

Міністерство освіти та науки України
Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)
Кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Оцінка ремонтпридатності елементів волочильного обладнання

Виконав: магістрант групи 8.1332-дн

Осіпов Д.С.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

-

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник доц., канд.техн.наук Таратуга К.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Гречаний О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. ПотебніКафедра металургійного обладнанняРівень вищої освіти магістр

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація -

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А.О. Власов

“ _____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ**ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**Осіпов Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Оцінка ремонтпридатності елементів волочильного обладнання.

керівник магістерської роботи: доцент, канд. техн. наук Таратута К.В.

затверджені наказом вищого навчального закладу: від “09.10. 2023 року

№ 1581 – с.

2. Термін подання студентом роботи 25.02.2024 року.

3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи волочильного обладнання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд та класифікація волочильного обладнання. 2. Розрахунок навантажень та силових параметрів прямоочного волочильного стана. 3. Дослідження ремонтпридатності волочильного обладнання. 4. Охорона праці та техногенна безпеки. Висновки та рекомендації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Креслення загального виду – 1 шт ; 2. Складальні креслення та деталювання -3 шт; 3. Креслення та плакати дослідницької частини – 1 шт.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв
1	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
2	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
3	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
4	Таратута К.В., к.т.н., доцент	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Збір матеріалу до кваліфікаційної роботи	01.09.2023 – 01.11.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	01.11.2023 – 01.12.2023	
3	Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи	01.12.2023 – 15.12.2023	
4	Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	15.12.2023 – 01.01.2024	
5	Написання та оформлення кваліфікаційної роботи	01.01.2024 – 25.01.2024	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами	25.01.2024 – 10.02.2024	
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.02.2024	
8	Переплітання роботи	25.02.2024	
9	Захист проекту у ЕК	Згідно з графіком	

Студент _____
(підпис)

Осіпов Д.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____
(підпис)

К.В. Таратута
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Осіпов Д.С. Оцінка ремонтпридатності елементів волочильного обладнання.

Випускна кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник К.В. Таратута. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра металургійного обладнання, 2024.

В роботі проведено огляд і класифікація волочильних станів. Проведено розрахунки навантажень, що діють на елементи привода волочильних станів. Проведено оцінка ремонтпридатності обладнання ділянки волочіння. Розроблено заходи технічного обслуговування та ремонтів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРИВОД, ВОЛОЧІННЯ, РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ

ABSTRACT

Osipov D.S. Assessment of repairability of drawing equipment elements.

Graduation qualification work for obtaining a master's degree of higher education in specialty 133 - Industrial mechanical engineering, supervisor K.V. Taratuta Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Desired Department of metallurgical equipment, 2024.

The paper reviews and classifies drawing machines. Calculations of the loads acting on the drive elements of the drawing mills were carried out. An assessment of the maintainability of the equipment of the drawing section was carried out. Maintenance and repair measures have been developed.

KEY WORDS: DRIVE, DRAG, REPAIRABILITY

ЗМІСТ

Вступ	6
1. ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ВОЛОЧИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ	8
1.1. Класифікація та конструктивні особливості волоочильних станів	8
1.2. Волоочильні стани з прямолінійним рухом матеріалу	10
1.3 Барабанні стани однократного волочіння	13
1.4 Стани багатократного волочіння	15
1.5 Петлеві багатократні волоочильні стани, що працюють із протинатягом	21
1.6 Прямоточні багатократні волоочильні стани з протинатягом	23
1.7 Стани багаторазового волочіння зі ковзанням	25
1.8. Показники ремонтпридатності волоочильного обладнання	28
1.9 Обґрунтування обраного напрямку роботи	29
2. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ТА СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРЯМОТОЧНОГО ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА	31
2.1 Розрахунок і вибір потужності електродвигуна прямоточного волоочильного стану	31
2.2 Розрахунок силового редуктора привода волоочильного стану	39
3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ВОЛОЧИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ	57
3.1 Оцінка ремонтпридатності волоочильних станів	57
3.2 Розробка заходів технічного обслуговування та ремонтів ділянки прямоточного волочіння	59
3.3. Обґрунтування її чисельності робітників механослужби ділянки волочіння	66
3.4 Визначення кількості запчастин із використанням показників надійності	69
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	73
Висновки	83
Список використаної літератури	84
Додатки	86

ВСТУП

Актуальність теми.

Ремонтопридатність волочильного обладнання вказує на здатність цього обладнання легко піддаватись ремонту та технічному обслуговуванню. Обґрунтовані показники ремонтнопридатності дозволяють зменшити вартість експлуатації обладнання, збільшити надійність та безпеку обладнання, що в свою чергу призведе до зменшення аварійних простоїв.

Оцінка ремонтнопридатності є важливим етапом при виборі та експлуатації обладнання, а також під час розробки стратегій технічного обслуговування. Правильна оцінка допомагає забезпечити надійну та ефективну роботу промислових систем.

Волочильне обладнання відрізняється широкою різноманітністю конструкцій. Для застосування критеріїв ремонтнопридатності необхідно провести систематизацію та уніфікацію вузлів окремих волочильних станів. Подальша оцінка ремонтнопридатності дозволить зменшити витрати як на етапі проектування обладнання так і на етапі його експлуатації.

Мета та завдання дослідження. Дослідження ремонтнопридатності волочильних станів та розробка заходів для забезпечення ремонтнопридатності при значних термінах експлуатації.

Для досягнення поставленої у роботі мети визначені такі завдання дослідження:

- огляд та аналіз волочильного обладнання,
- класифікація показників ремонтнопридатності обладнання;
- визначення основних навантажень та їх допустимих значень у приводі волочильного стана;
- дослідження навантажень, що діють на елементи привода,
- оцінка ремонтнопридатності волочильних станів.

Об'єкт дослідження – привод прямоточних волочильних станів.

Предмет дослідження – дослідження ремонтнопридатності привода

волоочильних станів.

Методи дослідження включають моделювання навантажень, що діють на привод, обробку результатів досліджень.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження дають змогу розробити рекомендації з поліпшення ремонтпридатності волоочильного обладнання.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на науково-практичній конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», доповідь: «Критерії оцінки надійності приводів волоочильного обладнання на етапі проектування.» Запоріжжя: ЗНУ, 2023. С. 22-24.

URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf6/zbirnyk_23.pdf.

Структура та обсяг роботи. Магістерська випускна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи становить 93 сторінки, 14 таблиць, 21 рисунок, списку використаних джерел, додатків.

1. ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ВОЛОЧИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Класифікація та конструктивні особливості волочильних станів

Устаткування, на якому здійснюють волочіння, називають волочильними станами.

Усі волочильні стани можна класифікувати за наступними критеріями [1]:

- за конструкцією;
- за принципом роботи;
- по кратності;
- по діаметру дроту (або прутка) що деформується;
- за кінематичним принципом.

Крім того, на практиці, як в Україні, так і за кордоном, прийнято ділити волочильні стани на стани "сухого" та "мокрого" волочіння.

Для здійснення волочіння застосовуються в основному багатократні стани. Абсолютна більшість таких волочильних станів має тягові барабани чи шайби.

Стани з прямолінійним рухом металу використовуються рідше (ланцюгові, гусеничні, рейкові, гідравлічні). Зазвичай вони призначені для виробництва прутків та труб великих діаметрів.

Багатократні стани магазинного типу (без ковзання дроту з накопиченням) займають велику частку наявного на вітчизняних метизних підприємствах на сьогоднішній день волочильного обладнання, але в даний час виробниками волочильного обладнання такі стани не випускаються. Причиною цього є їх низька енергоефективність та продуктивність.

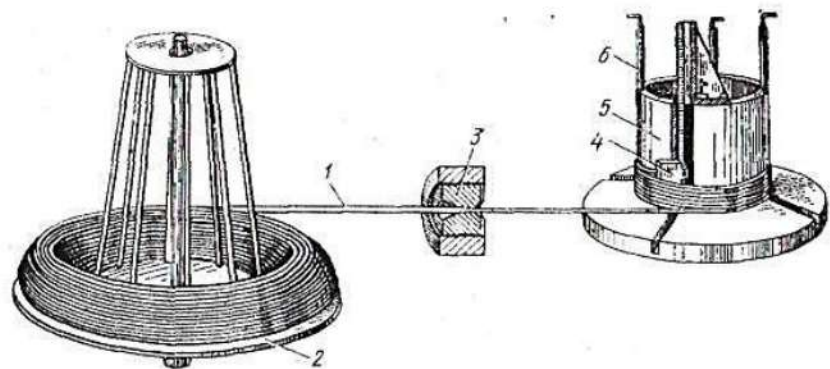
Сучасну альтернативу їм становлять петльові та прямоточні волочильні стани. Це агрегати багатократного волочіння, що працюють з автоматичним регулюванням швидкостей проміжних барабанів без накопичення дроту на них. При заправці цих станів на кожен барабан намотується не більше 10

витків, і в процесі роботи ця кількість дроту залишається незмінною. У разі зносу будь-якої волоки, або появи іншого впливу, що обурює, частота обертання приводних електродвигунів змінюється таким чином, щоб забезпечити сталість секундного об'єму металу в будь-якому місці стану.

Для процесу волочіння дроту з м'яких матеріалів, наприклад, з кольорового металу, застосовуються волочильні стани з функцією ковзання. Це зумовлено тим, що при ковзанні дроту з м'якого матеріалу втрати при терті менше, ніж при волочінні матеріалу зі сталі. Підвищена пластичність та менша міцність кольорового металу у будь-якому випадку полегшують заправку дроту.

При виробництві сталевого дроту рідше застосовують стани з функцією ковзання, в основному при виробництві тонкого дроту мінімального діаметра і дроту для спеціального застосування.

Однократним називається волочіння, при якому дріт простягається через одну або кілька волок за допомогою тільки одного тягового елемента (Рис. 1.1).



1 - дріт; 2 – розмотувальна бухта; 3 – волока; 4 – кліщі; 5 – тяговий барабан; 6 - спиця укладання дроту.

Рисунок 1.1 Однократне волочіння дроту

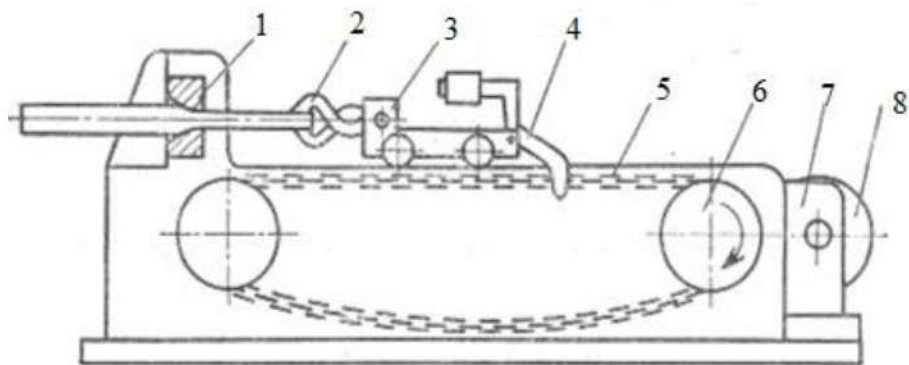
Волочильні стани однократного волочіння поділяють на 2 основні види: Стани з прямолінійним рухом матеріалу. Отриманий профіль залишається у прямолінійному вигляді, а не в мотку. Робочий інструмент – одна волока, яка може бути одинарною або здвоєною. Іноді застосовуються

волоки більшої кратності, тобто. в одному волокоутримувачі може бути встановлено кілька волок. Але так як тяговий пристрій один - волочіння вважається однократним.

Стани з намотуванням металу на тяговий барабан. Застосовуваний інструмент аналогічний першому типу.

1.2 Волочильні стани з прямолінійним рухом матеріалу

Крім дроту волочінням можна отримувати пруткові, фасонні та трубні профілі, які відрізняються від дроту відсутністю змотування в мотки або котушки. Вони використовуються у виготовленні прутків, труб та заготовок у машинобудуванні чи будівництві. Калібрування металу використовується у виробництві метизів, виробництві болтів, гайок, цвяхів та ін. Основною особливістю цього волочіння є використання спеціального волочильного обладнання (рис. 1.2).



1- волока; 2 – кліщі , 3 – каретка; 4 – тягучий гак; 5 – ланцюг, 6 - зірочки, 7 – редуктор; 8 - електродвигун

Рисунок 1.2 Схема прямолінійного ланцюгового волочильного стану

Робота волочильного стану з прямолінійним рухом матеріалу заснована на тому, що заготовку (пруток або трубу), що має обмежену довжину (8-12 м), подають на стан і протягують із зменшенням площі поперечного перерізу через конічну волоку за допомогою візка, що тягне, потім візок повертають до

стійкі волок, але в стан подають наступну заготовку, і процес повторюють. Привід візка, що тягне, може бути різним:

а) за допомогою жорсткого тягнучого елемента - штока гідроциліндра або зубчастої рейки;

б) за допомогою гнучкого тягнучого елемента: тягового ланцюга, каната або тонкої стрічки, що рухаються зірочкою або барабаном, що тягне.

В даний час найбільшого поширення набули ланцюгові волочильні стани.

Швидкість волочіння може досягати 2 м/с, а швидкість повернення тягнучого візка до стійки волок 2,5 м/с, зусилля волочіння від 0,05 до 1 МН, діаметр заготовок, що протягуються, до 150 мм (до 400 мм – труби), довжина 10 -30м.

Робочий стіл волочильного стану сприймає силу, що виникає при волочінні, і служить для з'єднання всіх вузлів стану. Він складається з кількох секцій, кількість яких визначається корисною довжиною волочіння.

Головний привод призначений для переміщення візка, і у ланцюгового волочильного стану складається з електродвигуна, редуктора і провідних зірочок, розміщених на приводному валу, який змонтований на підшипниках кочення в спеціальному корпусі і з'єднаний з валом редуктора. У приводі станів зазвичай використовують електродвигуни постійного струму, це дозволяє регулювати швидкість волочіння в широких межах і плавний запуск приводу. Повернення тягнучого візка, здійснюється найчастіше тим же двигуном.

Підвищення продуктивності станів досягається на основі зростання швидкості волочіння і довжини труби, що протягується. Необхідно також, щоб час, що витрачається на здійснення робочого ходу, перекивав час допоміжних операцій. Для підвищення продуктивності також застосовують одночасне волочіння кількох заготовок.

Істотне скорочення часу допоміжних операцій призвело до створення станів напівбезперервного типу. Основна відмінність їх від станів періодичної

дії полягає в тому, що на тягових ланцюгах закріплені два візки, що тягнуть, і час повернення одного тягучого візка значною мірою перекривається часом волочіння виробу іншим візком. Завдяки цьому частка часу допоміжних операцій у циклі волочіння істотно знижується. Однак, як і в станах періодичної дії, в безперервних станах цикл волочіння одного виробу включає час для його захоплення, розгону візка до номінальної швидкості і його гальмування перед захопленням виробу. Крім того, вплив швидкості волочіння на продуктивність напівбезперервних станів так само обмежений, як і на продуктивність станів періодичної дії.

Основна відмінність цього обладнання від волочіння дроту - прямолінійний рух механізму, а при волочінні дроту використовується обертовий рух тягового механізму.

До основних видів цього волочильного обладнання відносять: ланцюгові волочильні стани та рейкові волочильні стани. У ланцюговому стані тяговий механізм є візком із захопленням дроту, рух якого забезпечує ланцюг. Рейкові стани відрізняються від ланцюгових наявністю у приводі візка рейкового механізму. Перевага рейкових станів - велика довжина ходів візка, компактна конструкція стана.

У зв'язку з низькою продуктивністю цих видів станів, використовуються одночасне захоплення кількох прутків і протяжка через кілька волок. Для підвищення продуктивності також використовуються спеціальні механізми, що дозволяють безперервно обробляти пруткові матеріали. У цих станах використовують самоклинний механізм захоплення, що дозволяє в автоматичному режимі фіксувати і відпускати пруток в процесі його безперервного руху. Перед волочінням прутків завжди використовують попередні операції видалення окалини, наносять спеціальний шар мастила, що сприяє утриманню мастила при волочінні. Основне призначення однократних станів – волочіння та калібрування труб, калібрування прутків, волочіння фасонних профілів.

Застосовуються в основному у трубному виробництві для холоднотягнутих труб, у машинобудуванні для забезпечення власного виробництва каліброваної пруткової заготовкою. Основні переваги:

- простота конструкції;
- можливість волочіння суцільних, порожнистих, фасонних профілів

як круглого, так і інших форм перерізів; - Широкий розмірний ряд заготовок.

Недоліки:

- низька продуктивність;
- немає можливості контролювати та управляти технологічними режимами волочіння (натягування, температура, мастило, швидкість, зусилля тощо);
- невеликий ступінь деформації внаслідок наявності лише одного проходу;
- багаторазове волочіння вимагає багаторазового проходження заготовлі через стан з постійними зупинками після кожного циклу;
- обмежена довжина металу, що протягується.

1.3 Барабанні стани однократного волочіння

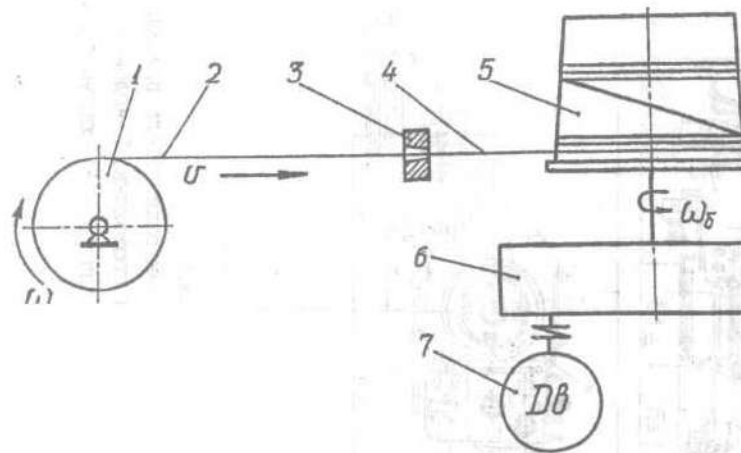
Волочильні одноразові стани барабанного типу використовуються для волочіння товстого дроту, різних профілів і круглих перерізів діаметром до 25-40 мм, а також труб (для волочіння труб діаметром 40-50 мм застосовують стани з діаметром барабана 1400-1500 мм; при волоченні труб діаметром 75 - 80 мм діаметр барабана досягає 3000 мм). За розташуванням осей барабанів ці стани виготовляють вертикальними та горизонтальними [1].

Стани однократного волочіння залежно від перерізу і якості металу, що протягується, розраховують на зусилля 0,05–200 кН при швидкостях волочіння 0,3–5 м/с.

Діаметр барабана визначається максимальним діаметром дроту, що протягується на даному стані.

Найбільше застосування нині мають стани з вертикальним розташуванням осі барабана, оскільки у цих станах легше механізувати знімання бухт, рис. 1.3.

Стан з намотуванням має таку принципову схему:



1 - розмотує пристрій; 2 - дріт - заготівля; 3 - волочильний інструмент; 4 - протягнутий дріт; 5 - барабан, що тягне; 6 – редуктор; 7 – електродвигун

Рисунок. 1.3 Стан однократного волочильного стана барабанного типу [2]

У станах однократного волочіння знаходять застосування електродвигуни як постійного, так і змінного струму, які повинні забезпечувати:

- можливість запуску стана на повзучій швидкості та плавний розгін, щоб уникнути обриву дроту при захопленні;
- плавний і водночас швидкий розгін для забезпечення максимальної продуктивності;
- регулювання швидкості волочіння в залежності від матеріалу, що простягається, і його перерізу з метою максимального використання продуктивності стану;
- можливість аварійної зупинки електродвигуна, щоб уникнути нещасних випадків.

Основне призначення стана – калібрування круглого суцільного профілю, отриманого на дротяному прокатному стані.

Застосовується в основному в метизному виробництві для одержання каліброваного металу в бухтах, які далі використовується в холодновисадковому виробництві.

Крім волочіння суцільних профілів стани такого типу здатні калібрувати холоднодеформовані труби невеликих перерізів, що згортаються в бухти.

Основні переваги:

- простота конструкції;
- можливість обробки довгомірних виробів

Основні недоліки:

- невеликий ступінь деформації внаслідок наявності лише одного проходу;
- багаторазове волочіння вимагає багаторазового проходження заготівлі через стан з постійними зупинками після кожного циклу;
- обмежена площа перерізу металу, що протягується:
 - а) для суцільного профілю до 40 мм;
 - б) для трубного профіля до 50 мм.

1.4 Стани багатократного волочіння

Багаторазові стани без ковзання

Багаторазове волочіння перед одноразовим має такі переваги:

- автоматичний перехід з одного обтискання на інше; - Збільшення швидкості на чистовому барабані при постійній швидкості на розмотуванні;
- покращення умов волочіння (уцільнення шару мастила на поверхні дроту).

Виробництво тонкого та найтоншого дроту здійснюється тільки на станах багаторазового волочіння. Кратність волочіння визначається величинами одиничних та сумарних обтискань.

Багаторазові волочильні стани, які працюють без ковзання дроту на проміжних барабанах, становлять найбільш велику групу сучасних машин. Їх застосовують для волочіння дроту - від грубої до найтоншої при коливанні кратності від двох до тридцяти.

Процес даного багаторазового волочіння відрізняється відсутністю ковзання дроту барабану.

Завдання вирішується двома шляхами.

- швидкість дроту постійно узгоджується зі швидкістю свого барабана, за цим принципом працюють стани магазинного типу.
- швидкість проміжного барабана постійно узгоджується зі швидкістю дроту, що намотується, за цим принципом працюють стани петльового і прямоточного типу.

Стани магазинного типу

Силовою особливістю багаторазового волочіння є узгодження швидкостей руху дроту після кожної волоки. Залежно від цього узгодження розрізняють три основні види багаторазового волочіння дроту:

- волочіння з накопиченням дроту на тягових барабанах;
- волочіння з автоматичним регулюванням швидкостей обертання тягових барабанів;
- волочіння зі ковзанням витків дроту по поверхні тягових барабанів.

Розглянемо схему волочіння із накопиченням дроту на тягових барабанах (рис.1.4).

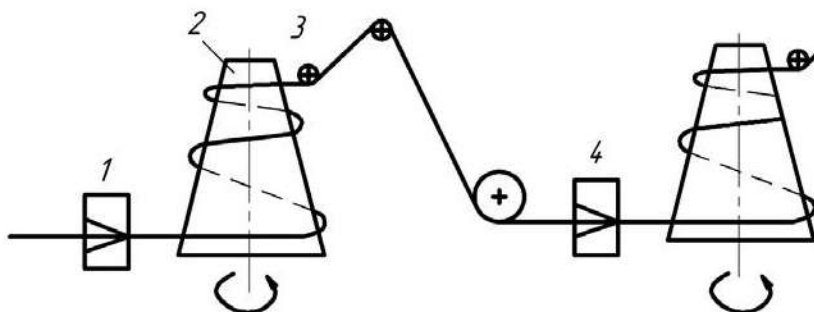


Рисунок 1.4 Схема магазинного волочильного стану [2]

Дріт з розмотує пристрою подається у волоку 1. Після деформації дріт подається на тяговий барабан 2. Лінійна швидкість обертання цього барабана на 3..6% менше, ніж швидкість руху дроту на виході з волоки 1. В результаті різниця швидкостей на барабані 2 накопичує додаткові витки дроту. Поверхня барабана конічна, тому відбувається постійне усунення витків до верху. Розмотуючий пристрій 3 скидає витки і направляє їх через систему роликів до волока 4. Далі відбувається аналогічний рух дроту. Кількість тягових барабанів може становити від 1 до 10.

Завдяки накопиченню витків дроту на барабан, зазначений спосіб волочіння, дозволяє не дотримуватися суворої рівності в законі сталості секундних обсягів при волочінні. Волочильні стани, що працюють за наведеним типом, називають станами магазинного типу.

Стан магазинного типу діє за принципом багаторазового волочіння з накопиченням витків дроту на проміжному тяговому барабані. По суті конструкції це набір однократних волочильних станів барабанного типу. Накопичення дроту забезпечується перевищенням витків, що набігають, над кількістю збігаючих. Це перевищення незначне і становить близько 1,5%. Принцип накопичення обумовлений невеликим перевищенням фактичної витяжки дроту над величиною кінематичної витяжки

Багатократний волочильний стан магазинного типу без ковзання (рис. 1.5) складається з послідовно розташованих барабанів 1, 6, 11 і 14. Між ними знаходяться волокотримачі з волоками 3, 8, 13. Напрямок дроту до волок здійснюється через повідкові пристрої 4, 9, центральні ролики 5, 10 та напрямні ролики 2, 7, 12. Готовий бунт знімають краном 15.

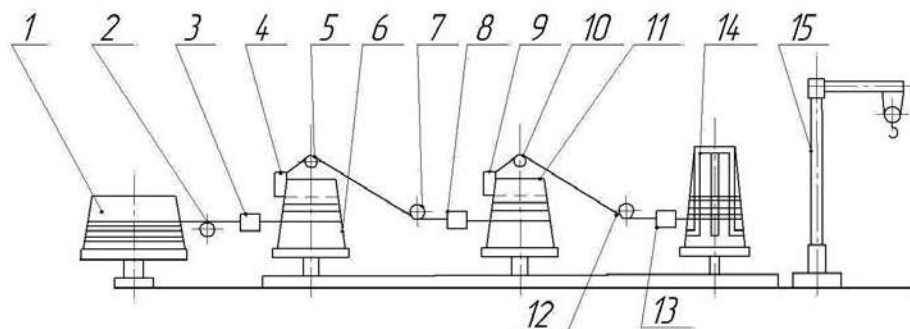


Рисунок 1.5 Багатократний волочильний стан магазинного типу [2]

Повідкові кільця та центральні ролики встановлені на кожному проміжному барабані та відсутні на чистовому. Зазначена схема дозволяє внаслідок накопичення запасу дроту на проміжних барабанах виконувати процес його протягування незалежно від швидкості намотування. З іншого боку, той же запас дроту дозволяє практично не пов'язувати швидкість його розмотування зі швидкістю намотування. Швидкість розмотування визначатиметься необхідною швидкістю протягування металу у наступну волоку. Наявність незалежного запасу (магазину) дроту виключає його ковзання барабаном.

На поверхні вихідного блоку чистового барабана передбачені пази для розміщення грейфера. Магазинні стани, що розглядаються, виконують з індивідуальним і груповим приводом.

При індивідуальному приводі волочильні барабани між собою не пов'язані. Просто технологічним процесом визначається певна послідовність у збільшенні швидкості, що досягається установкою редуктора з підвищеною вихідною швидкістю.

Переваги стану: простота конструкції, немає складної та дорогої системи регулювання швидкостей тягових барабанів.

Недоліком станів магазинного типу є численна кількість згинів – перегинів дроту під час її руху від початкового блоку до чистового. Для уникнення великого накопичення дроту на барабанах та властивому цьому явищу скручування дроту застосовують стани зі здвоєним барабаном.

На станах магазинного типу легко конструктивно усувається головний недолік таких машин - скручування дроту при волочінні. Для цього застосовують здвоєні барабани. Видно, що на одному барабані дріт закручується в один бік, а на другому – в інший. Але подвійне скручування ще більшою мірою позначається на механічних властивостях дроту.

Волочильні стан зі здвоєними барабанами складаються з окремих блоків, і їх кількість відповідає кратності волочіння. На відміну від звичайних станів у цій конструкції на кожному шпинделі є два барабани, розташовані

один над одним. Нижній барабан щільно насаджено на шпindel і з'єднаний з ним через шпонку. Верхній барабан може вільно обертатися у будь-якому напрямку, оскільки він встановлений на шпинделі на підшипниках кочення. Між нижнім та верхнім барабанами на шпindel одягається фрикційне кільце з напрямним роликом. Сили тертя виникають між шпинделем і кільцями прагнуть обертати фрикційне кільце з роликом у тому напрямі, як і шпindel.

Ролик направляє дріт із нижнього барабана на верхній. Намотування дроту на нижній і верхній барабани проводиться в протилежному напрямку, як це показано на рис. 1.6 [2].

Після накопичення необхідного запасу дроту на нижньому і верхньому барабанах дріт з верхнього барабана по двох напрямних роликах надходить до волоки наступного блоку, де процес повторюється в такому порядку, як і на першому блоці, і т.д. до останнього блоку. Схема намотування дроту у поєднанні з обертанням барабанів та протилежних один до одного напрямках, а також різні швидкості обертання фрикційного кільця з направляючим роликом можуть розглядатися як диференціальний механізм. Максимальний та мінімальний запаси дроту на барабанах контролюються кінцевими вимикачами, розташованими на барабанах. При накопиченні максимального запасу замикається вимикач, який зупиняє барабан, а при витраті запасу до мінімуму інший кінцевий вимикач дає команду на пуск барабана.

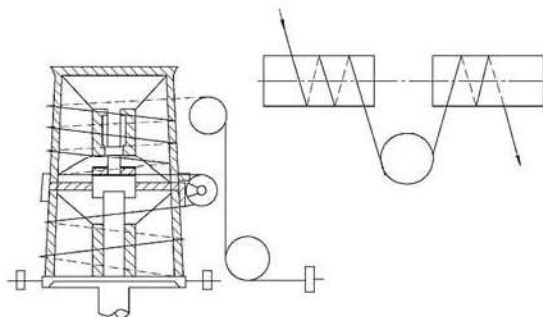


Рисунок 1.6 Схема намотування дроту на здвоєні барабани

Коли верхній барабан перебуває у спокої, фрикційне кільце з направляючим роликом обертається щодо осі шпинделя вдвічі повільніше ніж нижній барабан, і запас дроту однаково збільшується на обох барабанах при

рівних діаметрах барабанів. У тому випадку, коли з верхнього барабана дріт знімається в тангенціальному напрямку, барабан обертається назустріч нижньому барабану і з обох барабанів розмотується однакова кількість дроту.

Якщо з верхнього барабана дріт знімається повільніше, ніж намотується на нижній барабан, то запас дроту барабанів збільшується і напрямний ролик обертається щодо осі шпинделя вдвічі повільніше різниці швидкостей обох барабанів. Коли ж з верхнього барабана знімається кількість дроту, що дорівнює кількості дроту, що намотується на нижній барабан, то нижній ролик не обертається навколо осі шпинделя. Якщо ж з верхнього барабана змотується більше дроту, ніж на нижній намотується, то запас дроту зменшується, і фрикційне кільце з направляючим роликом обертається в протилежному до нижнього барабана напрямку зі швидкістю вдвічі меншою різниці швидкостей верхнього і нижнього барабанів.

Наявність здвоєного барабана на чистовому блоці стану дозволяє проводити знімання дроту або зміну котушки при намотуванні дроту на котушки без зупинки стану.

Привід барабанів цих станів здійснюється індивідуальними двигунами.

Перевагами цього стану є: можливість волочіння без скручування дроту; відсутність скручування дозволяє волочити на стані дріт як круглих, а й квадратних, шестигранних та інших перерізів; можливість знімати дріт із чистового барабана або робити зміну шпульт без зупинки стану; будь-який з барабанів стану може бути короткочасно зупинений для усунення несправності без зупинки інших барабанів; проста за кінематикою та електричною схемою конструкція стану, що дозволяє застосовувати електродвигуни змінного струму.

Недоліками цієї конструкції є: велика кількість вигинів дроту по напрямних роликах, що значно утруднює заправлення стану при волочінні товстого дроту; великий нагрівання і зношування фрикційного кільця на останніх барабанах, де швидкості досягають найбільших значень, а максимальне ковзання у фрикційного кільця виходить, коли верхній і нижній

барабани обертаються з однаковою швидкістю, в різні боки, а кільце залишається нерухомим. Нагрів та знос фрикційного кільця лімітують підвищення швидкості. Немає можливості на цьому стані працювати із протинатягом. Є інший різновид конструкцій стана, що працює за цим принципом, але барабани розташовані не один над одним, а концентрично, один в іншому.

Більш досконалішими є стани, які працюють із протинатягом.

Стани з протинатягом мають такі переваги:

- відсутність скручування дроту під час переходу з барабана на барабан;
- можливість застосування протинатягу шляхом автоматичного регулювання швидкості барабанів;
- наявність протинатягу значно зменшує знос волокон та нагрівання дроту, що дозволяє підвищити якість дроту та швидкості волочіння.

1.5 Петлеві багатократні волочильні стани, що працюють із протинатягом

Завдяки протинатягу зменшується знос волокон, підвищується рівномірність товщини дроту і стає можливим застосування вищої швидкості волочіння.

Створення та регулювання протинатягу здійснюється регулюванням швидкості обертання проміжних барабанів при виключенні можливості ковзання дроту по барабану. Стани цього типу аналогічні іншим багаторазовим станам і складаються з декількох послідовно розташованих барабанів з волоками, що знаходяться між ними. Для приводу кожного барабана застосовують електродвигуни постійного струму з швидкістю, що регулюється.

У зв'язку з тим, що накопичення дроту призводить до великих габаритів волочильних станів, які мають низьку швидкість волочіння, використовується

інший принцип волочіння. Він полягає у відсутності накопичення витків, але у наявності спеціального приводу тягових барабанів, що дозволяє автоматично підтримувати заданий натяг дроту між тяговими барабанами. Це регулювання здійснюється шляхом зміни в автоматичному режимі швидкостей волочіння, які дорівнюють швидкостям обертання тягових барабанів.

Додаткова перевага цього виду волочіння – наявність регульованого протинатягу волочіння. Використовується два різновиди цього виду волочіння: петльове (рис. 1.7) і прямоточне.

З розмотує пристрою дріт подається до волоки 1. Після деформації витки дроту намотуються на барабан 2. Їх кількість повинна забезпечувати відсутність ковзання по барабану (близько 30 витків). Після барабана дріт огинає петлею навколо ролика 3 і далі потрапляє до волоки 4. Вісь ролика 3 закріплений на рухомій опорі, тому величина розтягування гнучкого елемента опори відповідає величині натягу дроту між барабаном 2 і волоком 4. Далі рух дроту циклічно повторюється. Кількість барабанів до 15. Залежно від усунення опори ролика 3 змінюється швидкість обертання барабана 2. Цей зв'язок забезпечується механізмом автоматичного регулювання швидкостей обертання тягових барабанів. Тому при волочінні суворо дотримується закон сталості секундних обсягів.

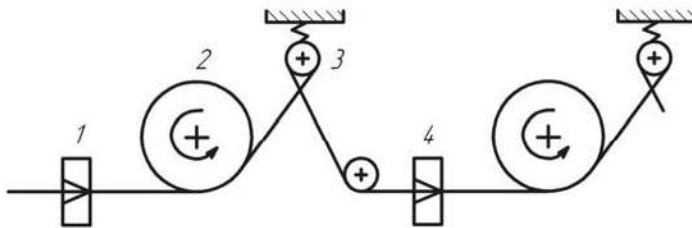


Рисунок 1.7 Схема петлевого волочильного стану

Швидкості всіх барабанів регулюють таким чином, щоб дріт піддавався безперервному волоченню без прослизання. При застосуванні двигунів постійного струму це регулювання досягається електричною схемою шляхом застосування реостата, що механічно пов'язаний з натяжними роликками, рис.

1.8. Дріт 1, огинаючи барабан 2, прямує навколо натяжного ролика 3, а потім навколо ролика 4 у волоку 5 і наступний барабан і т.д. При повороті натискного ролика, пов'язаного з реостатом 6, здійснюється регулювання напруги в обмотці збудження попереднього електродвигуна 7. Таким чином, якщо якор електродвигуна буде обертатися з занадто великою швидкістю, через що петля буде збільшуватися, швидкість якоря буде зменшуватися і навпаки.

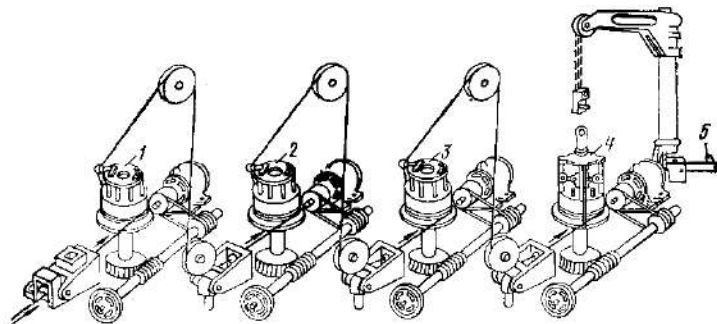


Рисунок 1.8 Схема автоматичного регулювання швидкості волочіння петлевого типу

До переваг станів петльового типу належать:

- практично необмежений вибір одиничних обтискань;
- можливість регулювання протинатягу;
- більш висока проти станами магазинного типу продуктивність;
- відсутність перекручування дроту.

Недоліками даної конструкції є:

- утруднена заправка стана;
- додаткові вигини дроту при проходженні через ролики;
- вузький діапазон регулювання протинатягу механічним шляхом;

Застосування постійного струму подорожчає та ускладнює конструкцію.

Цих недоліків позбавлені прямоточні стани із протинатягом.

1.6 Прямоточні багатократні волочильні стани з протинатягом

Принциповою відмінністю прямоточних станів є автоматичне

регулювання лінійних швидкостей обертання барабанів відповідно до витяжки дроту між блоками (рис. 1.9).

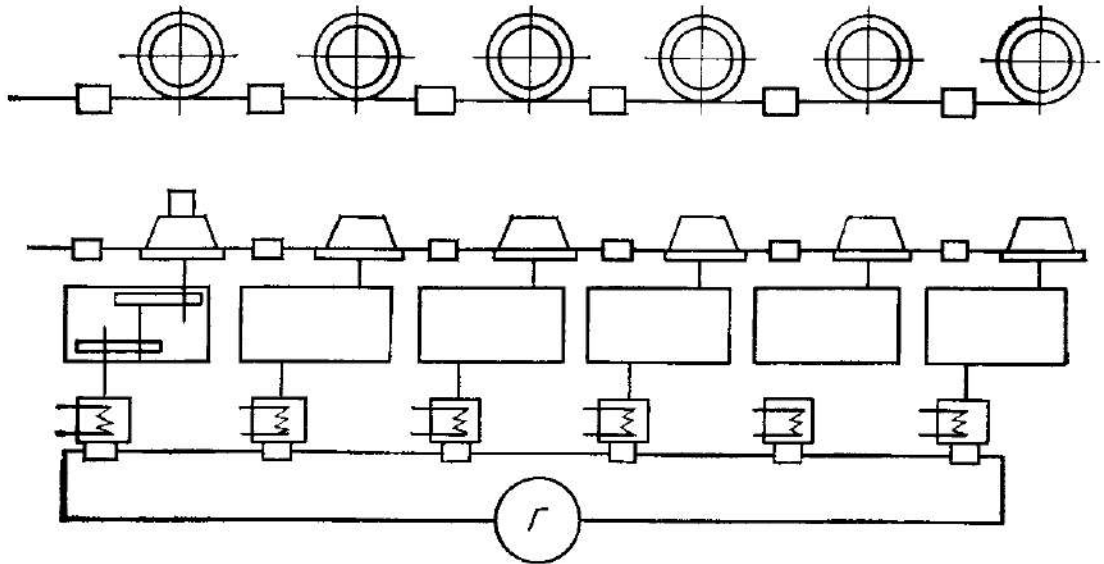


Рисунок 1.9 Схема прямогочного волочильного стану з автоматичним регулюванням швидкості барабанів

Швидкість волочіння задається останнім чистовим блоком. Відповідно до натягу дроту, що передається на регулювальний ролик між передостаннім і останнім чистовим барабаном, система автоматичного регулювання швидкостей барабанів встановлює швидкість передостаннього барабана. Швидкість дорівнює:

$$V_{n-1} = V_n / \mu,$$

де V_n – швидкість чистового барабана, $\mu = D_n^2 / D_{n-1}^2$ – витяжка.

Аналогічно встановлюються швидкості волочіння по всіх блоках. Управління приводом блоків здійснюється автоматично шляхом зміни частоти струму двигуна.

Таким чином, при встановленні будь-якого маршруту стан автоматично підлаштовується і швидкості встановлюються таким чином, щоб $\mu = i$. Прямоточні стани дозволяють більш точно та широко регулювати протинатяг. Зменшення нагріву дроту в процесі волочіння досягається за рахунок

зниження приватних обтискань та інтенсивного охолодження волок і барабанів.

Розглянуті вище стани багатократного волочіння, що працюють без ковзання дроту на проміжних барабанах, застосовують найбільш широко. Їх використовують для волочіння дроту майже всього сортаменту, при цьому забезпечується висока продуктивність. Кратність машин до 15 і більше, тому можна застосовувати великі сумарні обтискання. Поодинокі обтискання допускається змінювати в широкому діапазоні.

Загальними недоліками, властивими машинам із протинатягом, як петльовим, так і прямоточним, є мале охолодження дроту у зв'язку з короткочасністю перебування його на кожному барабані, непряме охолодження дроту, барабанів, що тягнуть, і волок, значні їх габарити і металомісткість. Машини з протинатягом через необхідність синхронізації швидкостей барабанів вимагають створення досить складних і дорогих систем автоматизованого електроприводу. З проведеного далеко не повного аналізу відомих типів машин нескладно зробити такі висновки:

- поява кожного нового типу машин усувала певною мірою недоліки попередніх, але з'являлися нові, що також обмежувало області їх застосування;
- основа безперервного волочіння в машинах із протинатягом - синхронізація швидкостей - досягається занадто великим ускладненням машин та їх подорожчанням;
- подальшого істотного зростання швидкостей волочіння, і, відповідно, збільшення продуктивності на сучасних машинах сухого волочіння з протинатягом перешкоджає недосконалою системою охолодження дроту, барабанів, що тягнуть, і волочильного інструменту.

1.7 Стани багаторазового волочіння зі ковзанням

Основний недолік багаторазового волочіння з автоматичним

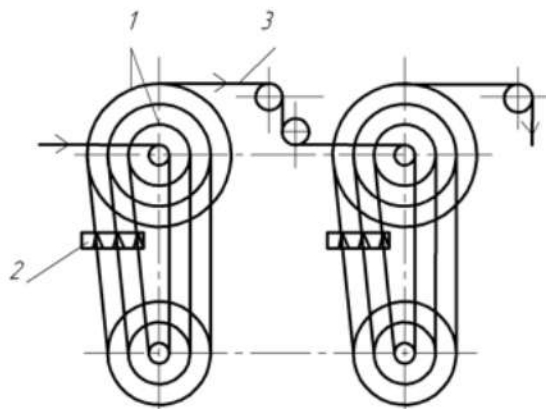
регулюванням швидкості волочіння - необхідність використання складної системи автоматичного регулювання, натягу дроту між барабанами та швидкості цього дроту.

Для виключення цього недоліку використовують принцип волочіння зі ковзанням витків дроту поверхнею тягових барабанів (рис. 3.8). Ковзання дозволяє створювати силу волочіння за рахунок сил тертя між витками та барабаном. Можливість автоматичного налаштування швидкостей волочіння без контролю натягу. Регулювання здійснюється зміною різницею між швидкістю дроту та барабана.

Основний недолік волочіння зі ковзанням - неможливість використання великих діаметрів дроту (понад 2 мм).

Великі діаметри дроту використовуються при волочінні з накопиченням витків, а середні діаметри при волочінні з автоматичним регулюванням швидкостей.

Дріт огинає шайбу на 1,5 – 3,5 витка. Дріт завжди перебуватиме в натягнутому стані, що створює тертя ковзання по поверхні барабана. Починається рух дроту з барабанів малих діаметрів, швидкість яких невелика і закінчується на шайбах великих діаметрів із високою лінійною швидкістю обертання. Всі тягові приводні шайби. Кожна секція шайб має верхній набір шайб - тягові та нижній набір - обвідні. Кількість секцій може становити від 1 до 10.



1-тягові шайби; 2-волока; 3 – дріт.

Рисунок 1.10 Схема волочіння зі ковзанням

Стани мокрого волочіння зі ковзанням представляють низку дисків (шайб) різного діаметра, які розташовані на одному валу. Перед кожним диском (тяговою шайбою) розташовані волокоутримувачі з вовками. Для зміни напрямку руху та переходу від одного барабана до іншого є обвідні шайби, що мають однаковий діаметр з робітниками. Волоки, тягові та обвідні шайби занурюються в рідке мастило, яке безперервно їх омиває у процесі волочіння.

Мастило в цьому випадку зменшує тертя у волоках, на тягових і неодружених шайбах і одночасно охолоджує шайби і волочильний інструмент. Різниця швидкостей тягових шайб і забезпечується за рахунок зміни діаметра шайби або її кутової швидкості. Передаточне число і має постійне значення та закладено у конструкції стану.

Багаторазові машини зі ковзанням характеризуються постійною швидкістю обертання всіх проміжних і чистового шківів протягом усього циклу волочіння і разом з тим деяким відносним ковзанням дроту на проміжних шківах, яке може змінюватися в той чи інший бік залежно від зносу каналу. Сила волочіння розвивається витяжними шківами завдяки силам тертя, які виникають між поверхнями шківа, що стикаються, і дротом, що його охоплює.

На машинах зі ковзанням швидкість обертання шківів на 2 - 4% перевищує швидкість виходу дроту із волоки. Такі машини в залежності від розташування та конструкції робочих шківів можуть бути з горизонтальними або вертикальними шківами. Шківви можуть бути циліндровими або ступінчастими. Стани з циліндричними шківами застосовують порівняно рідко. Найбільш поширені стани зі ступінчастими шківами, що застосовуються для волочіння переважно тонкого і найтоншого дроту. Стани для волочіння дроту середніх і тонких діаметрів мають 5 - 15 волок, а для найтоншого і найтоншого і мікронного дроту 9 - 25 волок.

1.8. Показники ремонтпридатності волочильного обладнання

Ремонтпридатність - властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов і пошкоджень, до підтримання та відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування і ремонту [3].

Ремонтпридатність характеризується наступними основними показниками.

Імовірність відновлення - ймовірність того, що час відновлення працездатного стану об'єкта не перевищує задане значення.

При ймовірнісної трактуванні

$$P(t_b) = P\{t_b < T_b\} \quad (1.1)$$

де t_b - місцевий час відновлення, ч; T_b - заданий час відновлення, ч.

При статистичної трактуванні (1.1)

$$P(t_b) = \frac{n(t_b)}{N_0} = \frac{N_0 - N(t_b)}{N_0} \quad (1.2)$$

де $n(t_b)$ - кількість об'єктів, відновлених до моменту t_b ;

$N(t_b)$ - кількість об'єктів, що не відновлених до моменту t_b ;

N_0 - загальне число відновлюваних об'єктів.

Інтенсивність відновлення- умовна щільність ймовірності відновлення працездатного стану об'єкта, певна для даного моменту часу за умови, що до цього моменту відновлення не було завершено. При ймовірнісної трактуванні

$$\lambda(t_b) = \frac{f(t_b)}{1 - F(t_b)}, \quad (1.3)$$

де $f(t_b)$ - щільність розподілу часу відновлення;

$F(t_b)$ - функція розподілу часу відновлення.

При статистичної трактуванні

$$\lambda(t_b) = \frac{n(\Delta t_b)}{N(t_b) \cdot \Delta t_b}, \quad (1.4)$$

де $n(\Delta t_b)$ - кількість об'єктів, відновлених в інтервалі Δt_b ;

Δt_b - інтервал часу відновлення.

Середній час відновлення- математичне очікування часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови.

При ймовірнісному трактуванні:

$$T_b = \int_0^{\infty} t_b \cdot f(t_b) dt_b = \int_0^{\infty} [1 - F(t_b)] dt_b = \int_0^{\infty} P(t_b) dt_b$$

При статистичній трактуванні:

$$T_b = \frac{1}{N_0} \sum_{j=1}^{N_0} t_{bj} \quad (1.5)$$

де t_{bj} - середній час відновлення j -го об'єкту.

Якщо час відновлення розбити на інтервали, то:

$$t_{bj} = t + \frac{\Delta t_b}{2}$$

де t - час відновлення до i -го інтервалу;

Δt_{bi} - значення інтервалу часу відновлення.

Гамма-процентний час відновлення - час, протягом якого відновлення працездатності об'єкта буде здійснено з ймовірністю, вираженою у відсотках.

При ймовірнісному трактуванні визначається як корінь рівняння:

$$P(t_{b\gamma}) = \frac{\gamma}{100} \quad (1.6)$$

або

$$F(t_{b\gamma}) = 1 - \frac{\gamma}{100}$$

При статистичній трактуванні орієнтовно визначається за графіком $P(t_b)$; шляхом екстраполяції значень часу відновлення на відповідному інтервалі Δt_b [4].

1.9 Обґрунтування обраного напрямку роботи

У зв'язку з широким використанням волочильного обладнання при

виробництві дроту та калібруванні прутків, особливої важливості набувають питання ремонтпридатності їх приводу. Ремонтпридатність приводу волочильного стану є важливим аспектом забезпечення безперервної та ефективної роботи виробничого обладнання. Привід волочильного стану відповідає за передачу руху та контроль швидкості процесу волочіння металу.

Забезпечення ремонтпридатності приводу волочильного стану вимагає системного та цілеспрямованого підходу, який включає регулярне технічне обслуговування, моніторинг, наявність резервних деталей і кваліфікований персонал.

При експлуатації волочильних станів спостерігається випадок виявлення несправностей. Серед типових причин можна виділити наступні: зношування механічних деталей, несправності в електричній системі, вібрації та проблеми з балансуванням приводу, несправності механізмів керування швидкістю, недостатня кількість мастила або його відсутність, проблеми з гальмівною системою, знос ременів та ланцюгових передач.

У зв'язку з вищевикладеним, дослідження роботи електроприводу волочильного стану, вивчення видів та причин відмов приводу, способів підвищення енергонадійності приводу набувають актуального значення. Метою роботи є проведення досліджень ремонтпридатності електромеханічного приводу прямогочного волочильного стану, вивчення особливостей роботи з метою підвищення надійності роботи. Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі: - провести оцінку навантажень, що діють на привод волочильного стану; - розробити заходи з технічного обслуговування та ремонтів приводу, ; - провести розрахунок кількості запчастин із використанням показників надійності, надати рекомендації по збільшенню ремонтпридатності приводу волочильних станів.

2. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ТА СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРЯМОТОЧНОГО ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА

2.1 Розрахунок і вибір потужності електродвигуна прямоточного волоочильного стану

Робочі лінії калібрувальних станів призначені для волочіння прутків круглого, квадратного й шестигранного профілю із чорних і кольорових металів і сплавів.

Стани дозволяють одночасно волочити один, два або три прутки. Конструктивно стани виконують по дволанцюговій схемі з Г-образними стійками робочого стола й бічною видачею калібрувальних прутків у кишені. Технічна характеристика станів наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Технічна характеристика волоочильних станів

Характеристика стану	Значення		
	2KM15-9	2KM30-9	2KM50-9
1. Найбільша сила волочіння(розрахункова), кН	150	300	500
2. Найбільша сила прошовування, кН	270	450	750
3. Швидкість волочіння при розрахунковій силі, м/хв	55	50	30
4. Найбільша швидкість волочіння, м/хв	100	90	70
5. Швидкість повернення візка, м/хв	110	90	70
6. Зміна швидкості волочіння	плавне починаючи з нуля		
7. Кількість одночасно волочимих прутків	1...3...3	1...3...3	1...3...3
8. Діаметр прутків до волочіння, мм	17...42...42	21...52... 52	32...72... 72
9. Діаметр прутків після волочіння, мм	16...40...40	20...50... 50	30...70... 70
10. Найбільша довжина прутків після волочіння, м	9	9	9
11. Довжина заготівки, м	2,5 - 8	2,5 - 8	2,5 - 8
12. Габарити стану довжина, м ширина, м	15,12 4,4	15,47 4,9	16 4,63

висота, м	1,5	1,5	1,71
13. Габарити стана із ПРУ довжина, м	24,5	24,9	27,2
ширина, м	4,5	4,9	5,7
висота, м	2,0	2,0	2,0

Робота стана розрахована на напівавтоматичне керування й ручне. При напівавтоматичному режимі керування операціями забезпечується електроблокування. Ручне керування здійснюється оператором з пульта керування.

На стані передбачається виконання наступних операцій:

- підготовка захватки для волочіння прутків;
- волочіння прутків;
- самоскидання прутків у кишені.

Стан забезпечує волочіння прутків у наступних діапазонах діаметрів (табл.2.2).

Таблиця 2.2 Діапазон діаметрів заготовок

Кількість волочимих прутків	Діапазон діаметрів, мм		
	2KM15-9	2KM30-9	2KM50-9
У три нитки (прутка)	16...22...22	20...30...30	30...40...40
У дві нитки (прутка)	22...30...30	30...40...40	40...60...60
В одну нитку (прутка)	30...40...40	40...50...50	60...70...70

Стан волочильний 2KM30-9 складається з наступних основних вузлів: гідропротштовхувач, стіл, привод головний, візок плашковий, ланцюг тяговий, кишені змінної місткості, гідрокерування, система технологічного змащення, пневмоуправління.

Головний привод волочильного стана призначений для створення зусилля волочіння й передачу його через ланцюги на плашковий візок.

Привод головний складається з електродвигуна 1, редуктора 2, установки ведучих зірочок 3 (рис.2.1). В установку ведучих зірочок на

підшипниках кочення змонтований вал із провідними зірочками. У нижній частині корпусу змонтовані напрямні ланцюги й отсікачі, що виключають підмотування ланцюга на зірочку. До корпусу прикріплений кронштейн, на якому встановлений командоапарат з лічильником метражу.

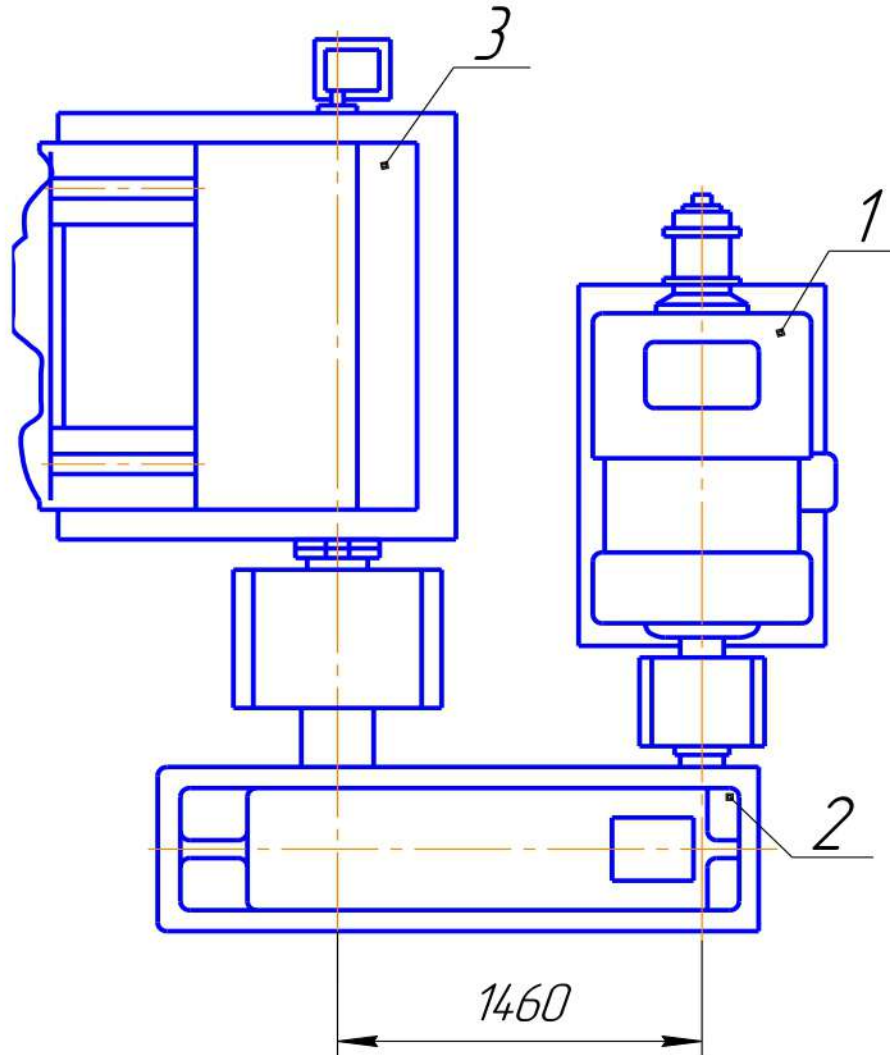


Рисунок 2.1 Головний привод стана волочильного 2KM30-9

При виборі двигуна по потужності варто виходити з необхідності його повного використання в процесі роботи. У випадку завищення номінальної потужності двигуна знижуються техніко-економічні показники електропривода, тобто К.К.Д. і коефіцієнт потужності. Якщо ж навантаження на валу двигуна перевищує номінальну, то це приводить до росту струмів у його обмотках, а значить втрат потужності понад номінальний, що може привести до росту температури обмоток, передчасного виходу двигуна з ладу.

Проведемо розрахунок та вибір електродвигуна приводу волочильного стану прямого типу

Момент статичного опору на тихохідному валу стану (прямий хід)

$$M'_{с.в.} = 0,5 \cdot F_o \cdot D = 0,5 \cdot 350 \cdot 0,26 = 45,5 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.1)$$

де F - сила волочіння з урахуванням сили тертя, Н (350кН),

D - діаметр колеса зірочки (260 мм).

Момент статичного опору на тихохідному валу стану (зворотний хід)

$$M''_{св} = Q \frac{\mu d + 2k}{D'} \beta \cdot 0,5 \cdot D' = 50 \cdot \frac{0,01 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,1}{0,26} 1,3 = 7,1 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.2)$$

де Q – вага волочильного візка, кН (50кН),

$(\mu d + 2k) / D$ - коефіцієнт опору (тяги) руху;

μ - коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках;

d - діаметр цапфи вала (підшипника);

D - зовнішній діаметр ходових коліс;

β - коефіцієнт, що враховує тертя в ребордах.

Момент статичного опору на приводному валу стану (прямий хід)

$$M_{с.в.} = M'_{с.в.}/i = 45,5/19,2 = 2,37 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.3)$$

де i – передавальне число редуктора.

Момент статичного опору на приводному валу стану (зворотний хід)

$$M_{св} = M''_{св}/i = 7,1/19,2 = 0,38 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.4)$$

де i – передавальне число редуктора.

Середній момент статичного навантаження:

$$M_{с.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ci} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{(2,37 \cdot 16,2 + 0,38 \cdot 12,2)}{(16,2 + 12,2)} = 1,84 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.5)$$

З урахуванням динамічного режиму праці привода:

$$M_n = M_{с.ср.} \cdot k_d = 1,84 \cdot 1,3 = 2,4 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Потужність електродвигуна:

$$P = M \cdot \omega / \eta = 2,4 \cdot 100 / 0,85 = 282,4 \text{ кВт},$$

де ω - кутова швидкість двигуна, 1/с; η - ККД привода.

По результаті розрахунку попередньо обираємо електродвигун постійного струму типу П2П-500-145-8В4 з потужністю $N_{дв}=315$ кВт; $n_{дв} = 1000$ про/хв. Момент інерції ротора $I_p=11,87$ кг·м². Кратність максимального моменту $\varphi_{max}=1,9$.

Побудова навантажувальної діаграми та остаточний розрахунок електродвигуна.

Розглянемо приведення махових моментів інерції відповідно до схеми головного привода волочильного стану (мал.4.1).

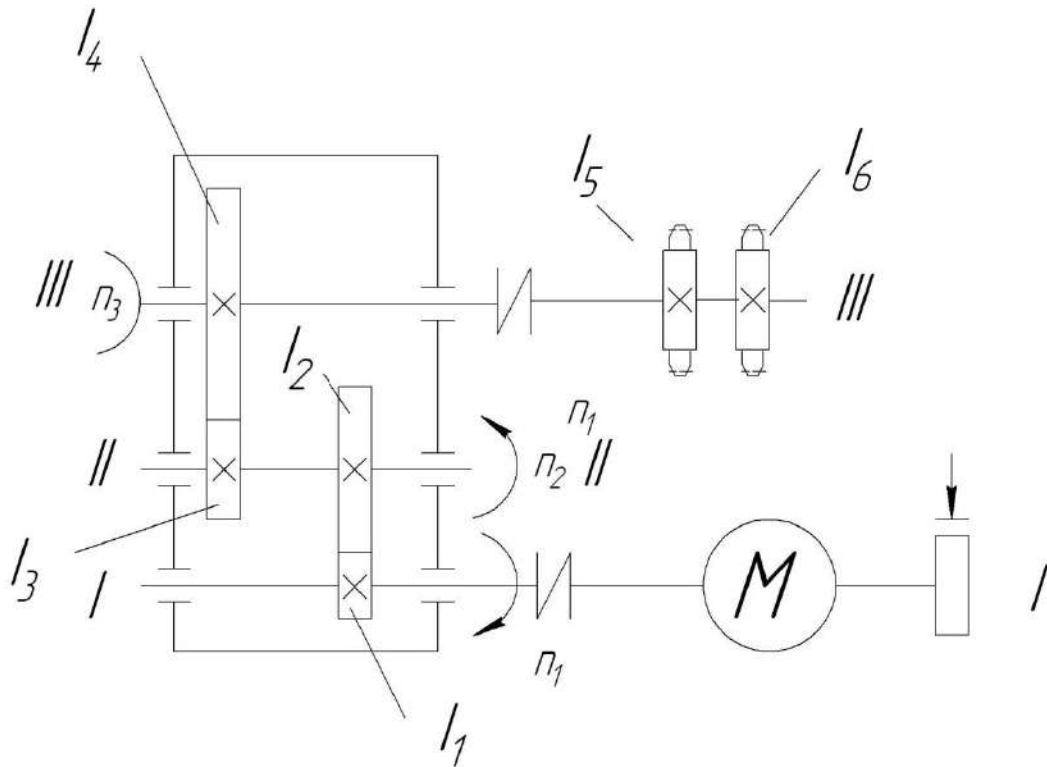


Рисунок 2.2. Схема до приведення махових моментів і моментів інерції

Приводимо до вала електродвигуна I – I всі обертові та поступальні частини. Загальний приведений момент:

$$GD_{np}^2 = GD_{np.s}^2 + GD_{np.n}^2 \quad (2.6)$$

Приведений маховий момент обертових мас:

$$GD_{np.s}^2 = GD_m^2 + GD_{я}^2 + GD_m^2 + 4gI_1 + 4g(I_2 + I_3)/i_1^2 + 4g(I_4 + I_5 + I_6)/(i_1 i_2)^2 + GD_m^2/(i_1 i_2)^2. \quad (2.7)$$

Приведений маховий момент мас, що поступально рухаються:

$$GD_{np.n}^2 = \frac{365 \cdot Q \cdot V^2}{n_1^2 \cdot \eta} \quad (2.8)$$

де Q - вага частин, що поступально рухаються, кН;

V - швидкість волочіння, м/с.

Вихідні дані до приведення махових моментів:

$$GD_G^2 = 4H \cdot m^2, I_p = 11,9H \cdot m^2, GD_M^2 = 6H \cdot m^2, I_1 = 0,1кг \cdot m^2,$$

$$I_2 = 0,15кг \cdot m^2, I_3 = 0,12кг \cdot m^2, I_4 = 0,16кг \cdot m^2, I_5 = I_6 = 0,18кг \cdot m^2.$$

Сила волочіння 300кН, передаточне відношення ступенів редуктора

$$i_1 = 4; i_2 = 4,8.$$

$$GD_{np.в}^2 = 4 + 4 \cdot 9,81 \cdot 11,9 + 6 + 4 \cdot 9,81 \cdot 0,1 + 4 \cdot 9,81(0,15 + 0,12) / 4^2 +$$

$$+ 4 \cdot 9,81(0,16 + 0,18 + 0,18) / (4 \cdot 4,8)^2 + 6 / (4 \cdot 4,8)^2 = 503,8H \cdot m^2$$

$$GD_{np.n}^2 = \frac{365 \cdot 5000 \cdot 0,8^2}{1000^2 \cdot 0,95} = 1,2 H \cdot m^2$$

$$GD_{np}^2 = 203,8 + 1,2 = 205,0 H \cdot m^2$$

Динамічний момент приведений до вала двигуна:

$$M_{\partial} = \frac{GD_{np}^2}{375} \cdot \frac{n_{\partial в}}{t_{P(T)}} = \frac{505,0}{375} \cdot \frac{1000}{1,1} = 1,2 кН \cdot м$$

Момент статичного опору на приводному валу стана розраховано за формулами (2.3) та (2.4).

Таким чином, повний момент на валу двигуна:

$$M_1 = 2,37 + 1,2 = 3,57 кН \cdot м,$$

$$M_2 = 2,37 кН \cdot м,$$

$$M_3 = 2,37 - 1,2 = 1,17 кН \cdot м,$$

$$M_4 = 0,38 + 1,2 = 1,58 кН \cdot м,$$

$$M_5 = 0,38 кН \cdot м,$$

$$M_6 = 0,38 - 1,2 = -0,82 кН \cdot м.$$

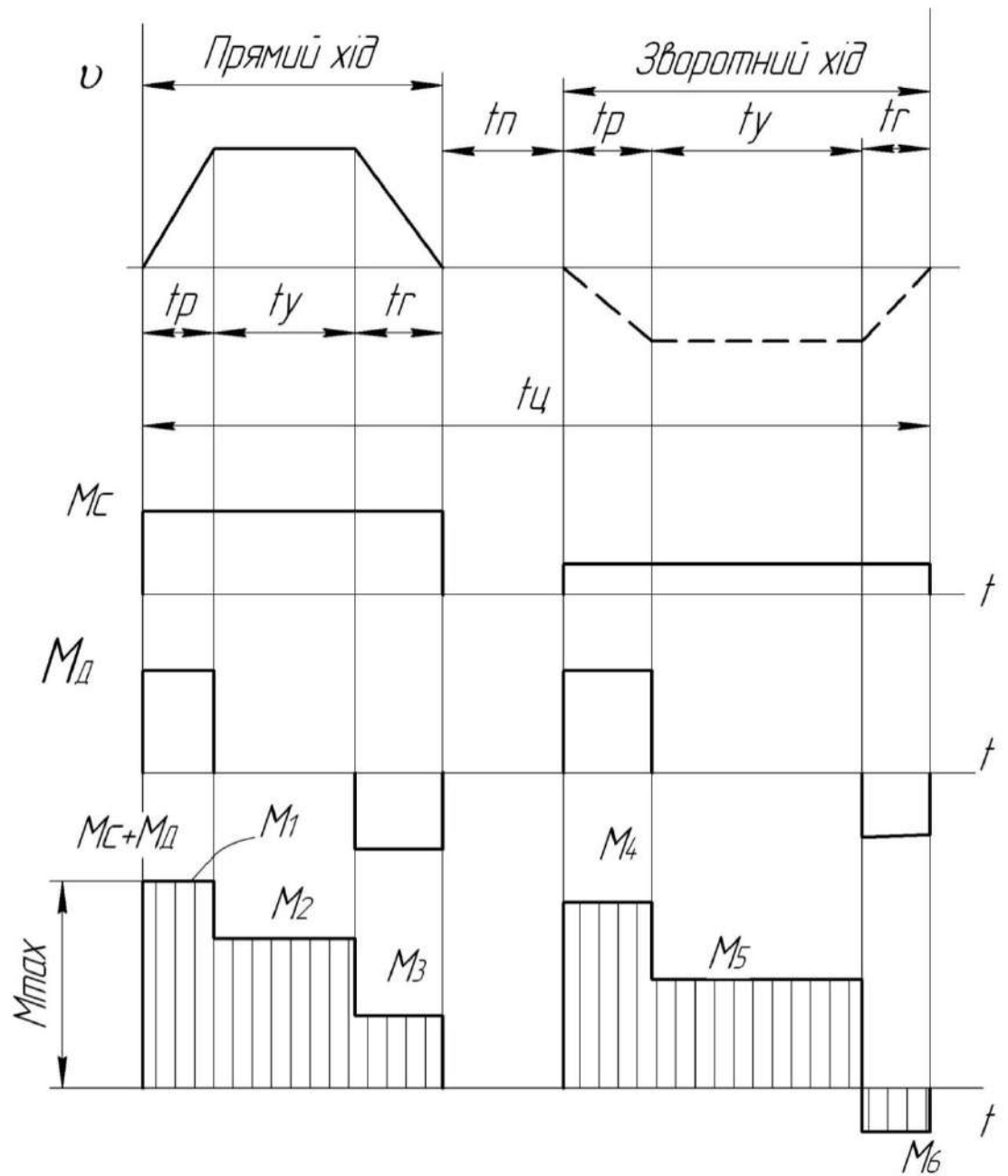


Рисунок 2.3 Графік роботи механізмів робочої лінії волочильного стана та навантажувальна діаграма

Користуючись навантажувальною діаграмою, визначають еквівалентний момент.

Для даного випадку:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{экв}} &= \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_p + M_2^2 \cdot t_y + M_3^2 \cdot t_m + M_4^2 \cdot t_p + M_5^2 \cdot t_y + M_6^2 \cdot t_m}{t_y + K(2t_p + 2t_m + t_{II})}} = \\
 &= \sqrt{\frac{3,57^2 \cdot 1,1 + 2,37^2 \cdot 8 + 1,17^2 \cdot 1,1 + 1,58^2 \cdot 1,1 + 0,38^2 \cdot 4 + 0,82^2 \cdot 1,1}{8 + 4 + 0,7(2 \cdot 1,1 + 2 \cdot 1,1 + 1,0)}} = \\
 &= 2,61 \text{ кН} \cdot \text{м}.
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

де K - коефіцієнт, що враховує погіршення умов охолодження двигуна, приймають $K = 0,65 \dots 0,75$.

Визначення потужності електродвигуна ведемо з обліком ККД передач від двигуна до головного вала стана (вузол провідної зірочки):

$$P_{\text{расч}} = \frac{M \cdot n}{9,55 \eta} = \frac{2,61 \cdot 1000}{9,55 \cdot 0,9} = 303,7 \text{ кВт}$$

де η - ККД передачі (редуктора) від двигуна до головного вала;

P_p – необхідна потужність на валу зірочки, кВт.

По результаті розрахунку необхідної розрахункової потужності остаточно залишаємо вибраний електродвигун постійного струму типу П2П-500-145-8В4 з потужністю $N_{\text{дв}}=315$ кВт; $n_{\text{дв}} = 1000$ про/хв. Момент інерції ротора $I_p=11,87$ кг·м². Кратність максимального моменту $\phi_{\text{max}} = 1,9$.

Перевірка двигуна на перевантаження:

$$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{3570}{3008,25} = 1,2 < [\lambda] = 1,9$$

де $T_{\text{ном}}$ – номінальний момент двигуна

$$M_{\text{ном}}=9550 \cdot P_{\text{дв}}/n_{\text{дв}}=9550 \cdot 315/1000=3008,25 \text{ Н} \cdot \text{м} \tag{2.10}$$

Максимальний момент на валу двигуна складе

$$M_{\text{max}} = 3570 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перевірка двигуна по нагріванню проводиться по методу еквівалентного моменту.

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\sum_1^n M_i^2 \cdot \frac{t_i}{\sum_1^n t_i}} \leq M_{\text{H}};$$

Згідно формули (2.9, 4.10) $M_3 = 2610 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{НОМ}} = 3008,25 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Таким чином, $M_3 \leq M_H$ умова виконується.

Таким чином, двигун задовольняє умовам по перевантажувальній здатності й відповідає умові повного використання по нагріванню, а також необхідної потужності на валу привода.

Технічна характеристика двигуна наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 2.3 Технічна характеристика електродвигуна

№ п/п	Найменування параметра	Значення
1	Тип двигуна	П2П-500-145-8В4
2	Потужність двигуна, кВт	315
3	Частота обертання, хв^{-1}	1000
4	Момент інерції ротора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	11,87
5	Кратність максимального моменту	1,9
6	Число пар полюсів	8
7	Номінальна напруга, В	220

В результаті розрахунку отримані дані про навантаження що діють на елементи привода волочильного стану.

2.2 Розрахунок силового редуктора привода волочильного стану

Визначаємо загальний коефіцієнт корисної дії привода за формулою:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3^3, \quad (2.11)$$

де η_1 - ккд редуктора, $\eta_1 = 0,98$, [5];

η_2 - ккд відкритої прямозубої передачі, $\eta_2 = 0,95$, [5];

η_3^3 - ккд підшипникових вузлів, $\eta_3 = 0,99$, [5], с. 5.

$$\eta_{\text{заг}} = 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,99^3 = 0,9.$$

Визначаємо частоту обертів кожного вала привода:

$$n_1 = n_{дв} = 1000 \text{ об/хв},$$

$$n_2 = \frac{n_1}{U_1}, \quad n_2 = \frac{1000}{4} = 250 \text{ об/хв},$$

$$n_3 = \frac{n_2}{U_2}, \quad n_3 = \frac{250}{2,5} = 100 \text{ об/хв}.$$

Визначаємо кутову швидкість на кожному валу привода:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30}, \quad \omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ рад/с}, \quad (2.12)$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30}, \quad \omega_2 = \frac{3,14 \cdot 250}{30} = 26,17 \text{ рад/с}, \quad (2.13)$$

$$\omega_3 = \frac{\pi \cdot n_3}{30}, \quad \omega_3 = \frac{3,14 \cdot 100}{30} = 10,5 \text{ рад/с}. \quad (2.14)$$

Визначаємо обертаючі моменти на кожному валу привода:

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1}, \quad T_1 = \frac{11 \cdot 1000}{104,7} = 105 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.15)$$

$$T_2 = T_1 \cdot U_1 \cdot \eta_1, \quad T_2 = 105 \cdot 4 \cdot 0,98 = 412 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.16)$$

$$T_3 = T_1 \cdot U_{зар} \eta_{заг}, \quad T_3 = 105 \cdot 10 \cdot 0,9 = 945 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.17)$$

Вибір матеріалів зубчастих коліс

Обираємо матеріали з наступними механічними характеристиками:

- для шестірні Сталь 45, термічна обробка – покращання, твердість НВ 230 ;

- для колеса, Сталь 45, термічна обробка – покращання, але твердість на 30 одиниць нижче НВ 200.

Визначаємо допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb} \cdot K_{HL}}{[S_H]}, \quad (2.18)$$

де σ_{Hlimb} - межа контактної витривалості при базовому числі циклів;

K_{HL} – коефіцієнт довговічності при числі циклів напруги більше базового, що має місце при довготривалій експлуатації редуктора, приймають, $K_{HL} = 1$;

$[S_H]$ - коефіцієнт безпеки, $[S_H] = 1,10$.

Для вуглецевих сталей з твердістю поверхонь зубців менше HB 350 і термічною обробкою покращанням:

$$\sigma_{H \lim b} = 2HB + 70 \quad (2.19)$$

Для шевронних колес розрахункова допустима контактна напруга

$$[\sigma_H] = 0,45([\sigma_{H_1}] + [\sigma_{H_2}]); \quad (2.20)$$

для шестірни:

$$[\sigma_{H_1}] = \frac{(2HB_1 + 70)K_{HL}}{[S_H]}, \quad (2.21)$$

$$[\sigma_{H_1}] = \frac{(2 \cdot 230 + 70) \cdot 1}{1,1} \approx 482 \text{ МПа};$$

для колеса:

$$[\sigma_{H_2}] = \frac{(2HB_2 + 70)K_{HL}}{[S_H]}, \quad (2.22)$$

$$[\sigma_{H_2}] = \frac{(2 \cdot 200 + 70) \cdot 1}{1,1} \approx 428 \text{ МПа}.$$

Тоді розрахункові допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_H] = 0,45(482 + 428) \approx 410 \text{ МПа}$$

Так як $[\sigma_H] \leq 1,23[\sigma_{H_2}]$ потрібну умову виконано.

Розрахунок зубчатої передачі

Визначаємо міжосьову відстань з умови контактної витривалості активних поверхонь зубців:

$$a_w = K_a \cdot (U + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_3 \cdot K_{HB}}{[\sigma_H]^2 \cdot U^2 \cdot \psi_{Ba}}}, \quad (2.23)$$

де K_{HB} - коефіцієнт, враховуючий нерівномірність розподілення навантаження по ширині вінця, $K_{HB} = 1,25$, [1];

ψ_{sa} - коефіцієнт ширини вінця по міжосьовій відстані, $\psi_{sa} = 0,8$

$$a_w = 43 \cdot (4+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{412 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{410^2 \cdot 4^2 \cdot 0,8}} = 133 \text{ мм}$$

Вибираємо найближче значення міжосьової відстані зі стандартного ряду $a_w = 160$ мм, [1]

Визначаємо нормальний модуль зачеплення:

$$m_H = (0,01 \div 0,02) \cdot a_w, \quad (2.24)$$

$$m_H = 0,01 \cdot 160 \div 0,02 \cdot 160 = 1,6 \div 3,2.$$

Приймаємо стандартне значення модуля $m_H = 2,5$, [1],

Попередньо приймаємо кут нахилу зубців $\beta = 30^\circ$

Визначаємо число зубців шестірні і колеса:

$$Z_1 = \frac{2a_w \cdot \cos \beta}{(U+1) \cdot m_H}, \quad (2.25)$$

$$Z_1 = \frac{2 \cdot 160 \cdot 0,866}{(4+1) \cdot 2,5} = 22,2.$$

Приймаємо $Z_1 = 22$, тоді:

$$Z_2 = Z_1 \cdot U, \quad Z_2 = 22 \cdot 4 = 88. \quad (2.26)$$

Приймаємо $Z_2 = 88$.

Уточняємо значення кута нахилу зубців:

$$\cos \beta = \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot m_H}{2a_w}, \quad \cos \beta = \frac{(88 + 22) \cdot 2,5}{2 \cdot 160} = 0,859. \quad (2.27)$$

Кут нахилу зубців $\beta = 30^\circ 12'$.

Основні розміри шестерні і колеса

діаметри поділювані:

$$d_1 = \frac{m_H}{\cos \beta} \cdot Z_1, \quad d_1 = \frac{2,5}{0,859} \cdot 22 = 64 \text{ мм}, \quad (2.28)$$

$$d_2 = \frac{m_H}{\cos \beta} \cdot Z_2, \quad d_2 = \frac{2,5}{0,859} \cdot 88 = 256 \text{ мм}, \quad (2.29)$$

перевірка:

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad a_w = \frac{256 + 64}{2} = 160 \text{ мм}, \quad (2.30)$$

діаметри вершин зубців:

$$d_{a_1} = d_1 + 2 \cdot m_H, \quad d_{a_1} = 64 + 2 \cdot 2,5 = 69 \text{ мм},$$

$$d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot m_H, \quad d_{a_2} = 256 + 2 \cdot 2,5 = 261 \text{ мм},$$

ширина колеса:

$$B_2 = \psi_{sa} \cdot a_w = (0,5 \div 1) \cdot a_w, \quad (2.31)$$

$$B_2 = 0,5 \cdot 160 \div 1 \cdot 160 = 80 \div 160 \text{ мм}, \text{ приймаємо } \epsilon_2 = 80$$

ширина шестерні:

$$B_1 = \epsilon_2 + 5, \quad B_1 = 80 + 5 = 85 \text{ мм}.$$

Визначаємо коефіцієнт ширини шестерні по діаметру:

$$\psi_{sd} = \frac{B_1}{d_1}, \quad \psi_{sd} = \frac{85}{64} = 1,328. \quad (2.32)$$

Окружна швидкість колес:

$$V = \frac{\omega_1 \cdot d_1}{2 \cdot 10^3}, \quad V = \frac{104,7 \cdot 64}{2 \cdot 10^3} = 3,35 \text{ м/с}. \quad (2.33)$$

При такій швидкості для шевронних коліс треба прийняти 8 ступінь точності, [1].

Розраховуємо коефіцієнт навантаження:

$$K_H = K_{H\beta} \cdot K_{Ha} \cdot K_{HV}, \quad (2.34)$$

Приймаємо коефіцієнти $K_{H\beta} = 1,07$, $K_{Ha} = 1,09$ [1],

$$K_{HV} = 1, [1], \quad K_H = 1,07 \cdot 1,09 \cdot 1 = 1,166.$$

Перевіряємо контактну напругу за формулою:

$$\sigma_H = \frac{270}{a_w} \cdot \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_H \cdot (U+1)^3}{B_2 \cdot U^2}}, \quad (2.35)$$

$$\sigma_H = \frac{270}{160} \cdot \sqrt{\frac{412 \cdot 1,166 \cdot (4+1)^3 \cdot 10^3}{80 \cdot 4^2}} = 366 \text{ МПа.}$$

Так як $\sigma_H < [\sigma_H]$, умови міцності виконано.

Сили, які діють в зачепленні:

окружна:

$$F_t = \frac{2T_2}{d_1}, \quad F_t = \frac{2 \cdot 412 \cdot 10^3}{64} = 12875 \text{ Н}, \quad (2.36)$$

радіальна:

$$F_r = F_t \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}, \quad F_r = 12875 \frac{\operatorname{tg} 20}{\cos 30^\circ 12'} = 5456 \text{ Н}.$$

Перевіряємо зубці на витривалість за напругою:

$$\sigma_F = \frac{F_t K_F Y_F Y_B K_{Fa}}{b \cdot T_H} \leq [\sigma_F], \quad (2.37)$$

де K_F - коефіцієнт навантаження;

Y_F - коефіцієнт, що враховує форми зубців і залежить від еквівалентного числа зубців.

Визначаємо коефіцієнт навантаження:

$$K_F = K_{F\beta} \cdot K_{FV}.$$

Приймаємо $K_{F\beta} = 1,15$, [1], $K_{FV} = 1,4$, [1].

$$K_F = 1,15 \cdot 1,4 = 1,61.$$

Визначаємо еквівалентне число зубців:

у шестерні:

$$Z_{v_1} = \frac{Z_1}{\cos^2 \beta}, \quad Z_{v_1} = \frac{22}{0,859^2} \approx 35, \quad (2.38)$$

у колеса:

$$Z_{v_2} = \frac{Z_2}{\cos^3 \beta}, \quad Z_{v_2} = \frac{88}{0,859^3} \approx 138. \quad (2.39)$$

Вираховуємо допустиму напругу при розрахунку на витривалість шестірні й колеса:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F\text{limb}}^0}{[S_F]} \quad (2.40)$$

Для сталі 45 покращеної до $HB \leq 350$:

$$\sigma_{F\text{limb}}^0 = 1,8HB, [1]. \quad (2.41)$$

для шестірні:

$$\sigma_{F\text{limb}}^0 = 1,8 \cdot 230 = 415 \text{ МПа},$$

для колеса:

$$\sigma_{F\text{limb}}^0 = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ МПа}.$$

Визначаємо коефіцієнт безпеки:

$$[S_F] = [S_F] \cdot [S_F] \quad (2.42)$$

Приймаємо $[S_F] = 1,75$, $[S_F] = 1$ [1],

$$[S_F] = 1,75 \cdot 1 = 1,75$$

Допустима напруга при розрахунку на витривалість шестірні й колеса:

$$[\sigma_{F_1}] = \frac{415}{1,75} = 237 \text{ МПа},$$

$$[\sigma_{F_2}] = \frac{360}{1,75} = 206 \text{ МПа}.$$

Знаходимо відношення $\frac{[\sigma_F]}{Y_{F_1}}$.

Приймаємо $Y_{F_1} = 3,75$, $Y_{F_2} = 3,60$, [1]

для шестірні:

$$\frac{[\sigma_F]}{Y_{F_1}} = \frac{237}{3,75} = 63,2 \text{ МПа},$$

для колеса:

$$\frac{[\sigma_F]}{Y_{F_2}} = \frac{206}{3,60} = 57 \text{ МПа}.$$

Подальший розрахунок ведемо для зубців колеса, так як для нього знайдено менше значення.

Визначаємо коефіцієнт Y_β , який враховує розподіл навантаження між зубцями:

$$Y_\beta = 1 - \frac{\beta}{140}, \quad (2.43)$$

$$Y_\beta = 1 - \frac{30,8}{140} = 0,78.$$

Розраховуємо коефіцієнт $K_{F\alpha}$ для 8 ступені точності, який враховує розподіл навантаження між зубцями:

$$K_{F\alpha} = \frac{4 + (\varepsilon_\alpha + 1) \cdot (n - 5)}{4\varepsilon_\alpha}, \quad (2.44)$$

де ε_α - коефіцієнт торцевого перекриття, $\varepsilon_\alpha = 1,5$, [1];

n - ступінь точності коліс, $n = 8$

$$K_{F\alpha} = \frac{4 + (1,5 + 1) \cdot (8 - 5)}{4 \cdot 1,5} = 0,92.$$

Перевіряємо міцність зубців колеса за формулою:

$$\sigma_{F_1} = \frac{1250 \cdot 1,5 \cdot 3,10 \cdot 0,90 \cdot 0,92}{80 \cdot 2,5} = 134 \text{ МПа}$$

Так як $\sigma_{F_1} \leq [\sigma_{F_1}]$, умови міцності виконано.

Проектний розрахунок валів редуктора

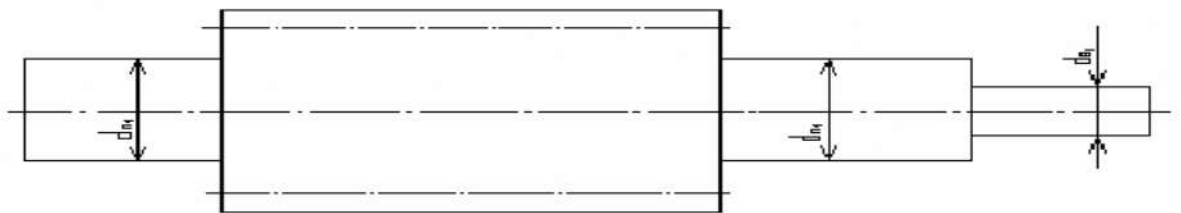


Рисунок 2.4 Вхідний вал

Визначаємо діаметр вихідного кінця вхідного вала:

$$d_{B_1} = \sqrt[3]{\frac{16T_1}{\pi(\tau_k)}}, \quad d_{B_1} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 105 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 25}} = 28 \text{ мм}. \quad (2.45)$$

Так як даний вал збирається з валом електродвигуна за допомогою муфти, то приймаємо

$$d_{B_1} = (0,8 \div 1) \cdot d_{ос} ,$$

$$d_{B_1} = 0,8 \cdot 42 \div 1 \cdot 42 = 33,6 \div 42 \text{ мм} , \text{ приймаємо } d_{B_1} = 40 \text{ мм} .$$

Визначаємо діаметр ступеня вала під підшипник:

$$d_{п_1} = d_{B_1} + 5, \quad d_{п_1} = 40 + 5 = 45 \text{ мм} .$$

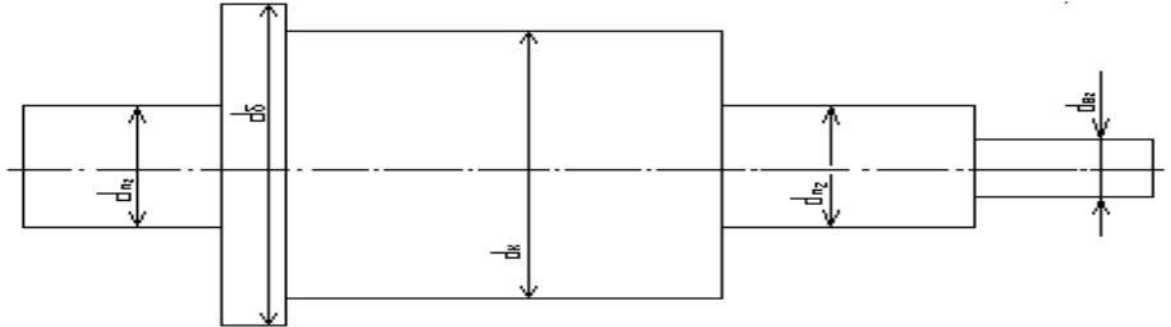


Рисунок 2.5 Вихідний вал

Визначаємо діаметр вихідного кінця вала:

$$d_{в_2} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_2 \cdot 10^3}{20 \cdot \pi}} , \quad d_{в_2} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 412 \cdot 10^3}{20 \cdot 3,14}} = 47,2 \text{ мм} .$$

Приймаємо стандартне значення із ряду:

$$d_{в_2} = 48 \text{ мм} , [1] .$$

Визначаємо діаметр ступеня під підшипник:

$$d_{п_2} = d_{в_2} + 5, \quad d_{п_2} = 48 + 5 = 53 \text{ мм} , \text{ приймаємо стандартне значення}$$

$$d_{п_2} = 55 \text{ мм}$$

Визначаємо діаметр вала під колесо:

$$d_{к} = d_{п_2} + 5, \quad d_{к} = 55 + 5 = 60 \text{ мм} .$$

Визначаємо діаметр буртика для упора колеса:

$$d_{\circ} = d_{к} + 5, \quad d_{\circ} = 60 + 5 = 65 \text{ мм} . \quad (2.46)$$

Шестірню виконуємо за одне ціле з валом, її розміри визначенні вище.

Конструювання зубчатих коліс

Колесо коване $d_2 = 304 \text{ мм}$; $d_{а_2} = 310 \text{ мм}$; $b_2 = 80 \text{ мм}$.

Діаметр маточини:

$$d_{ст} = 1,6 \cdot d_k, \quad d_{ст} = 1,6 \cdot 60 = 96 \text{ мм.}$$

Довжина маточини:

$$L_{ст} = (1,2 \div 1,5) \cdot d_k, \quad L_{ст} = 1,2 \cdot 60 \div 1,5 \cdot 60 = 72 \div 90 \text{ мм.}$$

Приймаємо довжину маточини, що дорівнює $L_{ст} = b_2 = 80 \text{ мм.}$

Товщина обода:

$$\delta_0 = (2,5 \div 4) m_k, \quad \delta_0 = 2,5 \cdot 2,5 \div 4 \cdot 2,5 = 6,25 \div 10 \text{ мм.}$$

Приймаємо $\delta_0 = 10 \text{ мм.}$

Товщина диска:

$$c = (0,2 \div 0,3) \cdot b_2, \quad c = 0,2 \cdot 80 \div 0,3 \cdot 80 = 16 \div 24 \text{ мм,}$$

приймаємо $c = 16 \text{ мм.}$

Визначаємо діаметр знаходження центрів отворів:

$$D_{отв} = 0,5(D_0 + d_{ст}), \quad D_{отв} = 0,5(230 + 96) = 163 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр отворів:

$$d_{отв} = \frac{D_0 - d_{ст}}{4}, \quad d_{отв} = \frac{230 - 96}{4} = 34 \text{ мм.}$$

Конструктивні розміри корпусу редуктора

Товщина стінок корпусу й кришки:

$$\delta = 0,025 \cdot a + 1, \quad \delta = 0,025 \cdot 160 + 1 = 5 \text{ мм.}$$

Приймаємо $\delta = 8 \text{ мм.}$

Товщина фланців поясів корпусу й кришки:

верхнього пояса корпусу і пояса кришки:

$$v = 1,5 \cdot \delta, \quad v = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ мм,}$$

$$v_1 = 1,5 \cdot \delta_1, \quad v_1 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ мм,}$$

нижнього пояса корпусу:

$$p = 2,35 \cdot \delta, \quad p = 2,35 \cdot 8 = 19 \text{ мм.}$$

Приймаємо $p = 20 \text{ мм.}$

Діаметр болтів:

фундаментних:

$$d_1 = (0,03 \div 0,036) \cdot a + 12, \quad d_1 = (0,03 \div 0,036) \cdot 160 + 12 = 16,8 \div 17,76 \text{ мм}.$$

Приймаємо болти з різьбою М18;

ті, що кріплять кришку до корпусу у підшипників:

$$d_2 = (0,7 \div 0,75) \cdot d_1, \quad d_2 = (0,7 \div 0,75) \cdot 18 = 12,6 \div 13,5 \text{ мм}.$$

Приймаємо болти з різьбою М14;

ті, що з'єднують кришку з корпусом:

$$d_3 = (0,5 \div 0,6) \cdot d_1, \quad d_3 = (0,5 \div 0,6) \cdot 18 = 9 \div 10,8 \text{ мм}.$$

Приймаємо болти з різьбою М12.

Компонування редуктора

Спочатку вибираємо підшипники для ведучого й відомого вала.

Для ведучого вала вибираємо радіальні з короткими циліндричними роликками – тип 32209А, $d_m = 45$ мм; $D = 85$ мм; $B = 19$ мм; $r = 2$ мм; $r_1 = 2$ мм.

Для веденого вала вибираємо радіальні з короткими циліндричними роликками – тип 32211А, $d_{n_2} = 55$ мм; $D = 100$ мм; $B = 21$ мм; $r = 2,5$ мм; $r_1 = 2$ мм.

При окружній швидкості змазування може здійснюватися масляним туманом. В цьому випадку відступивши від лінії внутрішньої стінки корпусу зображуємо внутрішній діаметр підшипника.

У випадку установки утримуючих кілець вибираємо розмір, що дорівнює 8 мм.

Послідовно виконуємо ескізне компонування:

- спрощено викреслюємо вали редуктора;
- спрощено викреслюємо зубчасте зачеплення;
- відкреслюємо внутрішній корпус, відстань між буртиком і корпусом, колесами і внутрішніми поверхнями корпусу приймаємо 10-15 мм; ;
- вимірюванням знаходимо відстань $l_1; l_2$ від точок прикладення опорних реакцій підшипників;

- визначаємо відстань від точок прикладення консольних навантажень до найближчих опор:

$$\ell_{K_1} = 0,7 \cdot d_{B_1} + (50 \div 60), \quad \ell_{K_1} = 0,7 \cdot 40 + (50 \div 60) = 78 \div 88 \text{ мм},$$

приймаємо $\ell_{K_1} = 80 \text{ мм}$,

$$\ell_{K_2} = 0,7 \cdot d_{B_2} + (50 \div 60), \quad \ell_{K_2} = 0,7 \cdot 55 + (50 \div 60) = 83,6 \div 93,6 \text{ мм},$$

приймаємо $\ell_{K_1} = 84 \text{ мм}$;

- визначаємо довжину вихідного кінця вала:

$$\ell_{B_1} \approx 2d_{n_1}, \quad \ell_{B_1} \approx 2 \cdot 45 \approx 90 \text{ мм},$$

$$\ell_{B_2} \approx 2d_{n_2}, \quad \ell_{B_2} \approx 2 \cdot 55 \approx 110 \text{ мм}.$$

Підбір підшипників і перевірка їх за динамічною вантажопідйомністю

Визначаємо консольні навантаження

$$F_{t_k} = \frac{2T_2}{d}, \quad F_{t_k} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 412}{100} = 8240 \text{ Н},$$

$$F_{r_k} = F_{t_k} \cdot \operatorname{tg} 20^\circ, \quad F_{r_k} = 8240 \cdot 0,364 = 2999 \text{ Н}.$$

Розраховуємо ведучий вал.

Визначаємо реакції опор:

$$1) \Sigma M_{uy_1} = 0$$

$$R_{x_1} = R_{x_2} = \frac{F_t}{2}, \quad R_{x_1} = R_{x_2} = \frac{12875}{2} = 6438 \text{ Н}. \quad (2.47)$$

$$2) \Sigma M_{ux_1} = 0$$

$$R_{y_1} = R_{y_2} = \frac{F_r}{2}, \quad R_{y_1} = R_{y_2} = \frac{5456}{2} = 2728 \text{ Н}, \quad (2.48)$$

3) Перевірка:

$$\Sigma M_{uy_1} = 0$$

$$-F_{t_1} \cdot \ell_1 + R_{x_2} \cdot 2\ell_1 = 0 \quad (2.49)$$

$$-12875 \cdot 80 + 6438 \cdot 160 = 0$$

$$0 = 0$$

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$F_{e_1} = F_{e_2} = \sqrt{R_{x_1}^2 + R_{y_1}^2}, \quad (2.50)$$

$$F_{e_1} = F_{e_2} = \sqrt{6438^2 + 2728^2} = 6992 \text{ Н}$$

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$F_e = F_{r_3} \cdot V \cdot K_6 \cdot K_m \quad (2.51)$$

$$F_e = 6992 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 = 8740 \text{ Н}.$$

Потім знаходимо розрахункову довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = \left(\frac{C}{F_e} \right)^3, \quad (2.52)$$

$$L = \left(\frac{60500}{8740} \right)^3 = 332 \text{ млн.об.}$$

Потім визначаємо розрахункову довговічність в годинах:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n}, \quad L_h = \frac{332 \cdot 10^6}{60 \cdot 1000} = 5,53 \cdot 10^3 \text{ год.} \quad (2.53)$$

Так як умова довговічності підшипників не виконано, замінюємо підшипники легкої вузької серії на підшипники середньої серії та розраховуємо їх на довговічність

$$L = \left(\frac{99000}{8740} \right)^3 = 1453 \text{ млн.об.}$$

$$L_h = \frac{1453 \cdot 10^6}{60 \cdot 1000} = 24 \cdot 10^3 \text{ год.}$$

Розраховуємо ведений вал.

Визначаємо реакції опор:

$$1) \sum M_{ix_3} = 0$$

$$-R_{y_4} \cdot 2l - F_{r_2} \cdot l_2 + F_{r_k} \cdot (2l_2 + l_{k_2}) = 0,$$

$$R_{y_4} = \frac{F_r \cdot l_2 - F_{r_k} \cdot (2l_2 + l_{k_2})}{2l_2}, \quad (2.54)$$

$$R_{y_4} = \frac{5456 \cdot 80 - 2999 \cdot (84 + 160)}{160} = -1846 \text{ Н}.$$

$$2) \Sigma M_{ux_4} = 0$$

$$-R_{y_3} \cdot 2l_2 + F_{r_2} \cdot l_2 + F_{r_k} \cdot l_{k_2} = 0,$$

$$R_{y_3} = \frac{F_{r_2} \cdot l_2 + F_{r_k} \cdot l_{k_2}}{2l_2}, \quad (2.55)$$

$$R_{y_3} = \frac{5456 \cdot 80 + 2999 \cdot 84}{160} = 4303 \text{ H}.$$

$$3) \Sigma M_{uy_3} = 0$$

$$-F_{t_k} \cdot (2l_2 + l_{k_2}) + F_{t_2} \cdot l_2 - R_{x_4} \cdot 2l_2 = 0,$$

$$R_{x_4} = \frac{F_{t_2} \cdot l_2 + F_{t_k} \cdot (2l_2 + l_{k_2})}{2l_2}, \quad (2.56)$$

$$R_{x_4} = \frac{12875 \cdot 80 - 8240 \cdot (160 + 84)}{160} = -61,29 \text{ H}.$$

$$4) \Sigma M_{uy_4} = 0$$

$$F_{t_k} \cdot l_{k_2} - R_{x_3} \cdot 2l_2 - F_t \cdot l_2 = 0,$$

$$R_{x_3} = \frac{F_{t_k} \cdot l_{k_2} + F_t \cdot l_2}{2l_2}, \quad (2.57)$$

$$R_{x_3} = \frac{12875 \cdot 80 + 8240 \cdot 84}{160} = 10764 \text{ H}.$$

5) Перевірка:

$$F_{r_k} - R_{y_3} - F_{r_2} + R_{y_4} = 0, \quad (2.58)$$

$$4303 - 5456 + (-1846) + 2999 = 0,$$

$$0 = 0,$$

6) Перевірка

$$-F_{r_k} + R_{x_3} - F_{t_2} + R_{x_4} = 0, \quad (2.59)$$

$$10764 - 12875 + (-6129) + 8240 = 0,$$

$$0 = 0.$$

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$F_{e_3} = \sqrt{R_{x_3}^2 + R_{y_3}^2}, \quad (2.60)$$

$$F_{e_3} = \sqrt{10764^2 + 4303^2} = 11592 \text{ Н},$$

$$F_{e_4} = \sqrt{R_{x_4}^2 + R_{y_4}^2}, \quad (2.61)$$

$$F_{e_4} = \sqrt{(-6129)^2 + (-1846)^2} = 6401 \text{ Н}.$$

Подальший розрахунок робимо на більш навантаженій опорі.

Визначаємо еквівалентне навантаження:

$$F_e = F_{n_3} \cdot V \cdot K_6 \cdot K_m,$$

$$F_e = 11592 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,25 = 14490.$$

Потім знаходимо розрахункову довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = \left(\frac{C}{F_e} \right)^3,$$

$$L = \left(\frac{84,2 \cdot 10^3}{14490} \right)^3 = 196 \text{ млн. об.}$$

Потім визначаємо розрахункову довговічність в годинах:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n}, \quad L_h = \frac{196 \cdot 10^6}{60 \cdot 250} = 13 \cdot 10^3 \text{ год.}$$

Так як розрахункова довговічність в годинах більша $10 \cdot 10^3$ і менше $72 \cdot 10^3$, умову довговічності виконано.

Перевірка міцності шпоночних з'єднань

Перевіряємо шпонку під муфтою, колесом і відкритої ремінної передачі. Шпонку вибираємо в залежності від діаметра установочного вала.

Вибираємо розміри v , h , ℓ , за стандартом, враховуючи моменти T на даному валу.

Розраховуємо шпонку за напрямом зминання. Сталь 45:

$$\sigma = \frac{2T \cdot 10^3}{d_b (h - t_1) \cdot (\ell - e)} \leq [\sigma] = 100 \div 120 \text{ МПа}, \quad (2.62)$$

під відкритою передачею:

$$d_{e_2} = 48 \text{ мм}; \epsilon = 14 \text{ мм}; h = 9 \text{ мм}; \ell = 100 \text{ мм}; t_1 = 5,5 \text{ мм}; t_2 = 3,8 \text{ мм},$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T \cdot 10^3}{d_{\text{в}}(h - t_1) \cdot (\ell - \epsilon)},$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2000 \cdot 412}{48 \cdot 3,5 \cdot 86} = 57,03 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{см}} = 57,03 \leq [\sigma]_{\text{см}} = 100 \text{ МПа};$$

під муфтою:

$$d_{e_2} = 40 \text{ мм}; \epsilon = 12 \text{ мм}; h = 8 \text{ мм}; \ell = 80 \text{ мм}; t_1 = 5 \text{ мм}; t_2 = 3,3 \text{ мм},$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T \cdot 10^3}{d_{\text{в}}(h - t_1) \cdot (\ell - \epsilon)},$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2000 \cdot 105}{40 \cdot 3 \cdot 68} = 25,74 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{см}} = 25,74 \leq [\sigma]_{\text{см}} = 100 \text{ МПа};$$

під колесом:

$$d_{\text{к}} = 60 \text{ мм}; \epsilon = 18 \text{ мм}; h = 11 \text{ мм}; \ell = 70 \text{ мм}; t_1 = 7 \text{ мм}; t_2 = 4,4 \text{ мм},$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T \cdot 10^3}{d_{\text{в}}(h - t_1) \cdot (\ell - \epsilon)},$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2000 \cdot 412}{60 \cdot 4 \cdot 52} = 66,03 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{см}} = 66,03 \leq [\sigma]_{\text{см}} = 100 \text{ МПа}.$$

Умови міцності виконано.

Уточнений розрахунок валів

Перевіряємо на міцність січення вала А-А. Діаметр вала в цьому перерізі $d_{\text{в}_2} = 48 \text{ мм}$. Концентрація напруг обумовлена наявністю шпоночної канавки.

Приймаємо коефіцієнти концентрації напруг: $k_{\delta} = 1,59; k_{\tau} = 1,49$, [1].

Визначаємо масштабні фактори $\epsilon_{\delta} = 0,8; \epsilon_{\tau} = 0,71$, [1].

Згинаючий момент у січенні (при $x = 60$):

$$M_{\text{А-А}} = F_{\text{ТК}} \cdot X_1, \tag{2.63}$$

$$M_{A-A} = 8240 \cdot 60 \approx 494400 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Момент протистояння січення при $\delta = 14 \text{ мм}$, $t_1 = 5,5 \text{ мм}$:

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{\delta \cdot t_1 (d - t_1)^2}{2d}, \quad (2.64)$$

$$W_{\text{нетто}} = \frac{3,14 \cdot 48^3}{32} - \frac{14 \cdot 5,5 \cdot (48 - 5,5)^2}{96} = 9403 \text{ мм}^3.$$

Амплітуда нормальних напруг згинання:

$$\delta_v = \frac{M_{A-A}}{W_{\text{нетто}}}, \quad (2.65)$$

$$\delta_v = \frac{494400}{9403} \approx 53,6 \text{ МПа}.$$

Момент протистояння крученій січеній нетто:

$$W_{k\text{нетто}} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{\delta \cdot t_1 (d - t_1)^2}{2d}, \quad (2.66)$$

$$W_{k\text{нетто}} = \frac{3,14 \cdot 48^3}{16} - \frac{14 \cdot 5,5 (48 - 5,5)^2}{96} = 20255 \text{ мм}^3.$$

Амплітуда та середня напруга цикла дотичних напружень:

$$\tau_m = \frac{0,5T}{W_K}, \quad (2.67)$$

$$\tau_m = \frac{0,5 \cdot 412 \cdot 10^3}{20255} = 2064 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт запасу міцності:

$$S_\delta = \frac{\delta_{-1}}{\frac{K_\delta}{\varepsilon_\delta \cdot \beta} \cdot \delta_v}, \quad \delta_{-1} = 0,43 \cdot \delta_s, \quad \delta_{-1} = 0,43 \cdot 780 = 335 \text{ МПа}.$$

$$S_\delta = \frac{335}{\frac{1,59}{0,8 \cdot 0,8} \cdot 53,6} = 7,49.$$

Результативний коефіцієнт запасу міцності перерізу:

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \cdot \tau_v + \varphi_\tau \cdot \tau_m}, \quad (2.68)$$

$$S_{\tau} = \frac{335}{\frac{1,49}{0,71} \cdot 20,34 + 0,1 \cdot 20,34} = 7,49.$$

Загальний коефіцієнт запасу:

$$S = \frac{S_{\delta} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\delta}^2 + S_{\tau}^2}}, \quad (2.69)$$

$$S = \frac{7,49 \cdot 9,77}{\sqrt{7,49^2 + 9,77^2}} = 5,94.$$

Вибір посадок основних з'єднань редуктора

Зубчасті колеса на вали при важких ударних навантаженнях з'єднують по $\frac{H7}{r6}$. Розпірні втулки установлюють по $\frac{H7}{h6}$, кришки підшипників у корпус по $\frac{H7}{h8}$. Внутрішні кільця підшипників на вали к6. Зовнішні кільця підшипників в корпус по H7. Розпірні кільця, ущільнювальні манжети $\frac{H8}{h8}$.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ВОЛОЧИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Оцінка ремонтпридатності волоочильних станів

Аналізування ремонтпридатності - процес, який переводить експлуатаційні вимоги на докладні якісні та кількісні вимоги щодо ремонтпридатності, робить свій внесок в дослідження взаємозамінності й оцінює запропонований проект згідно з кількісними та якісними критеріями проектування [5]. Для того щоб забезпечити оптимальні результати, аналізи мають бути ґрунтовані на понятті технічного обслуговування, встановленому паралельно з оптимізацією проектування.

Прогнозування ремонтпридатності — процес оцінювання аналітичними засобами особливостей ремонтпридатності виробу. Він охоплює обчислення кількісних характеристик ремонтпридатності, використовуючи певну аналітичну модель ремонтпридатності, ґрунтовану на встановлених умовах, які містять підтримку технічного обслуговування. Прогнозування ремонтпридатності охоплює коригувальні та позапланові профілактичні технічні обслуговування згідно з їх відповідними внесками в повні витрати обслуговувань, також з їх впливом на безпечність системи або критичність.

За даними спостережень було отримано наступну інформацію щодо термінів відновлювального ремонту 16 волоочильних станів впродовж терміну спостереження у 1 рік.

Таблиця 3.1. Дані спостереження часу відновлення

Межі інтервалів відновлення, год.	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0
Число відновлених об'єктів	9	3	4

Інтервал відновлення було округлено до $\Delta t_b=0,5$ год.

Оцінка ремонтпридатності проводиться на підставі кількісних характеристик надійності представлених у розділі 1.8 поточної магістерської роботи.

Імовірність відновлення $P(t_b)$ визначено за формулою 1.2 (розділ 1):

$$P(t_b) = \frac{n(t_b)}{N_0},$$

Для першої групи:

$$P(1,0) = \frac{9}{16} = 0,56.$$

Для першої та другої групи:

$$P(1,5) = \frac{9+3}{16} = 0,75.$$

Для всіх об'єктів дослідження:

$$P(2,0) = \frac{9+3+4}{16} = 1,0.$$

Інтенсивність відновлення $\lambda(t_b)$, год⁻¹:

$$\lambda(t_b) = \frac{n(\Delta t_b)}{N(t_b) \cdot \Delta t_b},$$

Для кожної з груп об'єктів інтенсивність відновлення складає:

$$\lambda(1,0) = \frac{9}{(16-9) \cdot 0,5} = 2,57 \text{ год}^{-1},$$

$$\lambda(1,5) = \frac{3}{(16-9-3) \cdot 0,5} = 1,50 \text{ год}^{-1},$$

$$\lambda(2,0) = \frac{4}{(16-9-3-4) \cdot 0,5} = \infty.$$

Середній час відновлення T_b , год.:

$$T_b = \frac{1}{N_0} \sum_{j=1}^{N_0} t_{bj},$$

$$t_{bj} = t + \frac{\Delta t_b}{2}.$$

Для першого інтервалу: $t_1 = 0,5 + \frac{0,5}{2} = 0,75 \text{ год}$;

Для другого інтервалу : : $t_2 = 1,0 + \frac{0,5}{2} = 1,25 \text{ год}$;

Для третього інтервалу: $t_3 = 1,5 + \frac{0,5}{2} = 1,75 \text{ год}$.

Тоді $T_b = \frac{1}{16}(0,75 \cdot 9 + 1,25 \cdot 3 + 1,75 \cdot 4) = 1,1 \text{ год}$.

Гамма-відсотковий час відновлення при $\gamma = 80\%$ Тб γ , год.

За формулою 1.6 (розділ 1) $P(t_{b\gamma}) = \frac{80}{100} = 0,8$.

Тоді підставивши значення отримані у попередніх формулах, а саме:

$P(1,0) = 0,56$; $P(1,5) = 0,75$; $\Delta t = 0,5 \text{ год}$., отримаємо:

Шляхом екстраполяції визначаємо гамма відсотковий час відновлення:

$$T\gamma = 1,0 + \frac{0,5}{0,75 - 0,56}(0,8 - 0,56) = 1,63 \text{ год}.$$

Таким чином, з ймовірністю у 80 % волоочильний стан буде відновлено за 1,63 години.

3.2 Розробка заходів технічного обслуговування та ремонтів ділянки прямоточного волочіння

Для забезпечення ефективної, безаварійної роботи устаткування при мінімальних витратах трудових і матеріальних ресурсів необхідним є застосування системи технічного обслуговування й ремонту (ТОіР). Суть цієї системи в чіткому чергуванні й регламентації періодів ритмічної роботи устаткування, відповідно до встановленого режиму й профілактичних заходів, з метою попередження передчасного його зношування, включаючи планові ремонти й міжремонтне технічне обслуговування.

Відповідно до цієї системи устаткування в процесі експлуатації піддається технічному обслуговуванню (регулювання, змащення, очищення, періодичні огляди інженерно - технічним персоналом, усунення дефектів і неполадок, необхідні випробування й т.і.) до планових ремонтів, спрямованим на відновлення його працездатності, частково втраченої в період роботи.

Механослужба підприємства й інші підрядні організації зобов'язані неухильно дотримувати вимог системи ТОіР, тому що її порушення неминуче приводить до росту позапланових простоїв устаткування, підвищенню рівня трудових і матеріальних витрат на його ремонт і зниженню техніко-економічних показників виробництва.

Виконання системи ТОіР практично означає:

- а) виконання правил і норм по технічному обслуговуванню й експлуатації агрегатів, машин і механізмів і організацію контролю за їхнім дотриманням;
- б) організацію обліку роботи й стани устаткування, а також обліку й аналізу витрат на його технічне обслуговування й ремонт, розробку й здійснення заходів щодо вдосконалювання агрегатів, машин і механізмів;
- в) планування: і проведення періодичних оглядів устаткування силами ІТП, забезпечення міжремонтного технічного обслуговування й ремонту агрегатів, машин і механізмів, контроль і облік своєчасного і якісного їхнього виконання;
- г) установка й дотримання норм технічного обслуговування, структур ремонтного циклу, тривалості міжремонтних періодів, состава й змісту ремонтних робіт для всього устаткування з урахуванням умов його експлуатації;
- д) організацію виробничої бази для підготовки й виконання ремонтів і міжремонтного технічного обслуговування, оснащення її необхідним устаткуванням, інструментами й матеріалами, укомплектування робочою силою, а також впровадження прогресивної технології виготовлення

запасних частин, уніфікації вузлів і деталей, організацію їх обліку й зберігання;

е) організацію матеріально-технічного постачання підприємства необхідними видами прокату, металовиробів, канатів, мастильних і інших матеріалів, необхідних для ремонту устаткування

*Розробка річного графіка планово-попереджувальних ремонтів
устаткування ділянки прямоточного волочіння*

Приступаючи до розробки графіків ППР, попередньо визначимо структуру ремонтного циклу, виявляємо періодичність і тривалість всіх видів ремонтів. Періодичність зупинок устаткування на поточні й капітальні ремонти визначаються терміном служби деталей, що зношуються, і вузлів, а тривалість зупинок - часом необхідним для виконання найбільш трудомістких робіт.

Нормативи періодичності й тривалості поточних і капітальних ремонтів зазначаються в спеціальній літературі. Вони розроблені з урахуванням передового досвіду підприємств, установлених режимів роботи устаткування, дотриманню правил технічної експлуатації й технологічних інструкцій, передбачають підлягаючу організацію й своєчасне і якісне виконання ремонтів. По встановлених нормативах періодичності ремонтів визначають структуру ремонтного циклу, тобто перелік і послідовність циклічно повторюваних ремонтів устаткування, виконуваних у період між двома капітальними ремонтами.

У графіку передбачаються запису планових строків у тривалості зупинок устаткування на ремонт, а також оцінки про фактично виконані ремонти. Цьому відповідають два горизонтальні рядки для кожного виду устаткування.

У графах , кожна з яких відповідає одній декаді місяця, умовною позначкою у вигляді дробу вказується в чисельнику вид ремонту (К - капітального, Т - поточний), а в знаменнику - тривалість (поточного - у годинниках, капітального - у добі).

Графік підписується головним механіком, і затверджується керівництвом підприємства. Затверджений графік повинен бути доведений до цехів не пізніше чим за місяць до початку планованого року.

Після визначення структури ремонтного циклу складаємо графік ремонтів.

Підставою для цього складання є:

- дані про терміни служби основних елементів устаткування, накопичені в процесі його експлуатації й зафіксовані в агрегатних журналах, технічних паспортах і іншій документації;
- затвержені акти технічного дослідження устаткування, що підлягає капітальному ремонту в планованому році;
- виробничі показники останнього періоду роботи устаткування;
- нормативи періодичності й тривалості поточних і капітальних ремонтів устаткування;
- дані про роботу аналогічного устаткування на передових підприємствах;
- дата й тривалість останнього капітального ремонту устаткування.

З технічної документації на волочильний стан можемо бачити, що тривалість міжремонтний циклу становить 6 років (2190 доби), період між ремонтами поточними становить 30 доби, тривалість поточних ремонтів - 8 годин, тривалість капітального ремонту становить 72 години.

Таблиця 3.2 Графік планово-попереджувальних ремонтів устаткування ділянки

№ п/п	Найменування устаткування	Місяці року												Простої у ремонті, година	З них кап.ре-монт, година	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	2	3												4	5	
1	Стан 2КМ30-9	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	Т 24	288	
2	Верстат МС3 шліфувальний	Т 8	Т 8		Т 8	Т 8	Т 8			Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	72		
3	Молот кувальний МБ412	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	К Т 8	184	96	

Продовження табл. 3.2

1	2	3												4	5
4	Піч ОКБ 4263 (для бунтів)		Т 8	Т 8	Т 8		Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	72	
5	Правильна машина 7x700	Т 8	К	Т 16	Т 8	Т 8	Т 16	Т 8	Т 8	Т 16	Т 8	Т 8	Т 16	192	72
6	Візок Q=5 т (передаточний)	Т 8	Т 8	Т 8	К	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	160	72
7	Кран ел. мостовий Q=5 т	Т 8	Т 8		К	Т 8		Т 8	Т 8		Т 8	Т 8		104	48
8	Зіштовхувач заготівок	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	Т 8	96	
9	Передавальний візок		Т 8		К			Т 8			Т 8			72	48
РАЗОМ													1240	336	

Розробка мережевого графіка капітального ремонту волочильного стана

Перелік робіт на капітальний ремонт стана представлений у таблиці 3.2.

Параметри мережної моделі, розрахованої за даними таблиці 3.3, наведені в таблиці 3.3, де:

-графи 1, 2, заповнюються на основі таблиці 3.3;

-графи 3 і 4 заповнюються одночасно; ранній початок роботи (графа 3) визначається як максимальна величина раннього закінчення попередніх робіт; значення для графа 4 визначаються по формулі (3.2)

-графи 5 і 6 також заповнюються одночасно, але тільки у зворотному порядку (знизу нагору).

Визначення ранніх строків початку й закінчення робіт

Ранній строк проведення вихідної роботи приймаємо рівної 0:

$$T_0^p = 0; \quad (3.1)$$

Ранній строк проведення роботи 1 визначимо:

$$T_1^p = T_0^p + T_{0-1} = 0 + 5 = 5 \text{ годин,} \quad (3.2)$$

де T_1^p - ранній строк проведення роботи 1,

T_0^p - ранній строк попередньої роботи,

T_{0-1} - тривалість роботи, година.

Таблиця 3.3 Роботи з капітального ремонту вузлів волочильного стану 2КМ30-9

Найменування робіт	Початок	Кінець	Тривалість, годин	Кількість персоналу
Зупинка на ремонт і відключення комунікацій	0	1	5	4
Ремонт развантажувального пристрою	1	2	16	4
Ремонт вузла гідроциліндра проштовхувача	2	3	5	2
Заміна тягових ланцюгів	3	4	6	4
Демонтаж плашкового візка	2	5	3	4
Заміна плашок	5	6	5	4
Монтаж візка	6	7	6	4
Ремонт систем пневмо- і гідрокерування	4	10	12	2
Ремонт вузла дошки волок проштовхувача	7	8	8	4
Модернізація вузла кишень змінної місткості	8	9	10	6
Ремонт робочого стола з перевіркою зварених швів	9	10	6	4
Ремонт головного привода	10	11	6	2
Випробування й усунення дрібних недоробок	11	12	4	2
Пуск в експлуатацію	12	13	3	2

Всі розрахунки ранніх строків робіт наведені в таблиці 3.4. і зазначені на мережевому графіку.

Пізній строк проведення робіт розраховуємо з кінця мережної моделі:

$$T_{13}^n = T_{13}^p = 72 \text{ години.} \quad (3.3)$$

$$T_{12}^n = T_{13}^n - T_{12-13} = 72 - 3 = 69 \text{ годин} \quad (3.4)$$

Всі розрахунки пізніх строків робіт наведені в таблиці 5.3. і зазначені на сітковому графіку.

Визначення резервів часу

Резерв часу визначається тільки в робіт, які не перебувають на критичному шляху.

Повний резерв часу роботи визначимо по формулі:

$$R_{2-3} = T_3^n - T_2^p - T_{2-3} = 41 - 21 - 5 = 15 \text{ годин,} \quad (3.5)$$

де R_{3-4} - резерв часу,

T_4^n, T_3^p - відповідно пізній і ранній строк робіт.

Приватний резерв часу роботи визначимо по формулі:

$$r_{2-3} = T_3^p - T_2^n - T_{2-3} = 26 - 21 - 5 = 0 \text{ годин} \quad (3.6)$$

Всі розрахунки резервів часу зведені в таблиці 3.4 і показані на мережевому графіку.

Таблиця 3.4 Розрахунок параметрів мережевого графіка

Шифр роботи	Тривалість T_{i-j}	T_{i-j}^{PH}	T_{i-j}^{PO}	T_{i-j}^{nH}	T_{i-j}^{nO}	R_{i-j}	r_{i-j}
1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	5	0	5	0	5	0	0
1-2	16	5	21	5	21	0	0
2-3	5	21	26	21	41	15	0
3-4	6	26	32	41	47	15	0
4-10	12	32	44	47	59	0	15
2-5	3	21	24	21	24	0	0
5-6	5	24	29	24	29	0	0
6-7	6	29	35	29	35	0	0
7-8	8	35	43	35	43	0	0

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
8-9	10	43	53	43	53	0	0
9-10	6	53	59	53	59	0	0
10-11	6	59	65	59	65	0	0
11-12	4	65	69	65	69	0	0
12-13	3	69	72	69	72	0	0

Мережевий графік представлено у додатках.

3.3. Обґрунтування її чисельності робітників механослужби ділянки волочіння

Визначення річної трудомісткості поточних ремонтів

Категорія ремонтної складності будь-якого виду механічного устаткування КРС визначається шляхом зіставлення трудоемкостей його капітального ремонту й капітального ремонту еталонного устаткування:

$$KPC = \frac{T_{кр}}{H_{кр(э)}}, \quad (3.7)$$

де КРС - категорія ремонтної складності розглянутого устаткування;

$T_{кр}$ - трудомісткість капітального ремонту розглянутого виду устаткування;

$H_{кр(э)}$ - трудомісткість капітального ремонту еталонного устаткування.

При відомому значенні КРС устаткування трудові витрати на поточні ремонти визначається зі співвідношень:

$$T_n = H_n \cdot KPC, \quad (3.8)$$

де T_n - трудомісткість ремонтів поточних і капітального відповідно;

H_n - нормативи витрат праці на одну одиницю ремонтної складності при виробництві ремонтів відповідно поточних і капітального для даного устаткування, люд.-год.(табл. 3.2. [ТОіР]).

Тоді категорія ремонтної складності для волочильного стана:

$$KPC = \frac{T_{кр}}{H_{кр(э)}} = \frac{1750}{70} = 25;$$

Трудові витрати:

$$T_{Ti} = H_{Ti} \cdot KPC = 2 \cdot 25 = 50 \text{ люд} - \text{год}$$

де H_{Ti} , - нормативи витрат праці на одиницю ремонтної складності, люд.-год.; $H_{Ti}=2$, [ТОіР, табл.3.2].

Значення трудомісткості іншого устаткування прораховуємо й зводимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 Річна трудомісткість поточних ремонтів устаткування

Устаткування	Кіл.	Тривалість кап.рем-та, година	KPC	Трудомісткість люд.-год.		Кіл. рем-в	Загальна трудоємкість
				T_{T1}	T_{T2}		
1	2	3	4	5	6	7	8
Стан 2KM30-9	1	72	70	140	-	12	1750
Верстат МС3 шліфувальний	2	12	16	32	64	8	1168
Молот кувальний МБ412	1	96	18	36	72	6	954
Піч ОКБ 4263 (для бунтів)	1	120-168	24	48	-	6	1704
Правильна машина 7x700	2	72	30	60	180	6	1770
Візок Q=5 т (передаточний)	1	72	8	16	-	8	568
Кран ел. мостовий Q=5 т	2	48	15	23	75	10	490

На підставі річної трудомісткості поточних ремонтів одиниці кожного устаткування розраховуємо загальну річну трудомісткість по формулі:

$$T_e = T_p \cdot k_{п}; \quad (3.9)$$

де $k_{п}=1$, 3-коефіцієнт, що враховує обсяг підготовчих робіт і

трудомісткість ремонту окремих механізмів і пристроїв загальцехового призначення, не врахованих у T_p .

$$T_p = \sum_1^{\kappa} (T_{T1} \cdot N_{T1} + T_{T2} \cdot N_{T2}) \cdot n = 18864 \text{ год}, \quad (3.10)$$

де T_{T1}, T_{T2} – річна трудомісткість поточних ремонтів;

N_{T1}, N_{T2} – кількість ремонтів;

n - кількість одиниць устаткування

Підставивши числове значення T_p у формулу (3.9) одержимо:

$$T_e = 18864 \cdot 1,3 = 24523,2 \text{ люд.-год.}$$

Розрахунок штатної чисельності ремонтного персоналу механослужби

Штатна чисельність ремонтного персоналу:

$$C_{pn} = \frac{T_o \cdot (1 - \kappa_{ц})}{B_э \cdot \kappa_B} = \frac{24523,2 \cdot (1 - 0,3)}{1672 \cdot 1,2} = 8,5 \text{ (8 чоловік)}, \quad (3.11)$$

де $\kappa_{ц}$ - коефіцієнт централізації поточних ремонтів ($\kappa_{ц} = 0,3-0,4$);

$B_э = 1672$ - ефективний фонд робочого часу одного середнесписочного робітника ремонтника механослужби;

κ_B - коефіцієнт, що враховує виконання норм виробітку ($\kappa_B = 1-1,3$);

T_e - загальна трудомісткість поточних ремонтів

Штатна чисельність чергового персоналу:

$$C_{он} = \frac{T_{мо} \cdot (1 - \kappa_y)}{B_э} = \frac{0,5 \cdot 24523,2 \cdot (1 - 0,4)}{1944} = 4,41 \text{ (4 чоловік)}, \quad (3.12)$$

де $T_{мо}$ - трудомісткість чергового обслуговування, $T_{мо} = T_e \cdot 0,5$;

$\kappa_y = 0,4$ - коефіцієнт, що враховує участь експлуатаційного персоналу в міжремонтному обслуговуванні;

$B_э = 1944$ - ефективний фонд робочого часу чергового слюсаря.

3.4 Визначення кількості запчастин із використанням показників надійності

Привод волоочильного стану містить N різних типів елементів, що замінюються і кожен i тип включає в себе n_i однакових елементів. Відмова будь-якого з елементів призводить до відмови системи.

Елементи замінюють або під час планових ремонтів або за відмову в міжремонтний період. Імовірність відмови у цей період F_i , тоді ймовірність появи кількох m_i відмов n_i елементів можна визначити як:

$$P_i(T) = \frac{n_i!}{m_i!(n_i-m_i)!} \cdot F_i^{m_i} \cdot P_{i(n_i-m_i)} \quad (3.13)$$

Потреба в запчастинах буде задоволена якщо:

$$m_i \leq m_{3i} \quad (3.2)$$

тобто кількість елементів, що відмовили, менше або рівно кількості цих елементів на складі.

Імовірність здійснення цієї умови:

$$P_i(m_i \leq m_{3i}) = \sum_{m_i=0}^{m_{3i}} \frac{n_i!}{m_i!(n_i-m_i)!} F_i^{m_i} P_{i(n_i-m_i)} \quad (3.3)$$

$$P_i(m_i \leq m_{3i}) = \sum_{m_i=0}^{m_{3i}} \frac{n_i!}{m_i!(n_i-m_i)!} F_i^{m_i} P_{i(n_i-m_i)}$$

Для всього волоочильного стану ймовірність здійснення такої умови:

$$P_i[N(m_i \leq m_{3i})] = \prod_{i=1}^N \sum_{m_i=0}^{m_{3i}} \frac{n_i!}{m_i!(n_i-m_i)!} F_i^{m_i} P_{i(n_i-m_i)} \quad (3.4)$$

При цьому кількість запчастин вважають достатньою, якщо виконується умова:

$$P_i[N(m_i \leq m_{3i})] \geq v, \quad (3.5)$$

де v -достатність забезпечення рівна: для основних $v=0,9$; для допоміжних $= 0,7-0,8$.

Вартість запасних частин на складі:

$$C_3 = \sum_{i=1}^N m_{3i} \cdot c_i \quad (3.6)$$

де c_i - вартість однієї запасної частини.

Завдання вирішимо шляхом побудови домінуючої послідовності. На першому етапі обчислено $P(m_i=0)$; $P(m_i \leq 1)$ і розраховано збільшення достатності з урахуванням вартості елемента:

$$\eta_{1i} = \frac{1}{c_i} \left[\frac{P(m_i \leq 1)}{P(m_i=0)} - 1 \right] \quad (3.7)$$

і порівняно збільшення достатності та вводять до складу запчастин той елемент, у якого вона максимальна. Після нього йдуть на другий крок цим же елементом, попередньо обчисливши:

$$\eta_{2i} = \frac{1}{c_i} \left[\frac{P(m_i \leq 2)}{P(m_i \leq 1)} - 1 \right] \quad (3.7)$$

Знову проводять порівняння та вводять деталь з максимальним збільшенням достатності. Завдання вважають вирішеним, коли виконується умова 3.3.

Привод волочильного стану включає в себе $N=4$ типи елементів, що замінюються.

- | | | |
|----|-----------------|---------------------------------|
| 1. | Підшипники | $n_1=4; F_1 = 0,1; c_1 = 20.$ |
| 2. | Зубчасті колеса | $n_2=2; F_2 = 0,02; c_2 = 100.$ |
| 3. | Вали | $n_3=2; F_3 = 0,05; c_3=50.$ |
| 4. | Муфти | $n_4=3; F_4 = 0,2; c_4 = 200.$ |

$$P(m_1 = 0) = \frac{n_1!}{m_1! (n_1 - m_1)!} \cdot F_1^{m_1} \cdot P_{1(n_1-m_1)} = \frac{4!}{0! (4 - 0)!} \cdot 0,1^0 0,9^4 = 0,6561;$$

$$P(m_2 = 0) = \frac{2!}{0! (2 - 0)!} \cdot 0,02^0 \cdot 0,98^2 = 1 \cdot 1 \cdot 0,98^2 = 0,9604;$$

$$P(m_3 = 0) = \frac{2!}{0! (2 - 0)!} \cdot 0,05^0 \cdot 0,95^2 = 1 \cdot 1 \cdot 0,95^2 = 0,9025;$$

$$P(m_4 = 0) = \frac{2!}{0! (2 - 0)!} \cdot 0,2^0 \cdot 0,8^2 = 1 \cdot 1 \cdot 0,8^2 = 0,64;$$

$$\begin{aligned} \Delta_{1(1)} &= \frac{n_1!}{m_1! (n_1 - m_1)!} \cdot F_1^{m_1} P_{1(n_1-m_1)} = \frac{4!}{1! (4 - 1)!} \cdot 0,1^1 0,9^3 \\ &= \frac{24}{1 \cdot 6} \cdot 0,1 \cdot 0,729 = 0,2916; P(m_1 = 1) = 0,6561 + 0,2916 = 0,9477; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{2(1)} &= \frac{n_2!}{m_2!(n_2 - m_2)!} \cdot F_2^{m_2} P_{2(n_2 - m_2)} = \frac{2!}{1!(2 - 1)!} \cdot 0,02^1 0,98^1 = \\ &= \frac{2}{1 \cdot 1} \cdot 0,02 \cdot 0,98 = 0,0392;\end{aligned}$$

$$P(m_2 = 1) = 0,9604 + 0,0392 = 0,9996;$$

$$\Delta_{3(1)} = \frac{n_3!}{m_3!(n_3 - m_3)!} \cdot F_3^{m_3} P_{3(n_3 - m_3)} = \frac{2!}{1! \cdot 1!} \cdot 0,05^1 0,95^1 = 0,095;$$

$$P(m_3 = 1) = 0,095 + 0,9025 = 0,9975;$$

$$\Delta_{4(1)} = \frac{n_4!}{m_4!(n_4 - m_4)!} \cdot F_4^{m_4} P_{4(n_4 - m_4)} = \frac{2!}{1! \cdot 1!} \cdot 0,2^1 0,8^1 = 0,32;$$

$$P(m_4 = 1) = 0,32 + 0,64 = 0,96.$$

Обчислюємо збільшення достатності за кожною групою

$$\begin{aligned}\eta_{11} &= \frac{1}{C_1} \left[\frac{P(m_1 = 1)}{P(m_1 = 0)} - 1 \right] = \frac{1}{20} \left(\frac{0,9477}{0,6561} - 1 \right) = 0,02222; \\ \eta_{12} &= \frac{1}{C_2} \left[\frac{P(m_2 = 1)}{P(m_2 = 0)} - 1 \right] = \frac{1}{100} \left(\frac{0,9996}{0,9604} - 1 \right) = 0,00041; \\ \eta_{13} &= \frac{1}{C_3} \left[\frac{P(m_3 = 1)}{P(m_3 = 0)} - 1 \right] = \frac{1}{50} \left(\frac{0,9975}{0,9025} - 1 \right) = 0,00210; \\ \eta_{14} &= \frac{1}{C_4} \left[\frac{P(m_4 = 1)}{P(m_4 = 0)} - 1 \right] = \frac{1}{200} \left(\frac{0,96}{0,64} - 1 \right) = 0,00250.\end{aligned}$$

Найбільше збільшення у підшипників $\eta_{11} = 0,02222$. Вводимо до складу запчастин підшипник:

$$mI=(1,0,0,0)$$

та перевіряємо достатність забезпечення за формулами 3.5 та 3.6 .

$$\begin{aligned}P[4(m_1 = 1)] &= P(m_1 = 1) \cdot P(m_2 = 0) \cdot P(m_3 = 0) \cdot P(m_4 = 0) = \\ &= 0,9477 \cdot 0,9604 \cdot 0,9025 \cdot 0,64 = 0,52571 < \nu = 0,9.\end{aligned}$$

На другому кроці обчислюємо збільшення достатності по групі підшипників з умови, що їх два

$$P(m_1 = 2) = \Delta_{1(2)} + P(m_1 = 1) = 0,0486 + 0,9477 = 0,9963$$

$$\Delta_{1(2)} = \frac{4!}{2! \cdot 2!} \cdot 0,1^2 0,9^2 = 0,0486;$$

$$\eta_{21} = \frac{1}{20} \left(\frac{0,9963}{0,9477} - 1 \right) = 0,00256$$

Порівнюючи отримане значення $\eta_{21}; \eta_{12}; \eta_{13}; \eta_{14}$ приходимо до висновку, що необхідно додати ще один підшипник:

$$mII=(2,0,0,0)$$

та перевіряємо достатність забезпечення:

$$P[4(m_1 = 2)] = P(m_1 = 2) \cdot P(m_2 = 0) \cdot P(m_3 = 0) \cdot P(m_4 = 0) = 0,9963 \cdot 0,9604 \cdot 0,9025 \cdot 0,64 = 0,55267 < \nu = 0,9.$$

На третьому кроці:

$$P(m_1 = 3) = \Delta_{1(3)} + P(m_1 = 2) = 0,0036 + 0,9963 = 0,9999$$

$$\Delta_{1(2)} = \frac{4!}{3! \cdot 1!} \cdot 0,1^3 0,9^1 = \frac{24}{6 \cdot 1} \cdot 0,001 \cdot 0,9 = 0,0036$$

Збільшення достатності підшипників на третьому кроці:

$$\eta_{31} = \frac{1}{20} \left(\frac{0,9999}{0,9963} - 1 \right) = 0,00018$$

Отже, до складу запчастин слід запровадити муфту, у якої збільшення достатності $\eta_{11} = 0,02222$ максимально

$$mIII=(2,0,0,1)$$

та перевіряємо достатність забезпечення

$$P[4(m = 3)] = P(m_1 = 2) \cdot P(m_2 = 0) \cdot P(m_3 = 0) \cdot P(m_4 = 1) = 0,9963 \cdot 0,9604 \cdot 0,9025 \cdot 0,96 = 0,82901 < \nu = 0,9.$$

На четвертому кроці

$$\eta_{2,4} = \frac{1}{200} \left[\frac{P(m_4 = 2)}{P(m_4 = 1)} - 1 \right] = \frac{1}{200} \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) = 0,00021$$

$$P(m_4 = 2) = \Delta_{4(2)} + P(m_4 = 1) = 0,96 + 0,04 = 1$$

$$\Delta_{4(2)} = \frac{2!}{2! \cdot 0!} \cdot 0,2^2 0,8^0 = 1 \cdot 0,04 \cdot 1 = 0,04;$$

Порівняння достатностей збільшення показує, що до складу запчастин необхідно ввести один вал $mIV=(2,0,1,1)$ при цьому достатність забезпечення:

$$P[4(m = 4)] = P(m_1 = 2) \cdot P(m_2 = 0) \cdot P(m_3 = 1) \cdot P(m_4 = 1) = 0,9963 \cdot 0,9604 \cdot 0,9975 \cdot 0,96 = 0,9163 < \nu = 0,9.$$

Умова виконана. Вартість запасних частин на складі за формулою 3.6:

$$C_3 = \sum_{i=1}^N m_{3i} \cdot c_i = 2 \cdot 20 + 0 \cdot 100 + 1 \cdot 50 + 1 \cdot 200 = 290 \text{ у.о}$$

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика безпекового рівня на ділянці волочіння

Волочильне виробництво характеризується складністю й різноманітністю механічного устаткування, у зв'язку із чим у виробничому процесі в основному мають місце небезпечні фізичні фактори; фізико-хімічні фактори є основними тільки при волочінні металу.

Інструкція з охорони праці для робітників механослужби встановлює вимоги безпеки при виконанні робітниками та службовцями покладених на них обов'язків, а також безпечного поведження на робочих місцях і території цеху.

Досить повне подання про рівень механізації можна одержати шляхом визначення витрат механічної й ручної праці

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\%$$

де B- рівень механізації праці, %;

M- сума людино-годин механізованої праці;

R- сума людино-годин ручної праці.

Розраховуємо рівень механізації праці для слюсаря

$$B = \frac{4}{4 + 4} \cdot 100\% = 50\%$$

З дані таблиці можна дати висновок, що електрогазозварник робить 25% механізованого й 75% ручної праці; слюсар ремонтник 6-го розряду - 50% механізованого й 50% ручної праці, слюсар ремонтник 5-го розряду - 50% механізованого й 50% ручної праці.

Результати розрахунків рівня механізації праці для інших професій зведемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 Результати розрахунків рівня механізації праці професій

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людина-годин у добу			Механізованої праці %	Ручної праці, %
			Вручну	За допомогою машин	Усього		
1	Електрогазоварник	1	6*1=6	2*1=2	8	25	75
2	Слюсар ремонтник 6-го розряду	4	4*4=16	4*4=16	32	50	50
3	Слюсар ремонтник 5-го розряду	1	4*1=4	4*1=4	8	50	50

4.2 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища

Розглянемо карту умов праці оператора поста керування волочильного стана 2КМ30-19 (таблиця 4.2).

Гігієнічна оцінка умов праці

Умови й характер праці ставляться до III класу 3 ступені по показниках шкідливості: стереотипні рухи кистей рук і пальців, інфрачервоне випромінювання.

Атестація робочого місця

Робочі місця мають у наявності: 3 фактора 1 ступеня, 2 фактора 2 ступені, 2 фактора 3 ступені. По показниках робоче місце варто вважати з особливо шкідливими й особливо важкими умовами праці, що відповідає показникам Списку №1 пункт 1.

Таблиця 4.2 Технологічна карта умов праці оператора поста керування
волоочильного стана

Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Нормативне значення, ГДК, ГДР	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов і характер праці			Час дії фактора % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
II. Пил переважно фіброгенного дії, мг/м ³						
пил силкатосдержащая	4,0	6,4	1,8			94,5
IV. Шум еквівалентний, ДБа	80	94			14	85
VIII. Мікроклімат у помещенні						
- температура повітря, °С	28-21	30	2,0			94,5
- швидкість руху повітря, м/сек	0,1-0,2	< 0,3				94,5
- відносна вологість повітря, %	55	39				94,5
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	360		360		94,5
IX. Вага роботи						
<u>Динамічна робота</u> м'язів плечового пояса - дрібні стереотипні руху кистей і пальців рук (кількість за хвилину)	80000	96868			96868	
X. Напруженість праці						
Тривалість зосередженості (% до тривалості зміни)	75	88,5	88,5			
Емоційна й інтелектуальна напруженість				Осіб. ризик		
Кількість факторів			2	2	1	

Відповідно до Списку №1: пенсійний вік по пільгових умовах для чоловіків становить 50 років, для жінок - 45 років, дається додаткова відпустка 14 днів, дається молоко й доплати згідно колективного договору.

У таблиці 4.3 наведені фактори виробничого середовища, які мають місце на ділянці стана і засоби захисту.

Таблиця 4.3 Технічні міри захисту від шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
2	Запиленість	Витяжна вентиляція	Механічна	Витрати 65000 м ³ /година	Стаціонарна установка
3	Запиленість	Респіратор СИЗОД	Тополь-2	до 2 г/м ³	Індивідуально
4	Шум	Навушники протишумні	-	Придатний до 110 дБ	Індивідуально
5	Температура	Утеплена куртка, ватяні штани	T _п	По розміру працівника	Індивідуально

4.3 Технічне рішення по виробничій санітарії

Об'ємно-планувальні рішення будинків і споруд цеху

Розглянутий калібрований цех перебуває в центрі промислової зони. Тому при зміні вітрів цех може перебувати на шляху проходження шкідливих викидів (газів або пилу) різних виробництв, та й сам може бути джерелом забруднення повітря для цих виробництв. У виді підвищеного поширення житлових районів у місті цех не може взагалі не забруднювати житлові території. Тому можна тільки застосовувати заходи щодо зменшення шкідливих викидів виробництва. Клас виробництва II, розмір санітарно-гігієнічної зони 500 м.

Природне й штучне освітлення

Прийнята система природного освітлення - бічна.

Слюсар має VI розряд зорової роботи. При загальній системі освітлення становить E=150 Лк.

Значення КЕО обумовлені з урахуванням зорової роботи: $e=e(\text{III})=0,5$ при бічному висвітленні, без стійкого снігового покриву.

Коефіцієнт світлового клімату $m=0,8$.

Коефіцієнт сонячного клімату $C=0,7$.

Коефіцієнт природної освітленості:

$$l_n = e \cdot m \cdot c = 0.5 \cdot 0.8 \cdot 0.7 = 0.28$$

Аварійне освітлення для продовження роботи

$$E_{ав.роб} = 10\% \cdot E = 0,1 \cdot 150 = 15 \text{ Лк}$$

У цеху є як лампи накаливання типу 5Г так і люмінесцентні лампи типу ДРЛ, ДРИ; серед ламп накаливання є два типи світильників: «універсал», «глибокоизлучитель».

Дані по висвітленню зведені в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 Прийняті значення освітлення

Найменування відділення Участі робочого місця	Розряд зорової роботи	Освітленість, (Лк) і коефіцієнт запасу						Аварійна освітленість, Лк	
		люмінесцентні			При лампах накаливання				
		Система Комбінованого освітлення	Система загального	Коеф. запасу	Система Комбінованого освітлення	Система загального освітлення	Коеф. запасу	Газорозрядна лампа	Люмінесцентна лампа
Пічний проліт	VI		150	1,8		75	1,5	15	7,5

4.4 Заходи щодо техніки безпеки

Вимоги безпеки перед початком роботи.

Устаткування, засоби ремонту, і робоче місце довколо нього, повинні бути очищені від промислових відходів, бруду, масел, сторонніх предметів. Робоче місце повинне бути освітлене відповідно до вимог нормативних актів по

охороні праці. При необхідності, установлюються додаткові переносні джерела світла. При виконанні робіт поблизу працюючого устаткування, необхідно вжити заходів від поразки працюючих частками, що відлітають, при обробці (окалина, шлаки, іскри, пил і т.п.). Місце роботи огорожується захисними щитами, екранами або застосовувати засобу індивідуального захисту (щитки, окуляри, маски, спецодяг).

Перед початком роботи слюсар зобов'язаний:

- підготувати необхідний інструмент, пристосування, засоби індивідуального захисту, засобу пожежогасіння, стропа, обтиральні матеріали й змащення, переконатися в справності інструмента;

- одержати цільовий інструктаж на провадження робіт підвищеної небезпеки з розписом інструктаж, що одержав, в убрання-допуску;

- при наявності на машинах (механізмах) гідравлічних або пневматичних приводів перед початком ремонту перекриваються вентиля (засувки) подачі енергоносіїв, засувки (вентилі) закриваються на замок, вивішується плакат: «Не включати! Працюють люди»;

- перед початком роботи особисто переконатися (шляхом включення механізмів від пристроїв пускових (УП), натисканням пускових механізмів (розподільників) у тім, що електросхеми розібрано, пневматичні й гідравлічні приводи відключені, засувки закриті на ланцюг, вивішені плакати «Не включати! Працюють люди!», отримані бирки або оформлена вбрання-допуск на провадження робіт.

Установити необхідні огороження, перекриття, вивісити плакати. Надійно укласти запасні частини, інструменти, кріплення необхідні для ремонту. Переконатися, що в процесі виконання робіт його дії не спричинять травмування поруч працюючих.

Роботу на декількох ярусах варто виконувати при наявності надійно виконаних перекриттів над кожним ярусом. У випадку, коли неможливий пристрій суцільного перекриття, провадження робіт повинне бути погоджене

між виконавцями. При виробництві вогневих робіт слюсар зобов'язаний застосовувати окуляри зі світлофільтрами для захисту око. При роботі зі стропами, сталевими канатами, матеріалами з гострими гранями необхідно застосовувати рукавиці. Перед укладанням матеріалів, деталей устаткування на стелажі необхідно переконатися в справності стелажів. На стелажах, на видному місці, повинна бути зазначена припустиме навантаження. Перевантажувати стелажі забороняється.

Ручка молотка, кувалди повинна бути прямої, овального перетину, з незначним стовщенням до її вільного кінця. Поверхня ручки повинна бути гладкої, без тріщин, задирок і відколів. Перед початком роботи кувалдою або молотком необхідно переконатися, що при русі кувалди (молоток) не зачепляться й не змінить напрямок удару.

Підвішені на гак вантажозахватних пристроїв сталеві болванки «Барси», застосовувані замість кувалд, повинні мати надійно закріплені вушка для підвіски й гладкі прямі бойки. Підвішувати «барси» можна тільки на гак вантажопідійомних механізмів.

Майстер, керівники бригад (робітники вищих розрядів) зобов'язані періодично оглядати весь інструмент і інвентар, що перебуває в експлуатації й виданий на руки робітником.

При всіх неясностях у роботі або незнанні технології виконання майбутньої роботи або можливості виникнення небезпеки при провадженні робіт, роботу не виконувати, а викликати майстра або бригадира.

Вимоги безпеки під час роботи.

Слюсар зобов'язаний виконувати тільки ту роботу, що доручена йому майстром (бригадиром, слюсарем більше високого розряду).

Слюсареві забороняється:

- працювати несправним інструментом;
- перебувати в зоні руху кувалди (молотка, лома й ін. інструмента,

деталей);

- застосовувати прокладки при наявності зазору між площинами губок ключа й головкою болта (гайки);

- подовжувати гайковий ключ другим гайковим ключем і іншими сторонніми предметами;

- перевіряти пальцями сполучення отворів у двох деталях, які можуть взаємно зміститися;

- перевіряти глибину отвору пальцями рук;

- закладати руки, ноги в зазори між деталями устаткування або зубами зубчастого зачеплення;

- підкладати руки, ноги під установлюване устаткування, вантажі;

ставати на деталі або вузли устаткування, які можуть повернутися або зміститися (ролики рольгангів, шестірні, кришки люків); - видаляти металеву стружку, продукти зношування деталей незахищеними руками, для цього застосовувати металеві й дерев'яні шкребки, гачки.

Вимоги безпеки по закінченні роботи.

Після закінчення роботи необхідно

- повідомити майстра (бригадирові, старшому робітникові) про закінчення роботи або про роботу переданої по зміні;

очистити місце проведення робіт від демонтованих деталей, тимчасових огорожень, перекриттів, залишків матеріалів і змащення;

- перевірити наявність інструмента й пристосувань - залишений інструмент може привести до руйнування механізму;

- переконатися, що всі стопорні й обмежувальні пристосування зняті й робота механізмів можлива;

Робоче місце можна залишати тільки з дозволу керівника робіт (майстри, бригадира).

Вимоги до інструментів.

Механізований інструмент повинен бути в повній справності й

застосовуватися в строгій відповідності з вимогами інструкції заводу-виготовлювача.

Перед експлуатацією механізованого інструмента повинні бути перевірені на стенді: його робота, стан ізоляції на корпус, справність його заземлюючого проводу. Результати випробувань і оглядів інструмента заносяться в журнал реєстрації випробувань із вказівкою його інвентарного номера. При перервах у роботі й перенесенні на інше місце механізований інструмент необхідно відключати.

Ремонт інструмента повинен виконуватися кваліфікованими, спеціально призначеними фахівцями.

Напруга, що подається на інструмент, повинне бути не вище 220У в приміщеннях без підвищеної небезпеки й не вище 36У в приміщеннях з підвищеною небезпекою й поза приміщеннями. В особливо небезпечних приміщеннях дозволяється працювати електроінструментом при напрузі ЗАКЛІК з обов'язковим застосуванням захисних засобів.

Підключати шланги й механізований інструмент до трубопроводу стисненого повітря дозволяється тільки при закритому вентилі, установленому на відводах від магістралі.

Заміняти змінний інструмент при відкритому повітряному вентилі або працюючому електроінструменті забороняється. Застосовувати для відігрівання шлангів гарячу воду, пару або відкритий й вогонь не допускається.

При роботі з механізованим інструментом не допускаються зовнішні механічні навантаження електропроводів або повітряних шлангів.

Міри пожежної безпеки

Категорія приміщення цеху по вибухопожежної безпеки:

Г- будинок з опанувати речовинами, матеріалами в нагрітому й распыленном стані.

Ступінь вогнестійкості приміщення цеху:

II- будинок з несучими конструкціями із природних або штучних, кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових або опанувати матеріалів.

Межі вогнестійкості конструкцій:

- несучі й сходові клітки - 2 години;
- самонесучі - 1 година;
- зовнішні ненесучі - 0,25 години;
- внутрішні несучі - 2 години;
- сходові площадки, сходи, балки, марші сходових кліток - 1 година;
- плити, настили й інші ненесучі конструкційні перекриття - 0,75 години.

Рішення по захисту навколишнього середовища

Для вловлювання пилу й шкідливих газів у цеху передбачені газоочистки. Загальна продуктивність газоочистки становить 500000м³/годину. Запиленість газоповітряної суміші перед рукавним фільтром-до 1,5 г/м³, залишкова запиленість газів після рукавного фільтра до 50 мг/м. Мінімальна ефективність газоочистки — 96,7%,максимальна-99%.

Відбір викидів газів здійснюється через аспіраційний зонд, встановлений над устаткуванням. Гази надходять у загальний газовідвід, по якому направляються на очищення в рукавний фільтр ФРИР-7000.

Регулювання продуктивності газоочистки й відсікання вентиляторів здійснюється за допомогою напрямних апаратів і дросельних клапанів, які встановлені на вході й нагнітанні вентиляторів.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі наведено огляд і аналіз волочильного обладнання. В якості об'єкту дослідження прийнято привод прямолінійного волочильного стану. Наведено розрахунки найбільш навантажених вузлів і деталей приводу. Проведено оцінка ремонтпридатності обладнання ділянки волочіння. Розроблено заходи технічного обслуговування та ремонтів ділянки прямоточного волочіння. Складено графік проведення капітального ремонту. Обґрунтовано чисельність ремонтного персоналу. Проведено розрахунок кількості запчастин із використанням показників надійності.

Ключові моменти, які слід враховувати для забезпечення ремонтпридатності приводу волочильного стану.

Регулярне технічне обслуговування, а саме: регулярні технічні обслуговування приводу, перевірка стану та працездатність механізмів, заміна зношених або пошкоджених деталей.

Моніторинг технічного стану, а саме: застосування системи моніторингу для відстеження параметрів приводу, таких як температура та вібрація, використання датчиків для вчасного виявлення потенційних проблем.

Резервування деталей, а саме: підтримка запасу резервних деталей, щоб швидко замінювати зношені або деталі що вийшли з ладу, забезпечення наявності необхідного інструменту для проведення ремонтних робіт.

Наявність документації та інструкцій, а саме: складання документації про ремонтні роботи, для полегшення процес діагностики та усунення проблем, складання чітких інструкцій з обслуговування та ремонту приводу.

Проведення навчання персоналу, а саме: навчання персоналу правильних методів технічного обслуговування та проведення ремонтних робіт, проведення регулярних тренінгів підвищення кваліфікації співробітників та техніки безпеки.

Догляд за системою охолодження та змащення, а саме: підтримка ефективної системи охолодження та змащування для зменшення зносу та температурних навантажень на привод.

Список використаної літератури

1. Технологія волочіння металу: навч. посібник / В. О. Ніколаєв; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2003. - 155 с.
2. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : Підручник. – 4-е вид.,перероб. І доп. – Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. – 379 с.
3. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В.Я. Технічне діагностування механічного обладнання: Підручник. - : ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2007. – 447 с.
4. ДСТУ EN 60706-2:2022. Ремонтпридатність обладнання - Частина 2: Вимоги до ремонтпридатності та дослідження на етапі проектування та розробки.
5. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 1. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.- 574с. ISBN 978-966-2781-12-0 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
6. Жук А.Я., Бойко О.В., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 2. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.-542с. ISBN 978-966-2781-13-7 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
7. Монтаж металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2018р.- 330с. ISBN 978-617-7582-44-0. Режим доступу URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2018_330.pdf
8. Білодіденко С. В., Біліченко Г. М., Гануш В. І. Періодичність діагностування механічних систем : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2017. 89 с.
9. Технічне обслуговування металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 288с. ISBN 978-617-7582-07-5.

10. Ремонт металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 236с. ISBN 978-617-7582-08-2. Режим доступу URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2017_236.pdf
11. Заблонский К.І. Деталі машин: Підручник. – Одеса: Астропринт, 1999. – 404с.
12. Кирилюк Ю.Є. Допуски та посадки. Довідник. К.: Вища школа, 1999. - 135с.
13. Гребінник В.М., Іванченко Ф.К. , Ширяєв В.І. Розрахунок металургійних машин та механізмів. К.: Вища школа, 1988. - 383 с.
14. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посіб. / П. І Літовченко, Л. П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с.
15. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.
16. Тарасенко О. Ю. Стратегічний розвиток металургійної галузі України на основі підвищення інноваційного потенціалу. Менеджер. 2014. №2(68). С. 114–118.
17. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України : загальна характеристика та сучасний стан розвитку. Науковий вісник Ужгородського національного університету. 2019. Вип. 23. Частина 1. С. 162–166.
18. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237 та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.
19. Геврик Є.О. Охорона праці: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

ДОДАТКИ

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Креслення загального виду	1	A1
2	Складальні креслення	2	A1
3	Деталювання	1	A3
4	Плакати дослідницької частини	1	A1
5	Специфікації	3	A4