шт.

Розрахунок основного фонду заробітної плати основних робочих, наприклад, на токарно-гвинторізній операції (III розряд робіт) виглядатиме так:

а) на одиницю продукції: $ЗП_{\text{тар.відр.III}} = 12,512 \cdot 5,92 = 74,07$ (грн.);

б) на програму: $ЗП_{\text{тар.відр.III}} = 12,512 \cdot 3603 = 45080,74$ (грн.).

Розрахунки по іншим операціям проводяться аналогічно, результати зводяться до табл.6.1.

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1.-Розрахунок основної заробітної плати виробничих робітників

Найменування операції	Розряд роботи	Тарифна заробітна плата за одиницю продукції			Тарифна заробітна плата на програму з урахуванням супутньої продукції		
		Норма часу, <i>Тшт.-кал.</i> н-год.	Годинна тарифна ставка, грн.	Сума, грн.	Трудомісткість річної програми н.-год.	Годин на тариф на ставку, грн.	Сума, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
Фрезерувальна	2	0,77	10,95	8,43	3601	10,95	39430,95
Токарна	3	5,92	12,512	74,07	3603	12,512	45080,74
Токарна з ЧПУ	3	1,72	12,512	21,52	1605	12,512	20081,76
Шліфувальна	3	1,76	12,512	22,02	1848	12,512	23122,18
Зубофрезерна	3	9,94	12,512	124,37	5422	12,512	67840,06
Зубошевінгувальна	3	1,3	12,512	16,27	1820	12,512	22771,84
Сведлильна	3	0,73	12,512	9,13	1916	12,512	23972,99
Слюсарна	3	1,9	12,512	23,77	1636	12,512	20469,63
Разом:				299,58			262770,15

6.2.2. Визначення фонду заробітної плати допоміжних робочих

Річний фонд заробітної плати допоміжних робітників визначається за наступною формулою:

$$ЗП_{\text{тар. допом.}} = C_{\text{чi}} \cdot K_p \cdot \Phi_{\text{эф}},$$

де $C_{\text{чi}}$ - годинна тарифна ставка робочих, грн.;

K_p - кількість допоміжних робочих;

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Phi_{эф.}$ - ефективний річний фонд часу одного робітника, год.

Розрахунок річного фонду заробітної плати допоміжного робітника (контролер) визначається за наступною формулою:

$$ЗП_{тар. допом.} = 2,618 \cdot 0,44 \cdot 1871 = 2155,24 \text{ (грн.)}.$$

Аналогічно робимо розрахунки для допоміжних робочих інших професій. Результати розрахунків зводимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2.-Розрахунок основного фонду заробітної платні допоміжних робітників

Професія	Розряд	Кількість осіб,	Годинна тарифна ставка, грн	Ефектив-ний річний фонд часу, год	Тарифна заробітна плата, грн..
Наладник верстатів з ЧПК	5	0,2	14,483	1807	52,3416
Настроювач-регулювальник інструменту для верстатів з ЧПК	2	0,1	9,372		1693,52
Слюсар по ремонту обладнання	4	0,27	12,779		6234,75
Верстатник з ремонту обладнання	3	1,0	11,501		20782,31
Мастильник	2	0,13	9,372		2201,58
Комірник	3	0,16	11,501		3325,17
Електромонтер	3	0,1	11501		2078,23
Контролер	4	1,0	12,779		23091,65
Транспортний робітник	2	0,3	9,372		5080,56
Прибиральник виробничих приміщень	2	0,14	9,372		2370,93
РАЗОМ:		3.4			72092,93

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.3. Визначення фонду заробітної плати спеціалістів, службовців і молодшого обслуговуючого персоналу

Річний фонд заробітної плати спеціалістів, службовців і молодшого обслуговуючого персоналу:

$$Z_{осн.сп.} = K_{сп.і} \cdot O_{мі} \cdot M$$

де $K_{сп.і}$ - кількість спеціалістів і-ї групи:

$O_{мі}$ - місячний оклад, грн.;

M - число місяців роботи за рік.

Наприклад, розрахунок річного фонду заробітної плати майстра визначається так:

$$Z_{осн.сп.} = 2600 \cdot 1 \cdot 11 = 28600 \text{ (грн.)}$$

Аналогічно робимо розрахунки для інших професій. Результати розрахунків зводимо в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3-Розрахунок основного фонду заробітної плати спеціалістів, службовців і молодшого обслуговуючого персоналу

Категорія працюючих, найменування посади	Кількість штатних працівників, осіб	Посодовий оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Величина основного фонду зарплати, грн..
1	2	3	4	5
I. Спеціалісти:				
Майстер	1	2600	11	28600
Інженер-технолог	1	2300	11	25300
Інженер-нормувальник	0,12	2000	11	22000
Інженер-планувальник	0,16	2000	11	22000
Економіст	0,16	1800	11	19800
Бухгалтер	0,16	1800	11	19800
РАЗОМ:	2,6			137500

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 6.3.

1	2	3	4	5
II, Службовці				
Табільник	0,16	1200	11,2	2150,4
Нарядник	0,16	1200	11,2	2150,4
Обліковець	0,16	1200	11,2	2150,4
РАЗОМ:	2,6			6451,2
III Молдший обслуговуючий персонал:				
Прибиральник побутових приміщень	0,14	1100	11,2	1724,8
РАЗОМ:	0,14			1724,8

6.2.4. Визначення середньорічної і середньомісячної заробітної

плати працюючих на дільниці

При розрахунку додаткової заробітної плати застосовується формула:

$$ЗП_{\text{дод.і}} = \frac{ЗП_{\text{оср.і}} \times H_{\text{д.і}}}{100},$$

де $H_{\text{д.і}}$ - норма нарахування додаткової заробітної плати і-ї групи, %.

Середньорічна заробітна плата одного працюючого і-ї групи:

$$ЗП_{\text{дод.і}} = \frac{ЗП_{\text{оср.і}} + ЗП_{\text{дод.і}}}{K_i},$$

де K_i - кількість працюючих і-ї групи. Середньомісячна заробітна плата одного працюючого:

$$ЗП_{\text{сер.м.і}} = \frac{ЗП_{\text{сер.і}}}{12},$$

Зробимо розрахунок середньомісячної заробітної плати для основних виробничих робітників.

$$ЗП_{\text{дод.1}} = \frac{262770,15 \times 35}{100} = 91969,55 \text{ (грн)}$$

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$ЗП_{\text{од.1}} = \frac{262770,15 + 91969,55}{12_i} = 29561,64 \text{ (грн)};$$

$$ЗП_{\text{сер.м.і}} = \frac{29561,64}{12} = 2463,47 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок по іншим працюючим проводимо аналогічно, результати зводимо у таблицю 6.4.

Таблиця 6.4.-Зведена відомість річного фонду заробітної плати працюючої ділянки.

Категорія працюючи х	Чисельність	Річний фонд заробітної			Усього, зарплата, грн.	Середньорічна зарплата одного працюючого, грн.	Середньомісячна зарплата одного працюючого, грн.
		Основна заробітна плата, з урахуванням довантаження, грн.	плати				
			Додаткова				
			%	грн.			
1	2	3	4	5	6	7	8
Основні виробничі робітники	12	262770,15	35	91969,55	354739,7	29561,6	2463,47
Допоміжні робітники	3,4	72092,86	20	14418,57	86511,43	25444,5	2120,38
Спеціаліст и	2,6	137500	27	37125	174525	67125,0	5593,75
Службовці	0,48	6451,2	18	1161,22	7612,42	15859,2	1321,60
Молодший обслугову ю чий персонал	0,14	1724,8	15	258,72	1983,52	14168,0	1180,67
РАЗОМ:	18,62	480542		144938	625378	33586,4	2798,86

6.3. Розрахунок витрат на утримання й експлуатацію устаткування

Розрахунок витрат на утримання й експлуатацію устаткування наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

Статті витрат	Елементи витрат	Спосіб розрахунку	Величина витрат, грн.
1	2	3	4
I. Витрати на повне відновлення капітального ремонту основних виробничих фондів (устаткування, транспортних засобів, інструментів)	Амортизація	Амортизацію виробничого устаткування, транспортних засобів і інструмента визначаємо за формулою: $A = \frac{F_{\text{пер}} \times H_a}{100},$ де $F_{\text{пер}}$ - балансова вартість устаткування, транспортних засобів і інструментів; H_a - норма амортизації, %: на устаткування - 24 %; транспортних засобів - 40 %; інструментів - 24 %. $A_{\text{уст}} = 1263489 \times 0,15 = 189523,35$ $A_{\text{тр}} = 189523 \times 0,24 = 45486$ $A_{\text{ін}} = 25712 \times 0,15 = 3856,8$	189523 45486 3856,8
Разом по I статті:			238866,8
II. Витрати на експлуатацію устаткування (технічний огляд і обслуговування)	Матеріали	Вартість мастильних, обтиральних матеріалів, емульсій для охолодження: $M = \Sigma (m \cdot C_{\text{пр}}) \cdot R \cdot K_{\text{мом.}} \cdot C_{\text{мом.}} \cdot D_p,$ де m - норма витрат мастильних матеріалів на одиницю ремонтної складності по групах устаткування за день:	

Продовження табл. 6.5.

1	2	3	4
		для токарних верстатів ш=0,015 кг; для свердлувальних ш=0,02 кг; для шліфувальних /«=0,025 кг. C_{np}- прийнята кількість верстатів даної групи; $K = 120,5$ -кількість одиниць ремонтної складності; $K_{зм} = 2$ -коефіцієнт змінності; $Ц_{мом} = 1,05$ - вартість одиниці мастильно-обтиральних матеріалів, грн.; $Др. = 251$ - кількість робочих днів у році. $M = (3 \times 0,015 + 5 \times 0,025 + 2 \times 0,02 + 1 \times 0,02) \times 142 \times 2 \times 1,05 \times 251 = 17215,1$	17215,1
	Заробітна плата	Витрати на оплату праці робітників, що обслуговують устаткування (наладчики, мастильники) визначають: а) основна заробітна плата: $ЗП_{тар.погод.} = 5234,16 + 2201,68 + 1693,52 = 9129,26$; б) додаткова заробітна плата: $ЗП_{дон} = 9129,26 \times 0,2 = 3195,24$	9129,26 3195,24

Продовження табл. 6.5.

1	2	3	4
		в) відрахування на соціальне страхування: $ЗП_{\text{соц.}} = \frac{(9129,26 + 3195,24)}{100\%} =$ $= 4621,69$	4621,69
	Послуги	Витрати на електроенергію: $C_{\text{ел.}} = \sum_{i=1}^n N \cdot \Phi_n \cdot K_3 \cdot C_{\text{ел.}}, \quad \text{де}$ N - установлена потужність устаткування по групах, кВт.; Φ_n - нормативний фонд часу роботи устаткування, год.; K_3 - коефіцієнт завантаження устаткування; $C_{\text{ел.}}$ - вартість одного кВт х год. електроенергії, грн. $C_{\text{ел.}} = 279,17 - 1960 - 0,84 - 0,4359 =$ $= 200350,75$	200350,8
		Витрати на стиснене повітря: $C_{\text{ст.пов.}} = B \cdot \Phi_{\text{еф.}} \cdot S \cdot K_3 \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) \cdot C_{\text{ст.пов.}}$ де B - норма витрати стиснутого повітря за 1 год роботи устаткування, м³; $\Phi_{\text{еф.}}$ - ефективний фонд часу роботи устаткування, год.;	

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 6.5.

1	2	3	4
		S - кількість однорідних одиниць устаткування, споживаючих стиснене повітря, шт.; β- втрата повітря в трубопроводі ($\beta=5\%$); $C_{ст.пов}$ – ціна за 1 м^3 стиснутого повітря, грн. $C_{ст.пов}=1,5 \cdot 1960 \cdot 3 \cdot 0,84 \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,07 = 554,55$	554,55
		Витрати на воду: $C_{вод} = \frac{Q \cdot \Phi_{ef} \cdot S}{100} \cdot C_{вод},$ де Q - норма витрати води на 1 верстат за 1 год роботи, л; $C_{вод}$ - ціна 1 м^3 води, грн.; S - число верстатів, працюючих із ЗОР, шт. $C_{вод} = \frac{18 \cdot 1960 \cdot 6 \cdot 3,11}{1000} = 658,33$	658,33
Разом поII статті:			218509,84
III.Витрати на проведення поточного ремонту устаткування і транспортних засобів	Матеріали	Для устаткування, крім автоматичних ліній, можна застосовувати в розмірі 4,5% від балансової вартості устаткування, 5% від вартості інструмента і 4,5% для транспортних засобів. $C_{уст} = 1263489 \cdot 0,045 = 56857$;	56857

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 6.5.

1	2	3	4
		$C_{inc} = 25712 \cdot 0.45 = 1157,04;$ $C_{mp} = 189523 \cdot 0,05 = 9476,15$	1157,04 9476,15
	Зарплата	Витрати на оплату праці робітників, зайнятих на ремонтних роботах (слюсарі, електрики та ін.) визначаються аналогічно розрахункам у другій статті. а) основна заробітна плата: $ЗП_{map.} = 6234,75 + 20782,31 + 2078,23 = 29095,29$ б) додаткова заробітна плата: $ЗП_{дод.} = ЗП_{map.} \cdot 0,25;$ $ЗП_{дод.} = 29095,29 \cdot 0,25 = 5819,06$ в) відрахування на соціальне страхування: $ЗП_{соц} = \frac{(ЗП_{map.} + ЗП_{дод.}) \cdot H_{соц.}}{100\%}$ $ЗП_{соц} = \frac{(29095,29 + 5819,06) \cdot 37,5\%}{100\%}$ =13092,88	29095,29 58019,06 13092,88
Разом по III статті:			115497,42
IV. Витрати на внутрішньозаводські переміщення вантажів	Матеріал и	Вартість мастильних і обтиральних матеріалів, пального, запасних частин і інших транспортних засобів, що використовуються для експлуатації, при укрупнених розрахунках, приймається 2% від	

Продовження табл. 6.5.

1	2	3	4
V. Знос малоцінних інструментів та тих, що швидко зношуються	Матеріали	Вартість малоцінних інструментів і пристроїв та тих, що швидко зношуються, по укрупнених розрахунках, можна прийняти на 1 верстат, грн.: - токарні - 190; - свердлувальні - 240; - шліфувальні - 250. $C_{\text{малооц.}} = 3 \cdot 190 + 4 \cdot 280 + 2 \cdot 250 + 230 \cdot 1 + 190 \cdot 1 = 2610$	2610
	Послуги	Суму зносу малоцінного інструменту і пристроїв та тих, що швидко зношуються, вартість їхнього заточення і ремонту можна прийняти 25-30% від їхньої вартості: $C_{\text{зн}} = 2610 \cdot 0,3 = 783$	783
Разом по V статті:			3393
VI. Інші		Витрати непередбачені іншими статтями можна прийняти в розмірі 2-3% від суми попередніх статей: $C_{\text{ін.}} = 0,02 \cdot (238865,67 + 218509,84 + 115497,42 + 21344,59 + 3393) = 11952,21$	11952,21
Усього:			609562,69

Для включення витрат на утримання й експлуатацію устаткування в собівартість одиниці продукції визначимо % $V_{\text{уеу}}$ за формулою:

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\%B_{\text{уеу}} = \frac{\Sigma B_{\text{уеу}}}{\Sigma \text{ЗП}_{\text{осн.}}} \times 100\%,$$

де $\Sigma \text{ЗП}_{\text{осн}}$ - фонд основної заробітної плати основних робочих.

$$\%B_{\text{уеу}} = \frac{609562,69}{262770,15} \times 100\% \approx 232\%.$$

6.4. Складання калькуляції фактичної собівартості виготовлення

деталі „вал-шестерня”

Калькуляція - це визначення собівартості одиниці конкретного виду продукції. Розрахунок калькуляції наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 - Калькуляція виготовлення деталі „вал-шестерня”

Шифр рядка	Найменування статей калькуляції	Величина витрат, грн..	Вказівки до розрахунку
01	Сировина і матеріали	25400	-
02	Зворотні відходи	-1465,9	-
03	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	29958	Таблиця 6.1, підсумок графи 5
04	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	10485	35% від п.03
05	Відрахування на соціальний захист	15166	37,5% від п.п. (03+04)
06	Відрахування на утримання й експлуатацію устаткування	69503	232% від п.03
07	Загальновиробничі витрати	173,75	58% від п.03
08	Виробнича собівартість	25358,97	(01-02+03+04+ +05+06+07)
09	Адміністративні витрати	31456	105% від п.03
10	Витрати на збут	1198	4% від п.03
11	Інші операційні витрати	1498	5% від п.03
12	Повна собівартість	25700	(08+09+10+11)

6.5. Розрахунок ціни підприємства річної програми

Оптова ціна - це сума прибутку та повної собівартості, розрахованої за статтями калькуляції. Прибуток розраховується в залежності від встановленого рівня рентабельності за формулою:

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Повна собівартість}} \times 100\%.$$

Розрахунок вартості річного обсягу продукції в оптових цінах зведено в таблицю 6.7.

Таблиця 6.7. - Визначення оптової ціни річної програми

Шифр рядка	Найменування статей калькуляції	Величина витрат, грн.	Вказівки до розрахунку
01	Сировина і матеріали	12700000	Ахтаб. 6.6 п.01
02	Зворотні відходи	-732950	Ахтаб. 6.6 п.02
03	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	149790	Ахтаб. 6.6 п.03
04	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	52425	Ахтаб. 6.6 п.04
05	Відрахування на соціальні заходи	75830	Ахтаб. 6.6 п.05
06	Витрати на утримання й експлуатацію устаткування	347515	Ахтаб. 6.6 п.06
07	Загальновиробничі витрати	86875	Ахтаб. 6.6 п.07
08	Виробнича собівартість	12679485	Ахтаб. 6.6 п.08
09	Адміністративні витрати	157279,5	Ахтаб. 6.6 п.09
10	Витрати на збут	5990	Ахтаб. 6.6 п.10
11	Інші операційні витрати	7490	Ахтаб. 6.6 п.11
12	Повна собівартість	12850000	Ахтаб. 6.6 п.12
13	Рівень рентабельності	-	15%
14	Прибуток	1927500	п.13 від п.12
15	Оптова ціна продукції підприємства без ПДВ	14777500	п.12+п.14

А - обсяг виробництва (500 шт.).

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення фінансових результатів проводимо згідно з П(С)БУ 3 за допомогою таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 - Визначення фінансових результатів

Стаття	Величина витрат, грн.	Вказівки до розрахунку
1. Доход (виручка) від реалізації продукції	14777500	п.15 табл.6.7
2. Собівартість продукції (виробнича)	12679485	п.08табл.6.7
3. Валовий прибуток	2098015	п.І-п.2
4. Адміністративні витрати	157279,5	п.09 табл.6.7
5. Витрати на збут	5990	п.10 табл.6.7
6. Інші операційні витрати	7490	п.11 табл.6.7
7. Фінансові результати від операційної діяльності	1927255,5	п.3-(п.4+п.5+п.6)
8. Податок на прибуток від звичайної діяльності	481813,88	25% від п.7
9. Фінансовий результат (чистий прибуток)	1445441,62	П.7-П.8

6.7. Розрахунок обсягів капітальних вкладень і строків окупності

Проекту

6.7.1. Проектування обсягів виробництва

Припустимо, що освоєння випуску нової продукції починається з 1 січня 2005 року і продовжується протягом 5 років. За цей період досягається річний обсяг випуску продукції 70000 штук.

Припустимо, що ціни на продукцію залишаються незмінними, а програмний обсяг виробництва досягається поступово (таблиця 6.9.).

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.9. - Проектовані обсяги виробництва.

Роки	9010	2011	2012	2013	2014
Обсяг виробництва, % до проектного	70	90	100	100	100

6.7.2. Розрахунок інвестиційних вкладень у проект

Обсяги інвестицій у проект включають суму вкладень в основні засоби та на створення оборотних коштів. Розрахунок інвестиційних вкладень у проект зведено в таблицю 6.10.

Таблиця 6.10 - Розрахунок обсягів інвестиційних вкладень у проект

Показники	Величина витрат
I. Інвестиційні вкладення в основні засоби:	
1. Будівлі, споруди і передатні пристрої	559597
2. Транспортні засоби	192043
3. Інше	1288201
Разом: вкладення в основні фонди	2039841
II. Інвестиції в оборотні кошти	1258078
УСЬОГО: I+II	3297919

Інвестиції в оборотні кошти ($CF_{об}$) є різницею між повною собівартістю (ПС) і амортизацією (А). Для даної деталі повна собівартість річної програми складає 12850000 грн. (табл.6.7., п.12), амортизація - грн. (табл.6.11., п.2+п.3+п.4), інвестиції в оборотні кошти будуть дорівнювати:

$$CF_{об} = \frac{ПС - А}{12} \cdot 1,2;$$

$$CF_{об} = \frac{12850000 - 269219,75}{12} \cdot 1,2 = 1258078 \text{ (грн.)}.$$

У даній формулі 20% - це резервний (страховий) фонд.

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.7.3. Розрахунок грошового потоку

Для оцінки ефективності проекту потрібно сформувати грошовий потік від реалізації інвестицій (таблиця 6.11).

Таблиця 6.11. - Розрахунок грошового потоку

Показники	Значення, грн.	Вказівки з розрахунку
1. Чистий прибуток, у тому числі:	2574407,85	-
а) у річному обсязі продукції	1445441,62	п.9 табл.6.8
б) прибуток від випуску супутньої продукції	1128966,23	дивись розрахунок нижче
2. Амортизація 1-ї групи основних фондів	27978,85	8% від п.1 таб.6.10
3. Амортизація 2-ї групи основних фондів	48010,75	40% від п.2 таб.6.10
4. Амортизація 3-ї групи основних фондів	193230,15	24% від п.3 таб.6.10
Разом сумарний грошовий потік:	2843627,6	п.(1+2+3+4)

6.7.4. Розрахунок прибутку від випуску супутньої продукції

Прибуток від випуску супутньої продукції:

$$\Pi' = \frac{\Pi}{TН} \cdot (TН' - TН),$$

де Π - отриманий прибуток від заданої програми, грн.;

$TН$ - трудомісткість річної програми, н.-год.;

$TН'$ - трудомісткість річної програми з урахуванням довантаження, н.-год.

$$\Pi' = \frac{1445441,62}{12044} \cdot (21451 - 12044) = 1128966,23 \text{ (грн.)}$$

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.7.5. Розрахунок сумарного грошового потоку

Розрахунок сумарного грошового потоку з урахуванням обсягів виробництва по роках зводимо в таблицю 6.12.

Таблиця 6.12. - Розрахунок сумарного грошового потоку з урахуванням обсягів виробництва по роках

Роки	Показники	Роки	Значення, грн.
1	2	3	4
0	Сума капітальних вкладень	Початок 2005року	(3297919)
1	70% грошового потоку	2005	1990539,32
2	90% грошового потоку	2006	2559264,84
3	100% грошового потоку	2007-	2843627,6
4	100% грошового потоку .	2008	2843627,6
Разом (без дисконтування):			9782767,96

Визначення періоду окупності проекту.

$$\text{Період окупності} = \frac{\text{Кількість років доповного відшкодування втрат}}{\text{Невідшкодованній залишок у цьому році грошовий потік наступного року}}$$

Рік 1-й: $-3297919 + 1990539,32 = -1307379,68$

Рік 2-й: $-1307379,68 + 2559264,84 = 1251885,16$

Проект окупиться на другий рік.

$$\text{Період окупності} = 1 + \frac{1251885,16}{2559264,84} = 1,49 \text{ року}$$

Період окупності 1,49 року або 1рік та 6 місяців.

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.7.6. Визначення чистої теперішньої вартості проекту

Таблиця 6.13. - Визначення чистої теперішньої вартості проекту

Роки	Коефіцієнт дисконтування	Значення, грн.
1	2	3
0	$K_d = \frac{1}{(1 + r)^t},$ де $r=21\%$ - ставка дисконтування; i - номер року $K_d = \frac{1}{(1 + 0,21)^0} = 1.$	K_d^x значення року табл. 6.12. -3297919
1	Тут і далі K_d розраховується аналогічно графі (0) $K_d = 0,8264$	1645074
2	$K_d = 0,6830$	1748012
3	$K_d = 0,5645$	1605154
4	$K_d = 0,4665$	1326573
5	$K_d = 0,3855$	1096342
Разом чиста теперішня вартість проекту:		4123236

Період окупності проекту за урахуванням дисконту:

Рік 1-й: $-3297919 + 1645074 = -1652845$

Рік 2-й: $-1652845 + 1748012 = -95167$

Рік 3-й: $-95167 + 1605154 = 1509987$

Період окупності (модифікований) $= 2 + \frac{1509987}{1605154} = 2,94$ року,

або приблизно через 3 роки.

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.8 Техніко-економічні показники дільниці

Для одержання повного уявлення про доцільність реалізації проекту дільниці механічного цеху необхідно мати комплекс підсумкових даних, що характеризують економічну сторону роботи спроектованої дільниці. Основні техніко-економічні показники дільниці зведені в таблицю 6.14.

Таблиця 6.14 - Техніко-економічні показники дільниці

Найменування показників	Одиниці виміру	Значення
1	2	3
1. Обсяг виробництва	штук	500
2. Трудомісткість річної програми:	н.-год.	
- заданої річної програми;		12044
- з урахуванням супутньої продукції		21451
3. Чисельність працюючих всього:	осіб	18,62
в тому числі:		
- основних робочих;		12
- допоміжних робочих;		3,4
- спеціалістів;		2,6
- службовців;		0,48
- молодшого обслуговуючого персоналу		0,14
4. Середній розряд робочих:	-	
- основних;		2,83
- допоміжних		3,14
5. Фонд заробітної плати:	грн.	
- основних робочих;		354739,7
- допоміжних робочих;		86511,43
- спеціалістів;		174525
- службовців;		7612,42
- молодшого обслуговуючого персоналу		1983,52

Продовження табл. 6.14

6. Середньомісячна заробітна плата:	грн.	
- основних робочих;		2463,47
- допоміжних робочих;		2120,38
- спеціалістів;		5593,75
- службовців;		1321,60
- молодшого обслуговуючого персоналу		1180,67
7. Вартість основних виробничих фондів всього:	грн.	2039841
у тому числі:		
I. групи (будівлі, споруди, передатні пристрої);		559597
II. групи (транспортні засоби. ЕОМ, прилади);		192043
Тії. групи (інше)		1288201
8. Кількість устаткування на ділянці	штук	12
9. Середній коефіцієнт завантаження устаткування	%	0,84
10. Коефіцієнт використання матеріалу	-	0,67
11. Собівартість одиниці продукції	грн.	25700
12. Собівартість річної програми	грн.	12850000
13. Виробнича програма за оптовими цінами	грн.	14777500
14. Чистий прибуток	грн.	1445441,62
15. Чиста теперішня вартість проекту	грн.	4123236
16. Строк окупності капітальних вкладень:	роки	
без дисконтування;		1,49
з урахуванням дисконтування		2,94

6.9 Висновок

Випуск деталі «вал-шестерня є цілком доцільним, технологічно необхідний та економічно вигідний. Інвестиції окупаються протягом 3 років з урахуванням дисконтування.

У результаті реалізації проекту, за період його життєвого циклу підприємство отримає 1445441,62 гривень прибутку.

					6261м.08.МР.07.06.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Охорона навколишнього середовища.

Вступ.

Навколишнє середовище – це фізичне середовище мешкання людини, рослинного тваринного світу та мікроорганізмів . Вона включає природу та продукти антропогенної діяльності , яка все більше впливає на біосферу Землі.

Пріоритетним аспектом господарчої діяльності є створення таких умов для використання природного фонду , які забезпечували б повноцінне існування та розвиток сучасного суспільства . Тому охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів – об’єктивна необхідність , яка впливає з соціально – економічних умов розвитку суспільства .

Уся організація справи охорони навколишнього середовища охоплює комплекс заходів, які спрямовані на боротьбу проте забруднювання, засмітнення та псування земної поверхні, гідросфери та атмосфери, проти шумів, вібрації, випромінювань та інших умовах виробництва та побуту та завдають шкоди здоров’ю людей.

Завдання всесвітньої стратегії охорони природи є досягнення таких трьох основних цілей в галузі сохрannості біологічних ресурсів :

1. Підтримка основних екологічних процесів та систем життєзабезпечення (відновлення та захист ґрунту , коловорот поживних речовин та очищення вод та ін.) від яких залежить існування людини та економічний розвиток .

Збереження генетичної різноманітності (усього об’єму генетичного матеріалу, який міститься в усіх живих організмах на землі), від якого залежить функціонування багатьох екологічних процесів та систем селекції , які необхідні для охорони та поліпшення різновиду культурних рослин ,

					6261м.08.МР.07.07.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свійських тварин та корисних мікроорганізмів , а також розвиток науки та медицини , подальший технічний прогрес та забезпечення си

1. сировиною багатьох галузей промисловості , які використовують біологічні ресурси.
2. Забезпечення оптимального використання біологічних видів та екосистем (особливо риб та промислових тварин , пасовищ та лісів).

Для здійснення активного контролю за чистоту навколишнього середовища органи керування будь яким ієрархічним рівнем повинні розпоряджатися технічним , економічними засобами , правовими нормами для того , щоб за допомогою їх впливати на підприємства та організації , які забруднюють навколишнього.

Екологічний паспорт підприємства - це комплексний документ, який змістить характеристику взаємин підприємства з оточуючим середовищем. Екологічний паспорт містить загальні відомості про підприємство, використовуєму сировину, опис технологічних схем виробу основних видів продукції, схем очищення стічних вод та викидів у повітря, їхньої характеристики після очищення, дані про тверді та інші відходи, а також відомості о наявності у світі технологій, забезпечуючих досягнення найкращих питомих показників по охороні природи. Друга частина паспорта містить перелік планованих заходів, спрямованих на зниження навантаження на навколишнє середовище, з вказівкою строків, обсягів витрат, питомих і загальних обсягів викидів шкідливих речовин до та після здійснення кожного заходу.

Екологічний паспорт відбиває наступні принципові моменти:

- перехід від вивчення наслідків до детального аналізу причин;
- перехід від розгляду загального об'єму викидів до питомих показників, віднесеним до одиниці виробленої продукції й зіставленими з найкращими показниками, досягнутими у світі.

					6261м.08.МР.07.07.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Екологічна характеристика підприємства передбачає оцінку прогресивності технології, повноту використання сировини й палива, застосовувані схеми очищення стічних вод та викидів у повітря, характеристику потоків, що відходять, води й газу, відчужуваної території, загальну економічну оцінку збитку, наносимого підприємством навколишньому середовищу й деталізацію цієї оцінки по видах продукції й технологічним переділам.

Програма заходів щодо зниження навантаження на навколишню середовище повинна передбачати перспективну стратегію й найближчий план з вказівкою строків реалізації, обсягів необхідних витрат, знижень викидів, що досягають, і їх концентрації, зниження збитку навколишньому середовищу.

Показники впливу підприємства на стан навколишнього середовища:

1. Екологічність продукції.
2. Вплив на водні ресурси.
3. Вплив на повітряні ресурси.
4. Вплив на матеріальні ресурси й відходи виробництва.
5. Вплив на земельні ресурси.

Природоохоронна діяльність на підприємстві.

Для організації природоохоронної праці на підприємстві створена служба охорони навколишнього середовища (ОНС) , яка знаходиться в безпосередньому підкоренні головного інженера.

Робочим органом цієї служби є бюро ОНС , яке здійснює методичне керівництво санпромлабораторією та у взаємодії з іншим підрозділами підприємства розв'язує усі природоохоронні питання .

Санпромлабораторія здійснює лабораторний контроль за якістю сточних вод, атмосферного повітря та промвідходів.

					6261м.08.МР.07.07.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз впливу механічного цеху на навколишнє середовище.

Машинобудівне виробництво шкідливо впливає на навколишнє середовище практично на всіх етапах виготовлення деталей та машин.

Цілком, машинобудівні підприємства виявляють свій негативний вплив на навколишнє середовище по площі не менше ніж в шість разів перевищувала площу самого підприємства.

На етапі заготівлювального виробництва при штампованні заготівель, утворюється ряд шкідливих хімічних сполучень, які поєднанні з окисленням матеріалу

На етапі механічної обробки деталі також утворюється ряд факторів, які впливають на навколишнє середовище:

1. різні змащувально – охолоджуючі рідини , емульсії та продукти їх розладу, які забруднюють сточні води та навколишнє середовище;
2. вихід шкідливих елементів в атмосферу від металеворізальних верстатів виробляється через загальну вентиляцію . Основним викидом є пил з наявністю діоксида кремнію до 2%. Річний вихід його складає 0,100 м/рік.

Охорона земельних ресурсів.

Запобіг забруднення навколишнього середовища відходами в усіх ділянках установлені контейнери для сміття відходів виробництва, ємність для збирання відпрацьованої емульсії, нафтомаслопродуктів .

Якість стічних вод, які скидають цеха підприємства постійно знаходяться під контролем санлабораторії підприємства, місцевих органів Мінздраву України, Мінекобезпеки та містводоканалом.

Охорона атмосферного повітря.

На етапі термообробки утворюються шкідливі хімічні речовини, які забруднюють повітря, стічні води, земельні ресурси. Також має місце

					6261м.08.МР.07.07.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічне забруднення повітря частками матеріалу деталі, а також продуктами їх окислення, шкідливий вплив факторів , шум, вібрація та ін.

На усіх ділянках підприємства, техпроцес яких супроводжується пилоутворенням, вентиляційні системи мають пилегазоочистні установки (ПГОУ).

Викиди шкідливих елементів в атмосферу від літєйного виробництва очищають в циклонах типу ЛТЗ, інерційній камері та рукавних фільтрах; від механооброблюючого обладнання пимопадних камерах, циклонах типу ЛТЗ та ЦОК, які забезпечують індивідуальні агрегати типу ЗИЛ-130.

Основним паливом в котельній є природний газ. Продукти згоряння викидаються в атмосферу через димові труби висотою 60 та 33 метра, газоповітряна суміш від котла КМ-10 відводиться на вуглекислотну станцію .

Охорона та раціональне використання водних ресурсів.

Виробництво споживає питну, технічну воду і воду з артскважини. Для скорочення витрат свіжої води працюють дві основні та ряд локальних систем оборотного водопостачання.

Система каналізації складається з двох самостійних: господарсько-побутовою та виробничо-лівневою. Усі промстоки перед тим як скинути в каналізацією проходять попередню очистку на заводських комплексних очищаючих спорудах. Для нейтралізації утримуючих стоків працюють два нейтралізатора контактного типу. Забруднені стоки з кисневої станції, мазутосховища, з мойки автомашин, дільниці пресів, дільниці очищування відпрацьованої емульсії, відпрацьовані нафтомаслопродукти після відстою передаються на підсобне господарство будівельним організаціям , на мазутосховищі для спалення в котельній , повторно використовують на менш відповідальному обладнанні.

					6261м.08.МР.07.07.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запобігання негативного впливу проектуємої ділянки на навколишнє середовище.

Повністю виключити вплив сучасного виробництва на навколишнє середовище неможливо, але можливо суттєво знизити його, використовуючи сучасні технології. Для цього необхідно провести наступні заходи:

1. Встановити сучасні системи очистки та фільтрації повітря.
2. Вдосконалення систем очистки відпрацьованих технологічних середовищ.
3. Зміна режимів різання та застосування сучасних ріжучих матеріалів , які дозволяють в деяких випадках відмовляти від застосування технологічного середовища , без суттєвого зниження продуктивності технологічного процесу.
4. Застосування різних механічних, біологічних , а також комбінованих методів очистки повітря.

Необхідно пам'ятати, що кошти, витрачені на зниження впливу підприємства на навколишнє середовище, значно менші, ніж ті, що доведеться витратити для його відновлення.

					6261м.08.МР.07.07.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення технології виготовлення лопаток компресорів ГТД ($L=102\text{мм}$)» розроблена відповідно до діючих стандартів ЄСТД. Найбільш відповідальним елементом лопатки є перо. Згідно номенклатури розглянута лопатка відноситься до лопаток компресорів високого тиску. Достоїнство такої лопатки – простота розрахунку налагоджувальних установок верстата. Технологічним недоліком даної деталі є велика конусна відстань ($2S=697,49\text{мм}$), що потребують фрезерного обладнання великих типорозмірів. На базовому підприємстві розроблено метод виготовлення лопаток з великою конусною відстанню на фрезерних верстатах малих типорозмірів. Це дозволяє виготовити лопатку на фрезерному верстаті, найбільша довжина утворюючої початкового конусу якого дорівнює 400мм . В кваліфікаційній роботі надано опис призначення деталі та характеристика матеріалу, з якого вона виготовлена, зроблено аналіз її технологічності, вибір та обґрунтування типу виробництва, розроблено технологічний процес виготовлення, а також розглянуті питання з обробки лопаток компресорів на верстатах із ЧПК універсальним інструментом, спрощення технологічного процесу виготовлення валів-шестерен із цементованих загартованих сталей. В кваліфікаційній роботі наведені розрахунки спеціальних пристосувань та ріжучого і вимірювального інструментів: ділильного пристосування для фрезерування, оправки для шліфування пера лопатки. Спроектована дільниця з виготовлення деталі та розраховані її техніко-економічні показники і доцільність її проектування. Наведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів на дільниці, безпека при експлуатації обладнання, розрахунок штучного освітлення, аналіз впливу виробництва та технологічного процесу виготовлення деталі на довкілля та розглянуті заходи з охорони навколишнього середовища.

Література

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування Проектування та виробництво заготовок. - Підручник. – Львів, Світ, 1996. – 368 с.
2. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. - Навчальний посібник. – Київ: ІСДО, 1993. – 544 с.
3. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування. - Навчальний посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів. – Львів, Магнолія, 2007. – 567 с.
4. Горбатюк Є.О., Мазур М.П.,Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування. - Навчальний посібник. – Львів, «Новий Світ-2000», 2012. – 358 с.
5. Довідник технолога-машинобудівника. в 2-х т. /Під заг.ред.А.Г.Косилової та Р.К.Мещерякова. – 5 вид., переробл. і доп. – Київ, Техніка, 1990. -
6. Івченко Л.І. Державні стандарти в машинобудуванні і металообробці/Л.І.Івченко, В.В.Петракін. – Харків, Компанія «Сміт», 2006. – 320 с.
7. Колкер Я.Д., Руднєв О.Н. Базування та бази в машинобудуванні. - Начальний посібник. – Київ, Вища школа, 1991. – 100 с.
8. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування. – Підручник для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати та системи». – Житомир, Держ.університет «Житомирська політехніка», 2009. –
9. Обробка металів різанням. Довідник технолога /Н.А.Панов, В.В.Анікін, Н.Г.Бойм та ін. Під заг.ред. А.Н.Панова. – Київ, Техніка, 1991. – 740 с.
10. Паливода Ю.Є., Дячун А.Е., Лешук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки. – Навчально-методичний посібник. – Тернопіль: Тернопільський нац.техн.університет ім. Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

						Арк.
						135
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Пістун І.П., Кіт Ю.В., Березовецький А.П. Практикум з охорони праці. – Навчальний посібник. - /За заг.редк.т.н., І.П.Пістуна. – Суми, Вид-во «Університетська книга», 2000. – 207 с.

12. Руденко П.О., Харламов Ю.А. Проектування і виробництво заготовок у машинобудуванні. – Навчальний посібник. Під ред. В.М.Плескача. – Київ, Вища школа, 1991. – 247 с.

13. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. – Навчальний посібник для машинобудівних спец.вузів. – Київ, Вища школа, 1993. – 414 с.

14. Соловійов С.М., Шумілов О.П., Івахненко М.М., Бобошко В.О., Козленко О.О. Практикум з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей машин». – Навчальний посібник . Під заг.ред. проф. С.М.Соловійова. – Миколаїв, НУК, 2016. – 172 с.

15. Технологія машинобудівних підприємств. - Підручник /В.Л.Дикань, Ю.Є.Калабухін, Н./Каличева та ін. За заг.ред. В.Л.Диканя. – Харків, УкрДЧЗТ, 2020. – 386 с.

16. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт. – Навчальний посібник/І.І.Юрчишин, Я.М.Литвиняк, І.Е.Грицай, М.Л.Кухляк, Я.М.Кусій, В.В.Ступницький, В.А.Яцюк, А.М.Кук, Е.М.Махоркін, В.П.Свізінський. За заг.ред.І.І.Юрчишина. – Львів, Вид-во національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 528 с.

17. Ткаченко І.Г., Капаціла Ю.Б., Паливода Ю.Є. Технологія машинобудування: Вступ до спеціальності. – Навчальний посібник. – Тернопіль, Тернопільський нац.тех.університет ім.Івана Пулюя, 2013. – 84 с.

18. Ткачук К.Н., Іванчук Д.Ф. та ін. Довідник з охорони праці на промисловому підприємстві. – ДО, Техніка, 1991.

19. Тубальцев А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок. – навчальний посібник. – Миколаїв, УДМТУ, 2001. – 84 с.

						Арк.
						136
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Хлопенко Б.К., Шумілов О.П., Івахненко М.М., Козленко О.О. Проектування технологічних процесів обробки типових деталей. – Навчальний посібник. – Миколаїв, УДМТУ, 2003. – 56 с.

21. Яковенко І.Е., Пермяков О.А., Фесенко А.В. Технологічні основи машинобудування. – Навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування». – Харків, НТУ «ХПУ», 2022. – 421 с.

22. **GEAR WHEEL PRODUCTION TRENDS**, *LMT-Tools.com / LMT Tool Sytems*// *підрозділ по нарізанню зубчастих колес, Шварценбек – Германія*

23.Зубофрезерування на універсальних верстатах. Прес-реліз від ТОВ «Сандвик» // Режим доступа <http://tverdysplav.ru/zubofrezerovanie-na-universalnyh-stankah/>

						Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		137