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 Дослідження зносостійкості шпиндельних пристроїв безперервного стану гарячої прокатки

Виконав: магістрант групи 8.1333
Євчак С.Я.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)
спеціалізація
-
.
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма
Металургійне обладнання
(шифр і назва)

Керівник Таратута 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. Потебні .

Кафедра металургійного обладнання .

Рівень 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
_____
“____”_____2024 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

Євчак Сергій Ярославович
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Дослідження зносостійкості шпиндельних пристроїв безперервного стану гарячої прокатки.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу: від “28.02.2024 року

№ 359 – с.

2. Термін подання студентом роботи 02.12.2024 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи технічні показники лінії прокатної кліті №5 безперервного стану гарячої прокатки.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд обладнання безперервного стану гарячої прокатки. 2. Розрахунок навантажень та силових параметрів. 3. Дослідження зносостійкості шпиндельних пристроїв прокатної кліті. 4. Охорона праці та техногенна безпеки. Висновки та рекомендації.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. Креслення загального виду – 4 шт ; 2. Складальні креслення та деталювання -5 шт; 3. Креслення та плакати дослідницької частини – 2 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	01.09.2024 – 02.10.2024	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	02.10.2024 – 15.10.2024	
3	Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи	15.10.2024 – 20.11.2024	
4	Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	20.11.2024 – 01.12.2024	
5	Написання та оформлення кваліфікаційної роботи	01.11.2024 – 01.12.2024	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами	20.10.2024 – 01.12.2024	
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.11.2024	
8	Переплітання роботи	25.11.2024	
9	Захист проекту у ЕК	Згідно з графіком	

Студент _____ Євчак С.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____ К.В. Таратута
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Євчак С. Я. Дослідження зносостійкості шпиндельних пристроїв безперервного стану гарячої прокатки.

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. Об’єктом дослідження є безперервний стан 1680 ПАТ МК «Запоріжсталь». Мета роботи – зниження зносу та підвищення тривалості роботи вкладишів шпиндельного пристрою.

Метод дослідження – визначення та аналіз закону зношення вкладишів шляхом математичної обробки даних про заміну вкладишів на ПАТ «Запоріжсталь». Недосконалістю даної конструкції є інтенсивний знос вкладишів, недосконаліть системи змащення. Було встановлено закон зносу вкладишів та побудовано графічну залежність зносу вкладишів у часі.

За результатами досліджень було запропоновано замінити систему змащення на більш досконалу.

Результати роботи можуть бути запропоновані для впровадження в цеху гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь» та на інших аналогічних станах металургійної промисловості.

Ключові слова: ШПИНДЕЛЬ, ВКЛАДИШ, ЗНОС, КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ, СИСТЕМА ЗМАЩЕННЯ, ПРОКАТНИЙ СТАН, НАПРАЦЮВАННЯ ДО ВІДМОВИ

ABSTRACT

Yevchak S.Ya. Study of Wear Resistance of Spindle Devices in the Continuous Hot Rolling Mill.

Graduation qualification work for obtaining a master's degree in specialty 133 - Industrial Engineering, supervisor K.V. Taratuta. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute. Department of Metallurgical Equipment, 2024.

Object of Research: the 1680 continuous rolling mill at PJSC "Zaporizhstal."

Objective of the Work: to reduce wear and extend the service life of the spindle device bearings.

Research Method: determination and analysis of the wear pattern of bearings through mathematical processing of data on bearing replacements at PJSC "Zaporizhstal." The design's imperfection lies in the intensive wear of bearings and an inadequate lubrication system. A wear pattern for the bearings was established, and a graphical dependency of bearing wear over time was developed.

Based on the research results, it was proposed to replace the lubrication system with a more advanced one.

The findings of this work can be recommended for implementation in the hot rolling mill at PJSC "Zaporizhstal" and in other similar mills in the metallurgical industry.

Keywords: SPINDLE, BEARING, WEAR, CORRELATION ANALYSIS, LUBRICATION SYSTEM, ROLLING MILL, TIME-TO-FAILURE

ЗМІСТ

Вступ 8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 10
1.1 Загальні відомості про підприємство ПАТ „Запоріжсталь” 11
1.2 Цех гарячої прокатки 13
1.2.1 Характеристика основних виробів цеху 13
1.2.2 Вантажопотоки цеху гарячої прокатки 14
1.3 Технологія виробництва листа в ЦГП 14
1.4 Основне й допоміжне механічне устаткування цеху 18
1.5 Недоліки в роботі обладнання цеху гарячої прокатки 27
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 30
2.1 Огляд конструкцій шпиндельних пристроїв станів гарячої прокатки 30
2.2 Вибір електродвигуна робочої кліті стана 33
2.3 Розрахунок елементів універсального шпинделя 36
2.3.1 Розрахунок лопаті муфти 36
2.3.2 Розрахунок вилки шарніра з боку валка 42
2.3.3 Розрахунок геометричних характеристик перетину I-I 47
2.3.4 Розрахунок геометричних характеристик перетину II-II 52
2.3.5 Розрахунок геометричних характеристик перетину III-III 55
2.4 Розрахунок проміжного вала між електродвигуном та редуктором 58
2.5 Розрахунок довговічності підшипників шестеренного валка зі сторони редуктора 60
2.6 Висновки з розрахунків та впровадження модернізації 61
3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА 63
3.1 Огляд питання надійності вкладишів універсальних шпинделів 63
3.2 Розрахунок параметрів надійності універсальних шпинделів приводу чистової кліті №5 стану 1680 68
3.3 Визначення закону зносу вкладиша за допомогою кореляційного аналізу. 79

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 85
4.1 Аналіз умов праці 85
4.1.1 Характеристика ступеня важкості праці 85
4.1.2 Оцінка шкідливих і небезпечних факторів виробництва, які впливають на чергового слюсаря 86
4.2 Дослідження засобів захисту 90
4.2.1 Об'ємно-планувальні рішення будинків і споруджень цеху 90
4.2.2 Опалення й вентиляція 90
4.2.3 Природне й штучне висвітлення 92
4.2.4 Побутові й допоміжні приміщення 94
4.2.5 Виробничий шум і вібрація 95
4.2.6 Виробничі випромінювання 96
4.2.7 Заходи безпеки праці 97
4.2.8 Пожежна безпека 97
4.2.9 Розрахунок пеногенераторів маслопідвалу 98
4.3 План ліквідації аварії 99
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 106
ЛІТЕРАТУРА 107
ДОДАТКИ 110

ВСТУП

Актуальність теми.

Для збільшення якості металу, а також технічного обладнання галузі необхідно активно обновлювати застарілі виробничі фонди, упроваджувати прогресивні технології та обладнання, вдосконалювати структуру виробництва.

Для того щоб застарілі машини і агрегати відповідали вимогам сучасного часу, вони повинні мати високі техніко - економічні показники та бути більш продуктивними в порівнянні з машинами цього призначення в світовій практиці. Підвищення техніко - економічних показників досягається за рахунок модернізацій.

Прокатка з усіх способів обробки металів користується великим розповсюдженням, так як вона має великий відсоток продуктивності та безперервність технологічного процесу.

Сучасні прокатні стани представляють собою повністю механізовані й автоматизовані лінії.

В сучасному металургійному машинобудуванні підвищення зносостійкості, довговічності машин і агрегатів являється одним з актуальних напрямків технологічного прогресу.

Також одним з головних факторів технологічного прогресу являється перехід з виробництва важких та громіздких машин на виробництво більш сучасних і легких агрегатів, а також впровадження більш автоматизованих механізмів.

Мета та завдання дослідження.

Виявити процеси, які протікають у зоні взаємодії поверхонь пари тертя вкладиш – лопата шпинделя, оцінити силову картину навантаження вкладишів і розробити метод, що дозволяє при більш достовірнім значенням навантаженості вкладишів шпинделя забезпечити необхідну їхню працездатність.

Для досягнення поставленої у роботі мети визначені такі завдання дослідження:

- огляд та класифікація універсальних шпинделів у приводах прокатних станів;

- дослідження навантаження вкладишів шпинделя ;

- отримати дані по напрацюванню до відмови, а також шляхом фізичного експерименту отримати параметр зносу вкладиша до його відмови;

- дослідження зони аварійного зносу вкладишів шпинделя .

Об'єкт дослідження – безперервний стан 1680 ПАТ МК «Запоріжсталь».

Предмет дослідження – дослідження зносостійкості шпиндельних пристроїв.

Методи дослідження включають математичну обробку даних за допомогою програми Excel, графічний аналіз залежності.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження дають змогу у комплексі розв'язувати проблему зносостійкості шпиндельних пристроїв.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на XVII університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих учених «Молода наука – 2024», що проходила 17-22 квітня 2024 року. Структурні особливості англомовних термінів з машинобудування та їх переклад українською мовою, відображені в тезах доповіді до XV Міжнародній науковій конференції «Іноземна філософія у XXI столітті», яка проходила 24 листопада 2024 року у ЗНУ.

Структура та обсяг роботи. Магістерська випускна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи становить 130 сторінки, 20 таблиць, 24 рисунків, списку використаних джерел, додатків.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про підприємство ПАТ „Запоріжсталь”

Публічне акціонерне товариство “Запорізький металургійний комбінат “Запоріжсталь” ім.С.Орджонікідзе” - одне з найбільш великих промислових підприємств України, продукція якого добре відома й користується попитом у споживачів на внутрішньому ринку й у багатьох країнах миру.

Комбінат «Запоріжсталь» створений на базі сировини Криворізького залізно-рудного басейну. Будівництво комбінату було почато в 1930 році на підставі рішення Верховної Ради народного господарства СРСР від 3 травня 1930 року й мало на меті забезпечення потреб машинобудівної промисловості, що бурхливо розвивається, листовим металом для виробництва автомобілів, тракторів, залізничних вагонів й іншої техніки.

16 листопада 1932 року був виданий перший чавун, а в 1935 році дала плавку перша мартенівська піч, а в 1935 році почав працювати слябінг. У наступні роки були побудовані й уведені в експлуатацію цеха для виробництва гарячекатаного й холоднокатаного листа.

Робота комбінату була перервана після нападу фашистської Німеччини.

18 серпня 1941 року робота комбінату була припинена, у плині півтора місяців, в умовах Фронту, запоріжсталевці, проявляючи мужність і героїзм, демонтували й вивезли на схід все встаткування заводу.

За короткий період окупації Запоріжжя німецько-фашистські загарбники знищили завод дощенту.

У жовтні 1943 року відразу ж після звільнення від загарбників міста, вироблялося відновлення заводу.

Уже у вересні 1947 року завод відвантажив перший ешелон листової сталі автомобільним підприємствам міст Москви й Горького. Були реконструйовані три доменні печі зі збільшенням їхнього обсягу, п'ять мартенівських печей переведені на дрібну садку.

В 1962 році почав працювати найбільший у Європі ливарний цех, що робить виливниці.

Комбінат «Запорожсталь» є одним з основних постачальників високоякісного листового металу для потреб машинобудування, поставляє економічні гнуті профілі, жерсть для потреб харчової промисловості.

Комбінат «Запоріжсталь» експортує свою продукцію в багато країн миру. Запорізький чавун, лист, виливниці охоче купують у Кореї, Індії, Пакистані, Туреччині, Англії, що розвиваються країни Близького Сходу й інші країни миру.

Комбінат робить високоякісний листовий прокат (гарячекатаний і холоднокатаний) товщиною 0,5-0,7 мм із вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей.

Основними споживачами продукції комбінату є підприємства автомобільного, авіаційного, сільськогосподарського, транспортного машинобудування, виробники зварених труб, виробів побутової техніки й інших.

Комбінат “Запоріжсталь” складається з 6 основних й 27 допоміжних цехів у яких трудяться 9400 чоловік. Щорічно підприємство робить 3,2 млн. тон чавуну, 2,9 млн. тон сталі та 2,4 млн. тон прокату.

Основними цехами комбінату є:

- доменні;
- сталеливарний;
- прокатні.

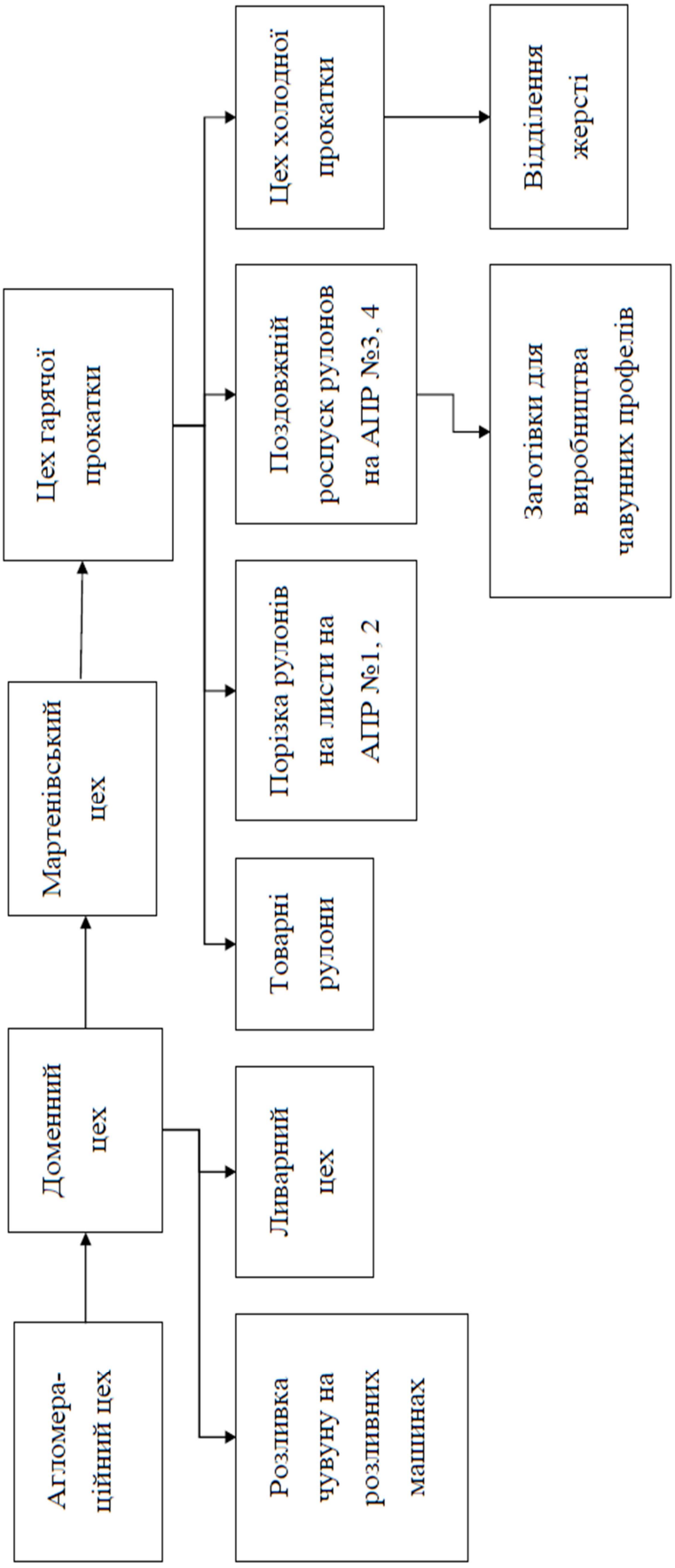


Рисунок 1.1 Технологічна схема виробництва ПАТ «Запоріжсталь»

1.2 Цех гарячої прокатки

1.2.1 Характеристика основних виробів цеху

Тонколистовий стан було введено в експлуатацію 1 травня 1938 року. Безперервний стан гарячої прокатки тонколистового металу типу "1680", що має виробничу потужність 3,0 млн тон на рік, виготовляє смуги товщиною від 2,0 до 7,0 мм, шириною 1000-1500 мм, масою рулону до 16,0 тон.

Цех гарячої прокатки обладнаний установками, що дозволяють випускати прокат як в листах довжиною до 5850 мм, так і в рулонах шириною від 1000 до 1500 мм з внутрішнім діаметром 750 мм.

Товщина гарячекатаного листа варіюється в межах від 2,0 до 6,0 мм залежно від вимог замовника.

На трьох профілезгинальних агрегатах виготовляється понад 500 видів сортових (куточки, швелери тощо) та спеціальних фасонних профілів із вуглецевої, низьколегованої та нержавіючої сталі. Товщина стінок профілю становить від 1,0 до 7,0 мм, а ширина розгортання профілю сягає 1450 мм.

Таблиця 1.1 Розміри прокату виробів цеху

Геометричні розміри виробленого прокату, мм	
Гарячекатаный прокат	
Листи	Рулони
2,0...2…2,5 ×1000 … 1260 ×1800…4000	1,80...2…2,5 ×1000…1250
2,6...3…3,0 ×1000 … 1400 ×1800…5000	2,60...3…3,0 ×1000…1400
3,1...3…3,9 ×1000 … 1500 ×1800…5850	3,10...3…3,9 ×1000…1500
4,0...8…8,0 ×1000 … 1500 ×1800…5850	4,00...8…8,0 ×1000…1500

Гарячекатаний лист користується найбільшим попитом серед підприємств вагонобудівної та машинобудівної промисловості. Гарячекатаний рулон переважно застосовують для виготовлення круглих та профільних електрозварювальних труб малого і середнього діаметра, а також для

подальшого нарізання на листи. Завдяки високій міцності та іншим цінним характеристикам цей вид продукції широко застосовується у будівництві, а також для виготовлення зварних металоконструкцій, клепаних і болтових елементів та з'єднань [1].

1.2.2 Вантажопотоки цеху гарячої прокатки

Сировиною для цеху гарячої прокатки (ЦГП) є сляби, які надходять із обтискної ділянки цеху. Постачання слябів залежить виключно від обсягу металу, що підлягає прокатці.

Під час прокатки слябів на стані НТЛС-1680 не вся сировина перетворюється на готовий лист. Частина маси втрачається у вигляді відходів, які виникають через аварії, обрізання кінців листа ножицями перед чистовою групою клітей, а також під час повторного обрізання кінців після змотування листа в рулон.

У ЦГП листовий метал відвантажується як у рулонах, так і в пачках (листи, порізані на потрібну замовником довжину). Рулони спрямовуються на подальшу обробку в цехи холодної прокатки або відправляються замовникам. Пачки листового металу постачаються виключно замовникам.

1.3 Технологія виробництва листа в ЦГП

На безперервному тонколистовому стані НТЛС-1680 листи виготовляються виключно зі слябів, розміри яких варіюються в широкому діапазоні. Довжина слябів залежить від розмірів нагрівальних печей і становить від 1800 мм до максимальних 9200 мм. Ширина слябів знаходиться в межах 1500–1560 мм, а їхня максимальна товщина досягає 160 мм. Для підігріву слябів використовуються п'ятизонні методичні печі, оснащені керамічними рекуператорами, які забезпечують нагрів повітря до 850 °С. Як паливо в печах застосовуються природний газ, коксовий газ, змішані гази та мазут. Нормальна

продуктивність печей при холодному завантаженні становить 95 тон, а при гарячому – 200 тон. Усього на стані функціонує п’ять нагрівальних печей.

Першою кліттю стана є чорновий окалиновідламувач типу дуо, який оснащений валками розміром 1100×2000 мм. За ним розташована кліть із вертикальними валками, яка призначена для зменшення ширини сляба, що дозволяє скоротити сортамент по ширині. Далі йдуть чотири чорнові кліті кварто, перед якими розташовані вертикальні валки розміром 850×450 мм для обтиснення крайок. Привід вертикальних валків кожної кліті здійснюється від електродвигуна постійного струму потужністю 750 кВт.

Перед чистовою групою клітей встановлені летючі ножиці барабанного типу для обрізки кінців прокату.

Чистова група клітей включає окалиновідламувач і шість безперервних клітей кварто (рисунок 1.2). У останній кліті стана швидкість прокатки досягає 10 м/с.

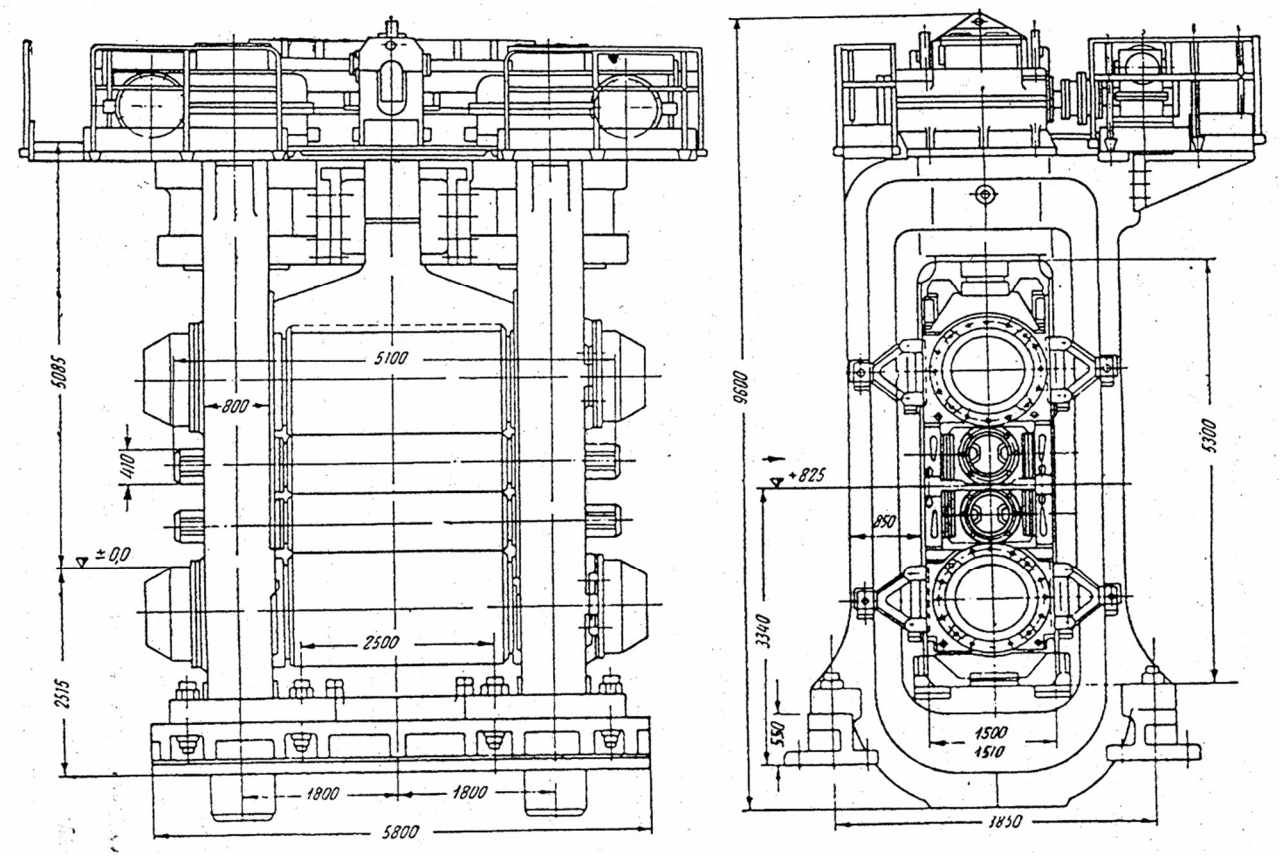


Рисунок 1.2 Кліть кварто НТЛС-1680

Сляби нагрівають до температури 1180–1200 °С, після чого вони виходять із печей, вкриті шаром окалини. Першим етапом прокатки є видалення окалини, щоб уникнути її потрапляння в метал. Для цього перша кліть стана є окалиновідламувачем типу дуо, оснащеним валками діаметром 950–1100 мм. У цій кліті здійснюється обтиснення металу на 5–20%, що забезпечує роздроблення окалини, яка потім видаляється струменем води під тиском 10–12 МПа. Після очищення від окалини метал надходить до уширювальної кліті, де він розкочується завширшки або прокочується "напряму". Перед трьома чорновими клітями встановлені вертикальні валки, які виконують обтиснення бічних країв.

У чистовій групі перша кліть також є окалиновідламувачем, який видаляє окалину, що утворилася під час попередньої прокатки. Перед входом у чистову групу кінці прокату обрізаються летючими ножицями, оскільки вони витягнуті після чорнових клітей. Це обрізання необхідне, оскільки витягнуті кінці можуть ще більше деформуватися в чистових клітях, що призводить до пошкодження валків та порушення процесу прокатки.

Метал проходить через шість чистових клітей кварто, де прокатка супроводжується утворенням петель під натяжкою, що підтримується петлетримачем. Привід валків чорнових клітей забезпечується двигунами змінного струму, а чистових – двигунами постійного струму з регульованою швидкістю. Загальна потужність двигунів стана становить близько 60 000 кВт.

Товщина та ширина смуги, яка виходить із останньої чистової кліті, контролюються автоматично за допомогою рентгенівських мікрометрів.

Після завершення прокатки смуга направляється до моталок. На стані встановлено три моталки, які розташовані послідовно одна за одною нижче рівня рольганга.

ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ТОНКОГО ЛИСТА



Доставка слябів на склад



Зачищення та огляд слябів



Доставка до завантажувального рольганга



Зважування слябів



Нагрівання в методичних печах



Прокатка слябів на стані 1680



Охолодження смуги на відводячому рольгангу водою



Змотування смуги в рулони



Зваження продукції та маркування

Смуга металу проходить по рольгангу та потрапляє в тягнучі ролики, які спрямовують її, згинаючи смугу до барабана. Це досягається завдяки різниці в діаметрах роликів: верхній тягнучий ролик має діаметр 700 мм і зміщений уперед, а нижній — 400 мм. Коли смуга потрапляє між першим формуючим роликом і барабаном, вона закручується та робить перший виток навколо барабана. Після того як утворюється 3–4 витки, формуючі ролики відділяються від барабана за допомогою пневмоциліндра через систему важелів. По завершенню змотування формуючі ролики знову притискаються до рулону, щоб уникнути пошкодження кінця аркуша. Барабан стискається, і рулон знімається за допомогою гідроштовхача, після чого потрапляє на кантувач. З кантувача рулон потрапляє на ланцюговий конвеєр, де його транспортують або на склад, або в цех холодної прокатки, або на обробні агрегати.

1.4 Основне та допоміжне механічне устаткування цеху

Характеристика основного устаткування безперервного тонколистового стана гарячої прокатки “1680”.

Основне обладнання стана поділяється на дві групи клітей:

1. Чорнова група:

- Одна двовалкова кліть.
- Чотири чотиривалкові кліті №1, 2, 3, 4.
- Три вертикальні кліті №1, 2, 3.

2. Чистової групи:

- Одна двовалкова кліть, що функціонує як чистовий окалиновідламувач.
- Шість чотиривалкових клітей №5, 6, 7, 8, 9, 10.

Технічна характеристика допоміжного устаткування безперервного тонколистового стана гарячої прокатки “1680”.

Таблиця 1.2 Характеристика клітей НТЛС-1680

Кліті	Діаметр валків, мм		Довжина бочки валків, мм	Потужність двигунів, квт	Рід струму	Відстань між клітями, м
	Робочих	Опорних				
Черновій окалино-відламувач	900	----------	1680	3680	Перем	6,250
Чорнова кліть №1	940	1320	2440	7360	Перем	17,250
Чорнова кліть №2	850	1240	1680	7360	Перем	15,350
Чорнова кліть №3	593	1240	1680	7360	Перем	15,350
Чорнова кліть №4	593	1240	1680	7360	Перем	17,350
Чистовий окалино-відламувач	700	---------	1680	1200	Пост	47,650
Чистова кліть №5	610	1240	1680	7000	Пост	6,600
Чистова кліть №6	610	1240	1680	7000	Пост	5,500
Чистова кліть №7	610	1240	1680	7000	Пост	6,100
Чистова кліть №8	610	1240	1680	7000	Пост	5,800
Чистова кліть №9	610	1240	1680	7000	Пост	5,600
Чистова кліть№10	610	1240	1680	7000	Пост	5,800

До складу допоміжного устаткування входять такі елементи:

- Лівий і правий рольганги з шлеперними пристроями для транспортування металу.
- Летючі ножиці з додатковими пристроями для порізки гарячекатаних смуг на листи.
- Ножиці з нижнім різом для обрізки кінців смуг.
- Намотувальний пристрій, розташований на лінії лівого рольганга.
- Моталки №1, 2, 3, 4, 5 і 6 для змотування листів у рулони.
- Кантувач рулонів для обертання рулонів після намотування.
- Душуюча установка для охолодження та очищення прокату.
- Відвідний конвеєр для переміщення готової продукції.

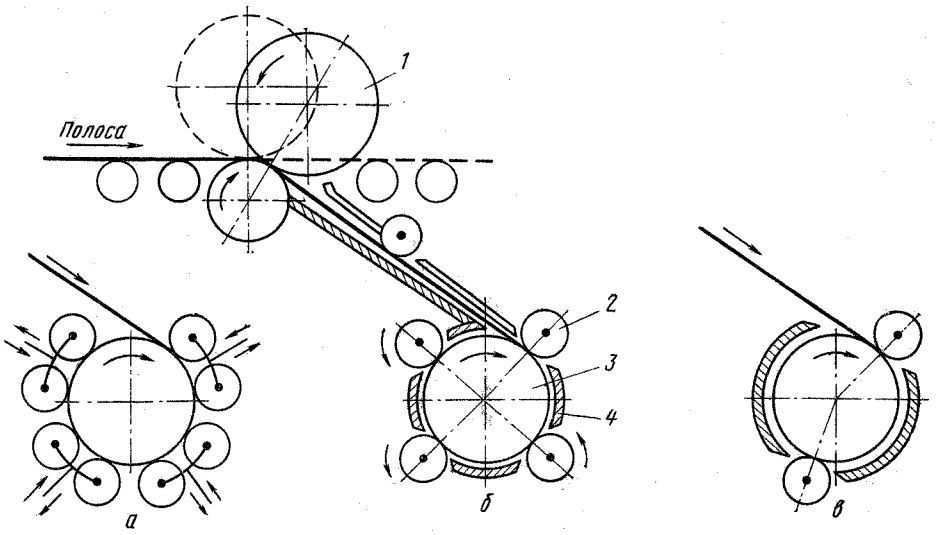
- Підйомно-поворотний стіл для зручного оброблення матеріалів.
- Ваги та прийомний рольганг для контролю за вагою та подачею матеріалу.

Летючі ножиці призначені для різання смуги товщиною в 2…6 мм і шириною 850… 1500 мм на листи довжиною від 1500 до 6000 мм.

Таблиця 1.3 Технічна характеристика летючих ножиць

№ п/п	Найменування	Параметр
1	Тиск, що допускається, на ножі, кг	106594
2	Ухил ножів	1:263
3	Зазор між ножами, мм	0,125
4	Максимальне перекриття ножів, мм	6
5	Швидкість подачі смуги, м/хв	55,5...111,0
6	Діаметр роликів, що подають, мм	221,05
7	Ексцентриситет ротора, мм	245
8	Середнє число різів у хвилину	60

Моталки барабанного типу призначені для створення натягу й змотування смуги в рулон.



1 - ролики, що подають, 2 - формуючі ролики, 3 - барабан, 4 - проводки

Рисунок 1.3 Схеми барабанних моталок

Таблиця 1.4 Технічна характеристика моталки № 1,2,3

№ п/п	Найменування	Параметр
1	Тип	Ролико-барабанні
2	Товщина смуг, що змотують, мм	1,7-9
3	Ширина смуг, що змотують, мм	720-1550
4	Максимальна вага рулону, кг	15000
5	Температура змотування смуг, ^{0}C	500-800
6	Швидкість змотування смуг, м/с	6-15
7	Заправна швидкість, м/с	до 10
8	Діаметр барабана, мм	750 мм
9	Довжина барабана, мм	2150
10	Потужність електродвигуна, кВт	610
11	Число обертів	210/450

Душуюча установка призначена для прискореного охолодження смуг до температур, передбачених технологічною картою виробництва гарячекатаних смуг. Тип охолодження - ламінарний. При цьому вода з ванн верхніх секцій подається на смугу по типі «водяної завіси», а з ванн нижньої секцій по типі «водяного стовпа».

Електро-тензометрична система зважування рулонів призначена для автоматичного вимірювання ваги гарячекатаних рулонів. Вага відображається на циферблаті шкали, а також фіксується на паперовій стрічці для подальшої реєстрації.

Таблиця 1.5 Технічна характеристика електро-тензометричної системи зважування рулонів

№ п/п	Найменування	Параметр
1	Межі зважування, т	0,5-20
2	Похибка, що допускає, кг	+75
3	Кількість рулонів, що зважують одночасно, шт	1
4	Цикл зважування, з	20
5	Потужність електродвигуна, кВт	14
6	Хід вантажної платформи, мм	100

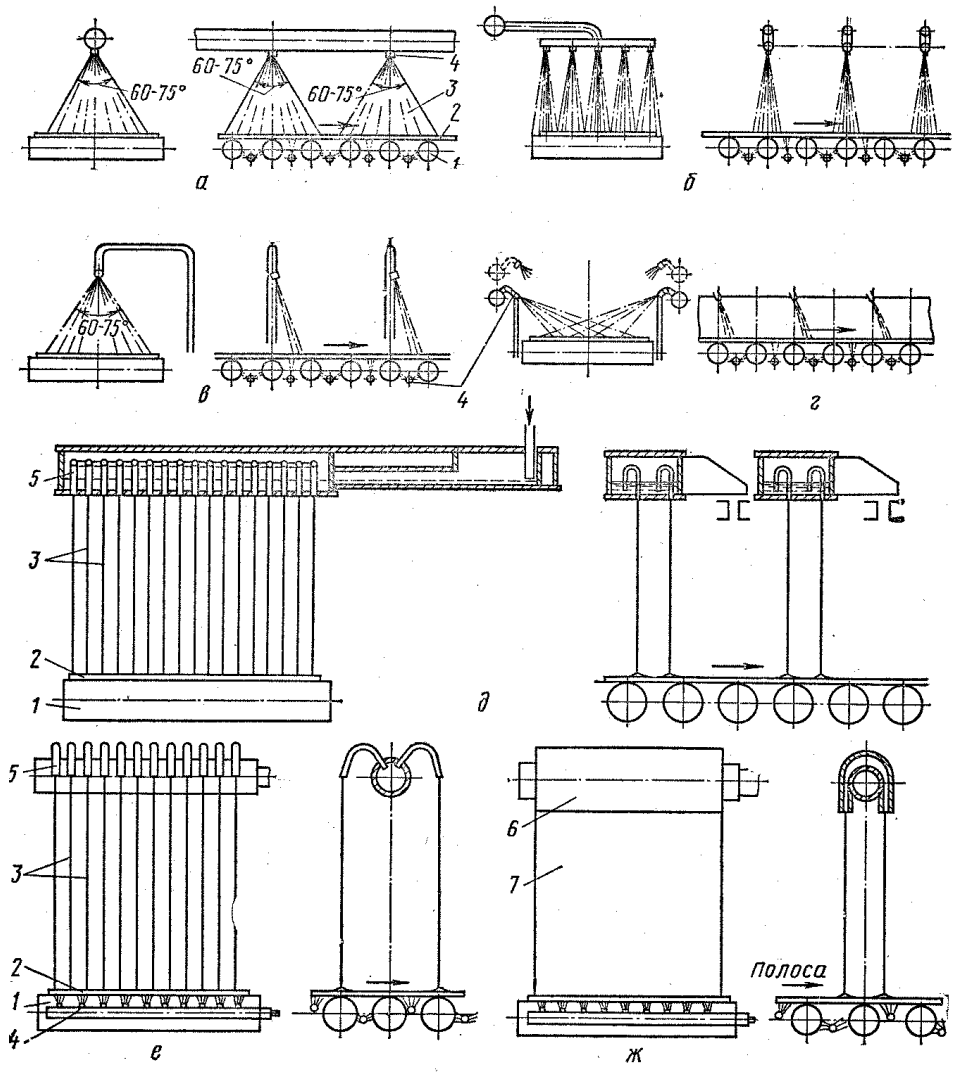


Рисунок 1.4 Схеми способів прискореного, охолодження смуг на листових станах гарячої прокатки

а-в - верхній і нижній зі струменевою подачею води;

г - бічний і нижній зі струменевою подачею води;

д - верхній з ламінарною і нижній зі струменевою подачею води;

е, ж - верхній з ламінарною і нижній зі струменевою подачею води;

1 - рольганг;

2 - охолоджувана смуга;

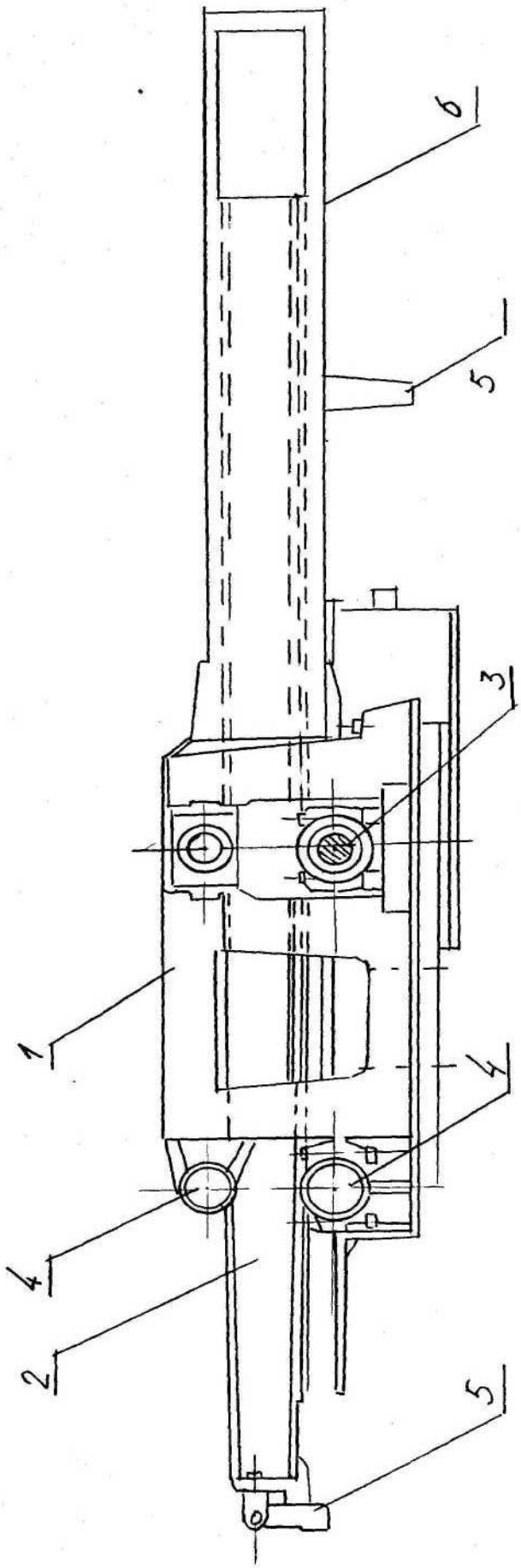
3 - окремі струмені води;

4 - сопла;

5 - сифонні трубки;

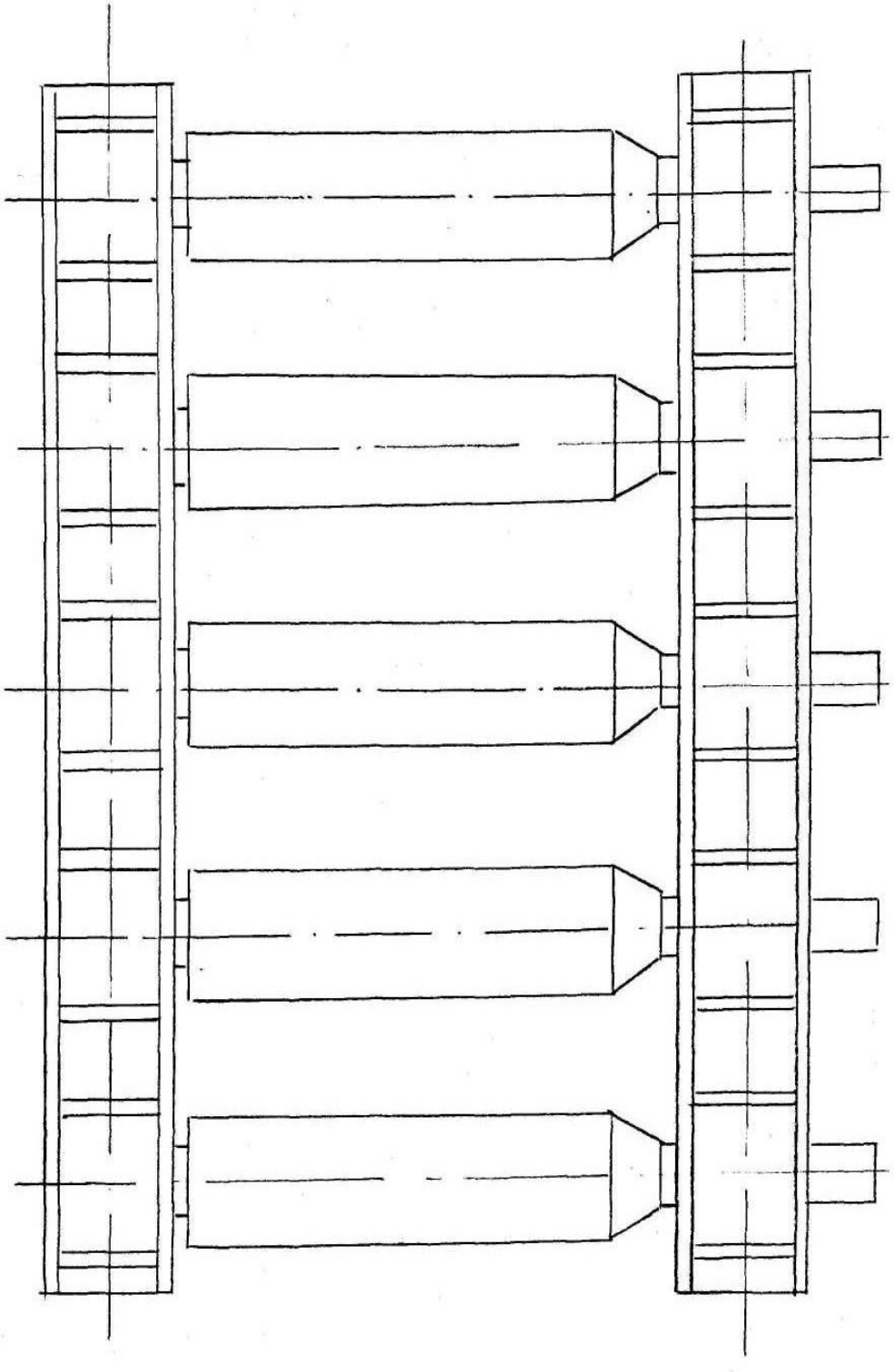
6 - сифонна камера;

7 - суцільний струмінь води, по ширині смуги



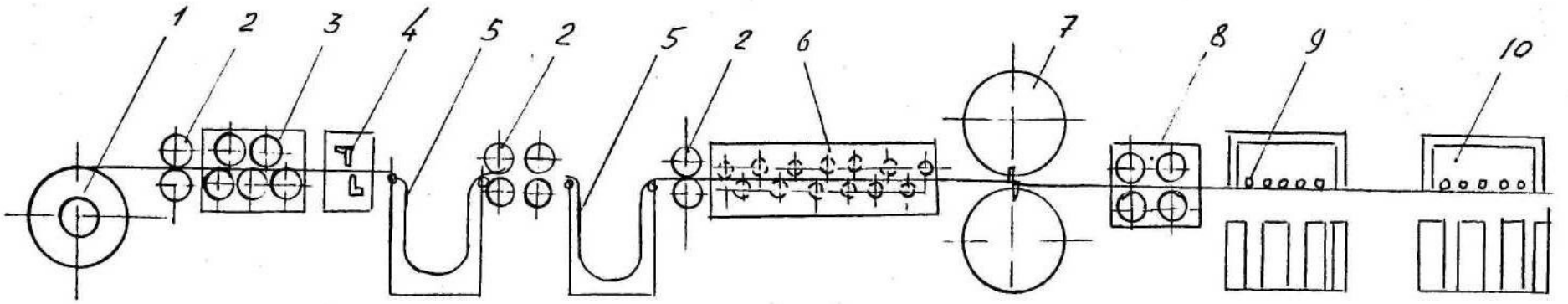
1 – станіна, 2 – штанга, 3 – вал-шестерня, 4 – опорні ролики, 5 – упор, 6 – кожух

Рисунок 1.5 Схема здвоєного рейкового штовхача



1 – рама, 2 – опорні вузли, 3 – ролики

Рисунок 1.6 Схема 5-ти роликовой секції рольгангу



1 – розмотувач, 2 – тянучі ролики, 3 – 5-ти роликова правильна машина, 4 – ножиці с нижним резом,
5 – петлеві ями, 6 – 13-ти роликова правильна машина, 7 – летючі ножиці, 8 – промаслювач,
9 – листоукладчик некондиції, 10 – листоукладач кондиції

Рисунок 1.7 Схема агрегата поперечного розрізу полос

1.5 Недоліки в роботі обладнання цеху гарячої прокатки

Стани безперервної прокатки характеризуються тим, що у випадку виходу з ладу одного з механізмів потокової лінії, зупиняється весь стан. Тому основним заходом щодо усунення “ вузьких місць ” є виконання правил технічної експлуатації, технічного обслуговування й ремонтів всіх механізмів і всього устаткування стана в цілому.

На грубній ділянці “вузьким” місцем є нижній грубний рольганг із груповим приводом роликів через конічні шестірні від трансмісійного валу. Через нерівномірне температурне нагрівання зубчасті зачеплення конічних шестірень швидко зношуються, тому грубний рольганг доцільно виконати як рольганг із груповим приводом від окремих редукторів із циліндричними шестірнями.

На ділянці чистової групи клітей у силових редукторах клітей №5 й №6 швидко виробляються посадкові місця підшипників з - за відсутності подачі змащення. Усунути цей недолік можна наплавленням з наступною точною обробкою посадкових місць під підшипники або ж заміну редукторів. У натискних механізмах зношування бронзових гайок привод до значних витрат по їхній заміні. Значно понизити витрати на заміну гайок натискних механізмів можливо при використанні складених гайок (сталь-бронза); незадовільна робота кулькових шпиндельних пристроїв, заміна їх на універсальні.

Ознайомившись з конструкцією приводу клітей чистової групи стану 1680, були виявленні експлуатаційні та конструктивні недоліки. В приводі клітей чистової групи встановлені шпинделі, з шарнірами універсального типу які мають бронзові вкладиші. Змащення бронзових вкладишів та однорядних конічних підшипників кочення, механізму врівноваження шпинделів, виконується системою змащення «масляний-туман» через маслоканали виконані в головці та тілі шпинделя. Така система змащення – недосконала, спричиняє велику кількість втрат мастила, термін служби комплекту бронзових вкладишів та підшипників майже не

збільшується (порівняно з закладною системою змащення). Універсальні шпинделі обертаються з високими швидкостями, це спричиняє важкість підводу мастила до поверхонь тертя шпиндельного механізму з бронзовими вкладишами на шарнірах, викликає ряд суттєвих недоліків:

– виникає нерівномірне та значне зношення вкладишів, що спричиняє витрати дорогої та дефіцитної бронзи;

– також внаслідок обертаючих коливань та запиленості маслоканалів зменшується зносостійкість бронзових вкладишів;

– в результаті значних швидкостей обертів шпинделя, підшипники механізму врівноваження зазнають значних динамічних навантажень і у разі попадання частин пилу в систему змащення, відбувається підвищене абразивне зношення підшипників, що спричиняє передчасний вихід їх з ладу, аварії та можливі простої виробництва.

Конструкція системи змащення шпинделів є «вузьким» місцем конструкції приводу чистових клітей і складає їх суттєвий недолік.

У хвостовій частині стана “вузьким” місцем є моталки. Найбільше часто виходить із ладу пневматичний циліндр зіштовхувача рулонів і підшипники тягнучих роликів перед моталками. Своєчасна заміна монтажних ущільнень у циліндрі зіштовхувача, реконструкції станин тягнучих роликів із заміною підшипників на більше довговічні дозволить усунути позапланові ремонти.

У приводі летучих ножиць з ковзним кривошипом часто руйнуються підшипник вузла повзуна, зуби шестірень роторних валів, руйнуються шейки колінчастого валу шатуна. Усунення цих недоліків можна одержати шляхом збільшення діаметра шейки колінчастого валу, а також заміною підшипників на більш довговічні.

За умови роботи цеху на повну проектну потужність, подальший зріст його продуктивності обмежується:

1. Недостатньою потужністю нагрівальних засобів, що викликає, крім обмеження обсягу виробництва, затримки злитків перед посадкою в колодязі, а отже перевитрата палива.
2. Недостатньою продуктивністю засобів для подачі злитків від нагрівальних колодязів до стана.
3. Двигуни головного привода стана не дозволяють інтенсифікувати режим обтиснень у горизонтальних клітях стана.
4. Високим ступенем зношеності й недостатньою потужністю ножиць для різання розкату високоміцних сталей.
5. Низькою продуктивністю засобів для збирання обрізі від ножиць у скраповий проліт.
6. Недостатніми площами для складування металу.

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Огляд конструкцій шпиндельних пристроїв станів гарячої прокатки

Універсальні шпинделі — це механічні пристрої, які використовуються для передачі крутного моменту в різних видах обладнання, зокрема в прокатних станах, таких як лінії гарячої прокатки. Вони можуть мати різні конструкційні особливості в залежності від специфікацій і вимог до продуктивності.

Особливості універсальних шпинделів:

Зазвичай використовуються в прокатних клітях для передавання крутного моменту від електродвигуна до робочих валків прокатної кліті.

Шарніри та валки можуть бути оснащені спеціальними вкладками або підшипниками, що зменшують тертя та підвищують зносостійкість.

Конструкція шпинделя часто передбачає використання міцних і легованих сталей, що забезпечує високу міцність і надійність в процесі експлуатації.

Вони можуть витримувати великі механічні навантаження та високі швидкості прокатки. Шарніри шпинделя оснащені бронзовими вкладками (плитами ковзання), що дозволяють працювати шпинделю з кутами нахилу до 8 градусів [6].

Силові деталі шпинделя виготовляються з легованої високопрочній конструкційної сталі методом кування з подальшою термічною та механічною обробкою.

Переваги універсальних шпинделів:

Простота в обслуговуванні та ремонті.

Висока надійність в умовах важких навантажень.

Здатність до роботи з великими кутами нахилу та швидкостями.

Завдяки цим характеристикам універсальні шпинделі широко застосовуються в прокатних станах для забезпечення ефективного та безперебійного процесу прокатки.



Рисунок 2.1 Універсальний шпиндель чорнової кліті з бронзовими вкладками ковзання.

Універсальний шпиндель чорнової кліті з бронзовими вкладками ковзання — це ключовий елемент у конструкції прокатних станів, що забезпечує передачу крутного моменту від електродвигуна до робочих валків чорнової кліті. Основні характеристики такого шпинделя:

- Бронзові вкладки ковзання: забезпечують зменшення тертя між рухомими частинами шпинделя, що дозволяє зменшити знос і підвищити ефективність роботи при високих навантаженнях.

- Гнучкість конструкції: завдяки таким вкладкам шпиндель здатний працювати при великих кутах нахилу, що дозволяє йому адаптуватися до різних умов експлуатації.

- Міцність: силові деталі шпинделя виготовляються з легованої високопрочній конструкційної сталі, що забезпечує тривалий термін служби та надійність в умовах інтенсивної роботи.

- Підходить для важких умов роботи: шпиндель здатний витримувати великі навантаження і працювати при швидкостях до 6 м/с, що є важливим для процесів гарячої та холодної прокатки.

Такі шпинделі широко використовуються на чорнових клітях безперервних стана для прокатки товстих смуг, оскільки вони забезпечують

надійне з’єднання між валками і електродвигуном, що сприяє стабільній і ефективній роботі прокатного процесу.

В приводі клітей чистової групи встановлені шпинделі (рис. 2.2), з шарнірами універсального типу 1 які мають бронзові вкладиші 2. Змащення бронзових вкладишів та однорядних конічних підшипників кочення 3, механізму врівноваження шпинделів 4, виконується системою змащення «масляний-туман» через маслоканали 5 виконані в головці та тілі шпинделя.

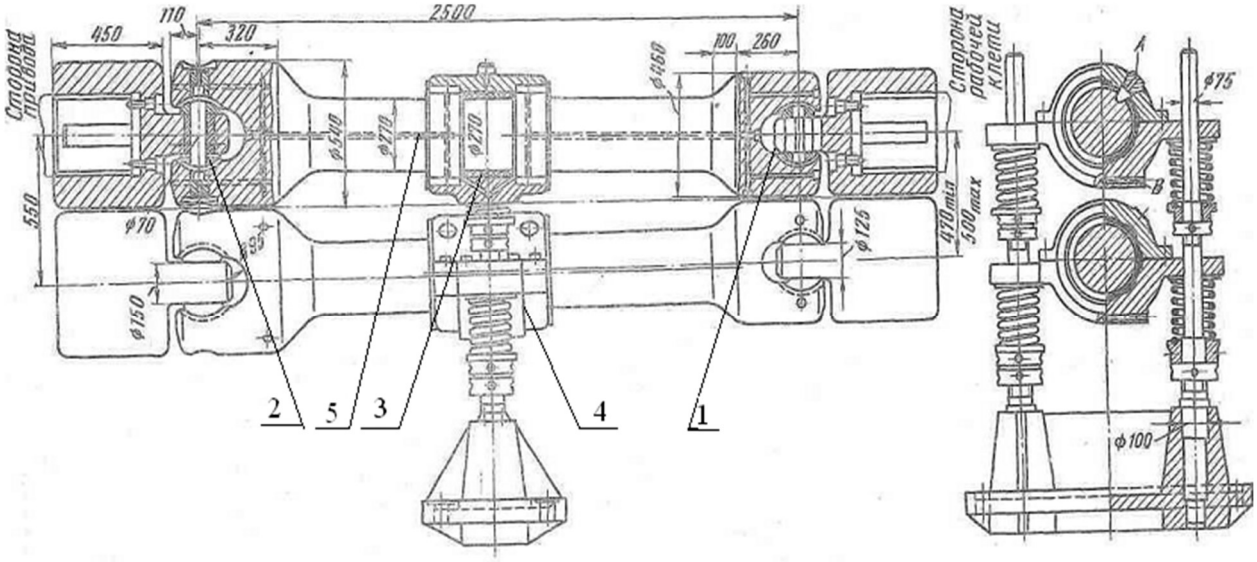


Рисунок 2.2 Схема шпиндельного з’єднання.

Універсальний шпиндель стану гарячої прокатки складається з кількох ключових елементів, що забезпечують його ефективну роботу при передачі крутного моменту від електродвигуна до робочих валків прокатної кліті. Основні елементи універсального шпинделя включають:

- Шпиндельна головка — це основна частина шпинделя, яка розташовується в центрі конструкції і здійснює обертання. Вона може мати різні діаметри, зазвичай від 300 до 1600 мм, залежно від потужності стану.

- Шарнірні з'єднання — забезпечують передачу крутного моменту через рухливі елементи. Шарніри можуть бути оснащені бронзовими вкладками ковзання, що зменшують тертя і підвищують зносостійкість.

- Вал шпинделя — частина, що передає обертання до робочих валків. Він виготовляється з високоякісної сталі для забезпечення міцності і витривалості при високих навантаженнях.

- Ковзаючі вкладиші (бронзові плити ковзання) — використовуються в з'єднаннях шпинделя для зменшення тертя і забезпечення плавної роботи при великих кутах нахилу. Вони дозволяють шпинделю працювати з нахилом до 8 градусів, що важливо для гнучкості в прокатному процесі.

- Підшипники — забезпечують підтримку та фіксацію шпинделя в робочому положенні, зменшують тертя і допомагають підтримувати стабільність обертання.

- Шестерні і механізми приводу — використовуються для передачі обертання від електродвигуна до шпинделя, забезпечуючи точний контроль швидкості обертання та крутного моменту.

- Система охолодження — для запобігання перегріву шпинделя та його елементів у процесі роботи на високих температурах.

- Вхідні і вихідні вали — передають обертання від електродвигуна до основних елементів шпинделя, забезпечуючи передачу крутного моменту.

Ці елементи працюють разом для забезпечення ефективної та надійної роботи шпинделя під час гарячої прокатки, де важлива точність і стійкість до великих навантажень та температур [1].

2.2 Вибір електродвигуна робочої кліті стана

Момент $M_{дв}$ під час прокатки, наведений до валу електродвигуна складається з:

– моменту деформації, $M_д$;

– моменту тертя в підшипниках, $МТ_1$;

– моменту тертя в передавальних механізмах головної лінії, $МТ_2$;

– моменту холостого ходу, $M_{хх}$.

Момент деформації визначать по методу плеча моменту, виразивши плече рівнодіючої сили прокатки через коефіцієнт плеча моменту ψ :

$$M_д = 2 \cdot P \cdot \psi \cdot l_д, \qquad (2.1)$$

де ψ - коефіцієнт плеча, приймається в межах 0,5...0,25;

P = 30 МН– мінімальне розрахункове припустиме зусилля;

$l_д$ = 45,23 мм – довжина дуги деформації.

$$M_д = 2 \cdot 30 \cdot 0,25 \cdot 0,04523 = 0,64 \text{ МНм}$$

Момент тертя в підшипниках:

$$M_{T1} = P \cdot f_П \cdot d_П \frac{D_P}{D_O}, \qquad (2.2)$$

де $f_П$ = 0,004 – коефіцієнт тертя в підшипниках валків;

$d_П$ = 840 мм – діаметр тертя в підшипниках валків;

D_O = 1240 мм – діаметр бочки опорного валка.

D_P = 620 мм – діаметр бочки робочого валка.

$$M_{T1} = 11,8 \cdot 0,004 \cdot 0,840 \cdot \frac{0,620}{1,240} = 0,048 \text{ МНм}$$

Момент тертя в передавальних механізмах головної лінії, визначається за допомогою коефіцієнта корисної дії й рівняється:

$$M_{T2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \cdot \frac{M_Д + M_{ОЛ}}{i}, \qquad (2.3)$$

де i = 7,23 - передаточне число привода;

η = 0,9 - ККД приводу.

$$M_{T2} = \left(\frac{1}{0,9} - 1\right) \cdot \frac{0,64 + 0,048}{7,23} = 0,01 \text{ МНм}$$

Потрібно враховувати також момент, використовуваний тільки для привода валків, тобто момент холостого ходу, що дорівнює:

$$M_{XX} = 0,02 \cdot (M_д + M_{T1} + M_{T2}), \qquad (2.4)$$

$$M_{XX} = 0,02\cdot(0,64+0,048+0,01) = 0,014 \text{ МНм}$$

Таким чином, момент під час прокатки, наведений до валу електродвигуна дорівнює:

$$M_{ДВ} = \frac{M_Д + M_{T1}}{\eta \cdot i} + M_{T2} + M_{XX}, \qquad (2.5)$$

$$M_{ДВ} = \frac{0,64 + ,048}{0,9\cdot 7,23} + 0,01 + 0,014 = 0,13 \text{ МНм}$$

Потужність електродвигуна під час прокатки визначається:

$$P_{дв} = M_{дв}\cdot\omega_{дв}, \qquad (2.6)$$

де $\omega_{дв} = 65,94$ з$^{-1}$ – кутова швидкість двигуна:

$n_{дв} = 630$ хв^{1}.

$$P_{дв} = 0,13\cdot 65,94 = 8,572 \text{ МВт} = 8572 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт перевантаження по потужності визначаємо за формулою:

$$K_П = \frac{P_{ДВ}}{P_{НОМ}} \le [K_П], \qquad (2.7)$$

де $P_{дв} = 8572$ кВт– розрахункова потужність;

$P_{ном} = 7000$ кВт – номінальна потужність;

$[К_п] = 2$ – припустимий коефіцієнт перевантаження.

$$K_П = \frac{8572}{7000} = 1,23 < [K_П] = 2$$

Умова виконана.

Обрано електродвигун AMZ 1600 FF 12 з паспортними даними, наведеними в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані електродвигуна постійного струму з незалежним порушенням типу AMZ 1600 FF 12.

Потужність двигуна, P, кВт	Напруга, V, В	Сила струму, I, А	Частота обертання валу, n, об/хв		Напруга обмотки незалежного збудження, В	Номінальна сила струму обмотки незалежного збудження, $I_{ов}$, А
			min	max		
7000	3000	2330	50	630	145	40

2.3 Розрахунок елементів універсального шпинделя

Шпиндельне з'єднання призначене для передачі обертового моменту від електродвигуна через редуктор та шестеренну кліть до робочих валків стану 1680. Максимальний робочий обертовий момент М = 280 кН·м. Короткочасний максимальний момент $M_{КР}$ = 400 кН·м.

Метою роботи є розрахунок на міцність основних елементів шпиндельного пристрою кліті 1680.

Вихідні дані:

Тип шпинделя - шарнірний із бронзовими вкладишами.

Максимальний робочий обертовий момент переданий одним шпинделем –280 кН·м.

Максимальний короткочасний обертовий момент – 400 кН·м.

Режим роботи - нереверсивний.

Зрівноважування шпинделя - пружинне.

Максимальний робочий кут перекосу в шарнірах - 3^0.

2.3.1 Розрахунок лопаті муфти

Матеріал 40ХНМ2МА, ГОСТ 4543-71 ($\sigma_T \geq 600$ МПа) ($\sigma_B \geq 750$ МПа).

Ескіз лопаті із вказівкою перетинів, у яких визначаються напруги, наведений на рисунку 2.3.

Лопаті шарніра сприймають із боку вкладиша тиск, розподілений приблизно по трапеції (рис 2.3). Тому рівнодіюча Р тиску на одну галузь лопаті буде зміщена від центра її перетину. Отже, у небезпечних перерізах I-I ,III-III, крім напруги вигину будуть також напруги крутіння.

Зусилля Р при цьому можна визначити з вираження:

$$P = \frac{M}{2 \cdot f_0}, \qquad (2.8)$$

де М = 280кНм – момент, переданий шпинделем;

$$f_0 = \frac{b_0}{3} \cdot \frac{1 - (C_0/b_0)^3}{1 - (C_0/b_0)^2} \qquad (2.9)$$

де b_0 = 0,56 м - повна ширина лопаті;

C_0 = 0,10 м -ширина прорізу.

Підставивши значення у вираження 2.19, одержимо:

$$f_0 = \frac{0,56}{3} \cdot \frac{1 - (0,10/0,56)^3}{1 - (0,10/0,56)^2} = 0,27 \text{ м}$$

Згинальний момент від дії сили Р, при цьому рівняється

$$M_{ИЗГ} = P \cdot x, \qquad (2.10)$$

де х – плече сили Р, рівне х=0,1824 м – для перетину І-І при x_1 = 0,16м;

Значення Р при розрахунковому крутному моменті М = 280 кН·м дорівнює:

$$P = \frac{280 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,27} = 0,5185 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Підставивши значення у вираження 2.20, визначимо згинальний момент у перетині І-І:

$$M_{ИЗГ} = 0,5185 \cdot 10^6 \cdot 0,1824 = 0,09457 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обертовий момент у небезпечному перерізі І-І дорівнює (рис. 4,б)

$$M_{KP} = P \cdot e \qquad (2.11),$$

де $e = f_0 - \frac{b_0 + C_0}{4} = 0,27 - \frac{0,56 + 0,10}{4} = 0,105$ м - ексцентриситет додатка сили;

Підставивши значення у вираження 2.21, одержимо:

$$M_{KP} = 0{,}5185 \cdot 10^6 \cdot 0{,}105 = 0{,}0544 \cdot 10^6 \; H \cdot м$$

Напруга вигину й крутіння для небезпечного переріза I-I визначаються по формулах:

$$\sigma = \frac{6 \cdot M_{ИЗГ}}{b \cdot S^2}, \qquad (2.12)$$

$$\tau = \frac{M_{KP}}{\eta \cdot S^3}, \qquad (2.13)$$

де b=0,23 м – ширина лопаті; S - товщина перетину лопаті;

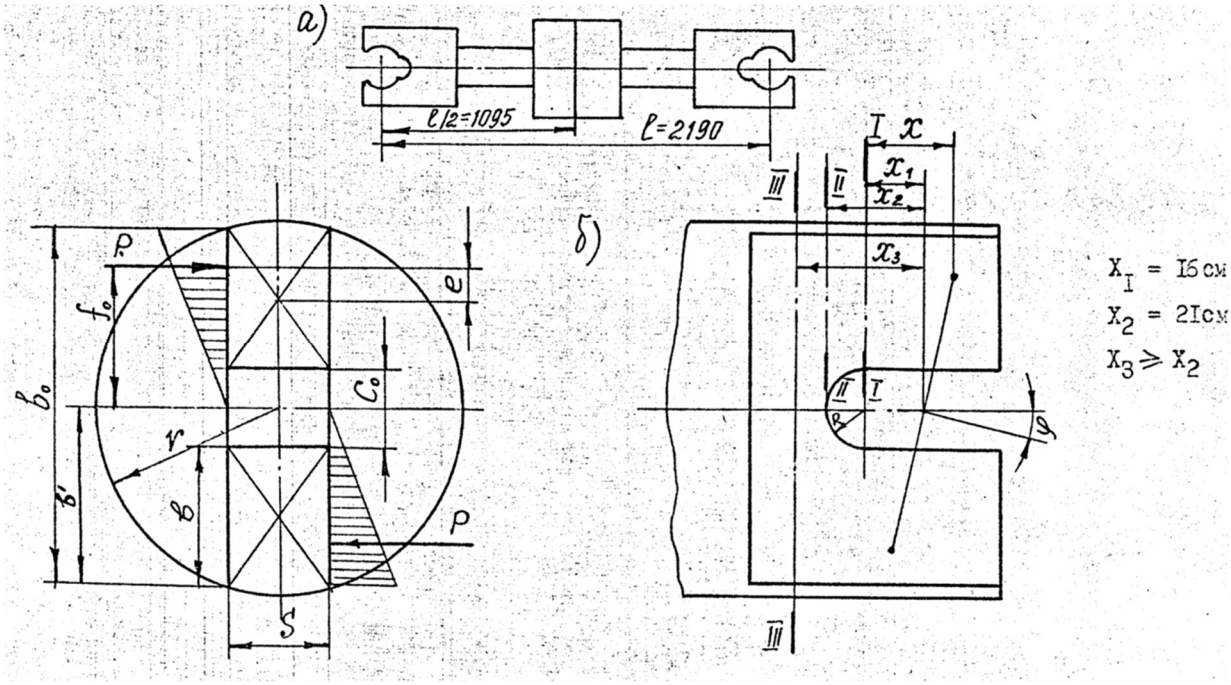


Рисунок 2.3 – Ескіз лопати з небезпечними перерізами

η – коефіцієнт при підрахунку моменту опору крутінню, що залежить від відношення b/S і рівний (з урахуванням запасу моменту опору крутінню у вигляді ηS^3):

Таблиця 2.2 Значення коефіцієнтів

b/S	1	1,5	2	3	4	6
H	0,208	0,346	0,493	0,801	1,150	1,789

Для перетину I-I:

$$\frac{b}{S} = \frac{0,23}{0,15} = 1,534 \qquad \eta \approx 0,348$$

Підставивши значення у вираження 2.12 й 2.13, визначимо напругу вигину й кручення:

$$\sigma = \frac{6 \cdot 0,09457 \cdot 10^6}{0,23 \cdot 0,15^2} = 110 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 110 \text{ МПа}$$

$$\tau = \frac{0,0544 \cdot 10^6}{0,348 \cdot 0,15^3} = 46,3 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 46,3 \text{ МПа}$$

Наведена напруга визначається з вираження:

$$\sigma_{\text{ПРИВ}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}, \qquad (2.14)$$

де σ - напруги вигину;

τ - напруга крутіння.

$$\sigma_{ПРИВ} = \sqrt{110^2 + 3 \cdot 46,3^2} = 136 МПа$$

Напруги, що діють у перетині II-II x=0,359 м, при $x_2 = 0,21$ м, визначимо з виразу 2.22 та 2.23.

Згинальний момент від дії сили P, по вираженню 2.20 рівняється:

$$M_{\text{ИЗГ}} = 0,5185 \cdot 10^6 \cdot 0,359 = 0,1861 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot$$

Напруга вигину для небезпечного переріза II - II визначимо з вираження 2.22:

$$\sigma = \frac{6 \cdot 0{,}1861 \cdot 10^6}{0{,}28 \cdot 0{,}15^2} = 177 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 177\text{МПа}$$

при b = 0,28 м (рис 2.7) – ширина перетину II-II:

$$\frac{\text{b}}{\text{S}} = \frac{0{,}28}{0{,}15} = 1{,}85 \quad \eta = 0{,}385 \ \text{(таблиця 2.3)}$$

Обертовий момент у перетині II-II визначимо з вираження 2.11:

$$e = f_0 - \frac{b_0}{4} = 0{,}27 - \frac{0{,}56}{4} = 0{,}13 \ м$$

$$M_{KP} = 0{,}5185 \cdot 10^6 \cdot 0{,}13 = 0{,}0674 \cdot 10^6 \ Н \cdot м$$

Напруги крутіння в перетині II-II визначимо з вираження 2.13:

$$\tau = \frac{M_{KP}}{\eta \cdot S^3} = \frac{0{,}0674 \cdot 10^6}{0{,}385 \cdot 0{,}15^3} = 51{,}87 \cdot 10^6 \ \frac{Н}{м^2} = 51{,}87 МПа$$

Наведена напруга в перетині II-II визначимо з вираження 2.14:

$$\sigma_{\text{ПРИВ}} = \sqrt{177^2 + 3 \cdot 51{,}87^2} = 198{,}5 \ \text{МПа}$$

Розглядаючи перетині III-III, відзначимо, що в ньому виникають тільки напруги крутіння (σ =0), які визначаються як:

$$\tau = \frac{\text{M}}{\text{W}_\text{K}} \qquad (2.15)$$

де M = 280 кНм - максимальний робочий обертовий момент переданий одним шпинделем;

W_K – момент опору при крутінні.

Момент опору при крутінні прямокутного перетину III-III знайдемо з вираження:

$$\text{W}_\text{K} = \eta \cdot \text{b}_0 \cdot \text{S}^2, \qquad (2.16)$$

де η залежить від відношення b_0/S (таблиця 2.1); $\frac{\text{b}_0}{\text{S}} = \frac{0{,}56}{0{,}15} = 5{,}733;$

$\eta = 0{,}894$

Підставивши числові значення вираження 2.16, 2.15, 2.14, одержимо:

$$W_K = 0{,}894 \cdot 0{,}56 \cdot 0{,}15^2 = 0{,}0112644\ м^3$$

$$\tau = \frac{280 \cdot 10^3}{0{,}0112644} = 24857071\ \frac{Н}{м^2} = 24{,}9 МПа$$

$$\sigma_{ПРИВ} = \sqrt{3 \cdot \tau^2} = \sqrt{3 \cdot 24{,}9^2} = 43{,}1\ МПа$$

Запаси міцності в перетинах I- I, II- II, III- III по межі міцності $\sigma_В$ і границі текучості $\sigma_Т$ при максимальному робочому обертовому моменті переданим одним шпинделем $М_{кр}$=280 кНм:

$$n_B = \frac{\sigma_B}{\sigma_{ПРИВ}}, \qquad (2.17)$$

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{ПРИВ}}, \qquad (2.18)$$

Підставивши раніше отримані значення наведених напруги для різних перетинів, одержимо:

	Запас міцності по $\sigma_У$	Запас міцності по $\sigma_В$
Перетин I-I	$n_B = \frac{750}{136} = 5{,}51$	$n_T = \frac{600}{136} = 4{,}41$
Перетин II-II	$n_B = \frac{750}{198{,}5} = 3{,}78$	$n_T = \frac{600}{198{,}5} = 3{,}02$
Перетин III-III	$n_B = \frac{750}{43{,}1} = 17{,}4$	$n_T = \frac{600}{43{,}1} = 13{,}9$

З аналізу результатів розрахунків видно, що найбільша напруга виникає в перетині II-II, але цього запасу досить.

Напруга, що виникає в лопаті при дії максимального короткочасного обертового моменту $М_{max}$ = 400 кН·м:

$$\sigma_{max} = \sigma_{прив} \cdot \frac{M_{max}}{M_{KP}}, \qquad (2.19)$$

де $\sigma_{прив}$ =198,5 МПа - наведена напруга в перетині II-II;

M_{max} = 400 кН·м - максимальний короткочасний крутний момент;

$M_{кр}$ = 280 кНм - максимальний робочий крутний момент переданий одним шпинделем.

Підставивши значення у вираження 2.19, одержимо:

$$\sigma max = 198{,}5 * \frac{400*10^3}{280*10^3} = 283 \frac{Н}{м^2} = 283 \text{ МПа}$$

Запас міцності в перетині II-II при дії $M_{мах}$ = 400 кНм по межі міцності та плинності:

Перетин II-II $n_B = \frac{750}{283} = 2{,}65$ $n_T = \frac{600}{283} = 2{,}11$

Значень запасу міцності досить навіть при дії максимального короткочасного обертового моменту, [n] = 2 - граничне припустиме значення запасу міцності.

2.3.2 Розрахунок вилки шарніра з боку валка

За розрахункове навантаження приймається робочий крутний момент М = 280 кН·м.

Ескіз вилки з ∅580 мм із вказівкою перетинів, у яких визначається напруга, представлений на рисунку 2.4.

З огляду на те, що кліті стана 1680 нереверсивні й момент прокатки передається в шпинделі, як показано на рисунку 2.5 (перетин А-А), силове навантаження вилки шпинделя при розрахунку робимо з уточненням моменту опору при крутінні для перетину А-А.

На рисунку 2.5 дана схема дії сил на щоки вилки шпинделя при передачі їм обертового моменту М. Вилка кожною своєю щокою сприймає з боку вкладиша тиск, розподілений приблизно по трапеції в перетині А-А, перпендикулярному площини лопаті.

Відстань від осі вилки до крапки додатка рівнодіючої тиску Р (до центра ваги трапеції питомих тисків) визначається по формулі:

$$f = \frac{b}{3} \cdot \frac{1-(c/b)^3}{1-(c/b)^2}, \qquad (2.20)$$

де b = 0,2539 м – ширина щоки; c = 0,14 м - ширина прорізу.

$$f = \frac{0{,}2539}{3} \cdot \frac{1-(0{,}14/0{,}2539)^3}{1-(0{,}14/0{,}2539)^2} = 0{,}1018\text{м}$$

Отже, величина рівнодіючої Р (рис. 2.5) визначається з вираження:

$$P = \frac{M}{2 \cdot f}, \qquad (2.21)$$

Таким чином, величина діючої сили Р при передачі шпинделем максимального робочого обертового моменту М = 280 кН·м складе:

$$P = \frac{280 \cdot 10^3}{2 \cdot 0{,}1018} = 1{,}375 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

При максимальному короткочасному моменті М = 400 кН·м

$$P = \frac{400 \cdot 10^3}{2 \cdot 0{,}1018} = 1{,}964 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Якщо по осі у'-у' перетину А-А (рис. 2.5) прикласти дві зустрічні сили P_1 і P_2, то можна зробити вивід, що на щоку вилки діє пари сил Р и P_1, момент якої дорівнює Р·f і сила P_2, що викликає в щоці вилки напруги вигину, розтягання й крутіння. В остаточному підсумку напруги в довільному перетині Б-Б щоки вилки будуть визначатися наступними моментами й силами:

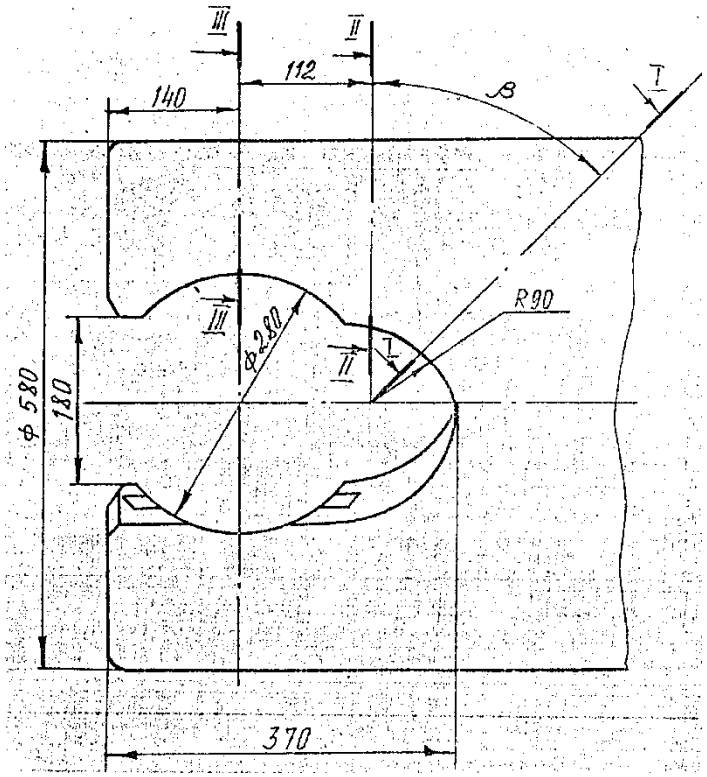


Рисунок 2.4 Ескіз качани з ∅580 мм із небезпечними перерізами

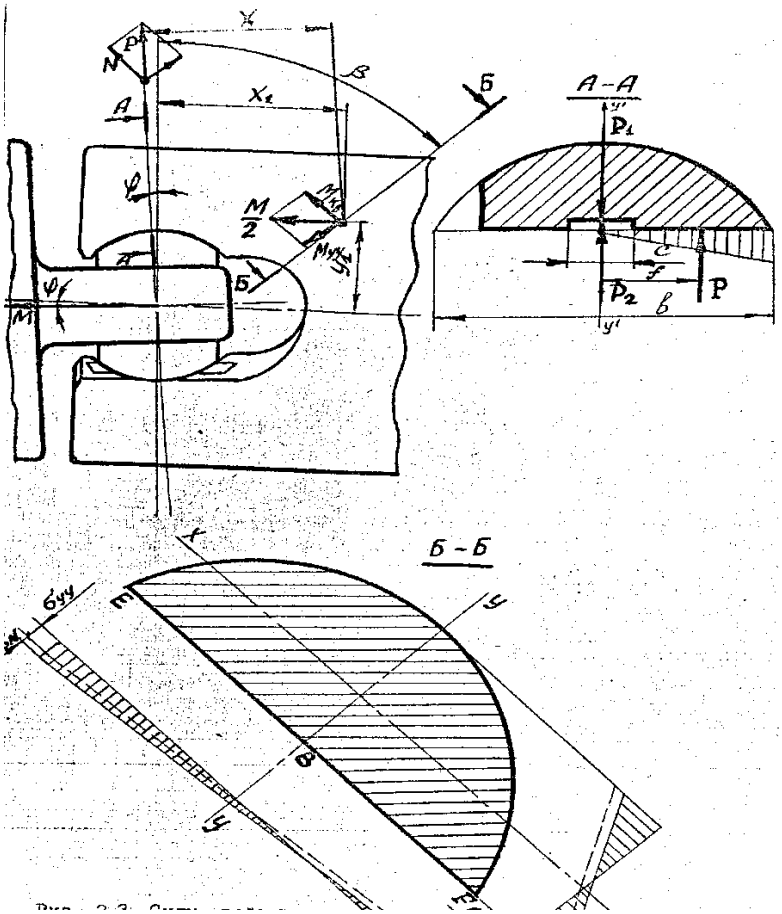


Рисунок 2.5 Сили, що діють на вилку шарніра

1) згинальним моментом осі х-х перетину:

$$M_{xx} = P \cdot x, \qquad (2.22)$$

де х – плече сили Р.

2) силою, що розтягує, N, рівної:

$$N = P \cdot \sin(\varphi + \beta), \qquad (2.23)$$

де β - кут нахилу перетину Б-Б;

β - кут нахилу шпинделя.

3) згинальним моментом щодо осі в перетину:

$$M_{yy} = \frac{M}{2} \cdot sin(\phi + \beta), \qquad (2.24)$$

4) обертовим моментом.

$$M_{кр} = \frac{M}{2} \cdot cos(\phi + \beta), \qquad (2.25)$$

Напруги в перетині Б-Б досягають найбільшого значення звичайно на лінії EF, у крапці В або Е й F.

Складові цих напруги будуть наступні:

1) напруги вигину від основного згинального моменту M_{xx}, які на внутрішній поверхні щоки качани, тобто на лінії EF рівні:

$$\sigma_{xxвн} = \frac{M_{xx}}{W_{xxвн}}, \qquad (2.26)$$

де $W_{xx\ вн}$ – момент опору перетину Б-Б.

2) напруги розтягання від сили N:

$$\sigma_N = \frac{N}{F}, \qquad (2.27)$$

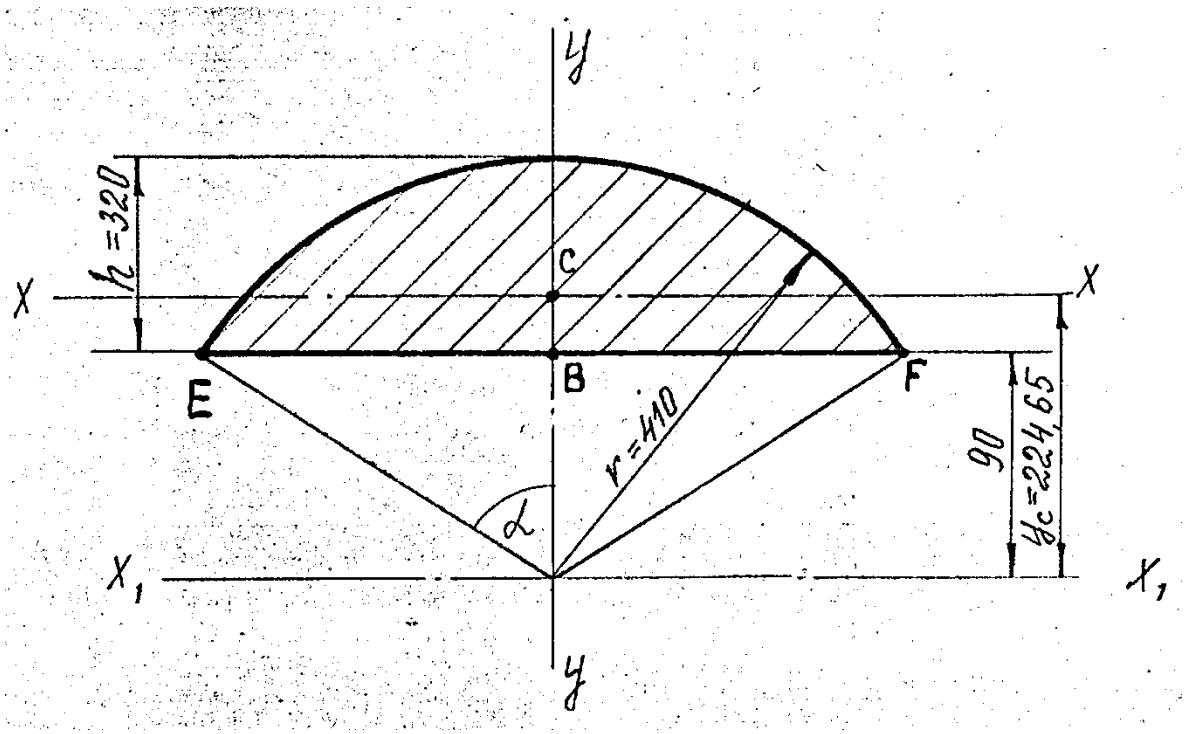


Рисунок 2.6 – Перетин І-І

де F – площа перетину Б-Б.

3) напруги вигину від моменту $M_{уу}$ в крапці Е або F

$$\sigma_{уу} = \frac{M_{уу}}{W_{уу}}, \qquad (2.28)$$

де $W_{уу}$ – момент опору перетину щодо осі в;

4) напруги крутіння, що досягають максимуму в крапці В:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{крВ}}, \qquad (2.29)$$

де $W_{кр\ В}$ – момент опору крутінню для крапки В перетини Б-Б.

Перетин І-І (рис. 2.6) являє собою еліптичний сегмент. Для спрощення розрахунку заміняємо його круговим сегментом з радіусом r = 0,41 м і висотою h = 0,32 м.

2.3.3 Розрахунок геометричних характеристик перетину I-I

Розрахунок геометричних характеристик перетину I-I буде відбуватися згідно даним представленим на рисунку 2.6:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{h}{r}; \quad \cos\alpha = 1 - \frac{32}{41} = 0{,}219513; \quad \sin\alpha = 0{,}9772;$$

$$\alpha = 77°44' = 1{,}3495 \text{ ðàä}$$

Площа перетину:

$$F = \frac{r^2}{2}(2\alpha - \sin 2\alpha), \qquad (2.30)$$

$$F = \frac{0{,}41^2}{2}(2{,}699 - 0{,}4283) = 0{,}19085 \text{ ì}^2$$

Координати центра ваги перетину:

$$y_C = \frac{4}{3} \cdot \frac{r \cdot \sin^3\alpha}{2\alpha - \sin 2\alpha}, \qquad (2.31)$$

$$y_C = \frac{4}{3} \cdot \frac{0{,}41 \cdot 0{,}9772^3}{2{,}699 - 0{,}4283} = 0{,}22465 \text{ м}$$

Осьовий момент інерції щодо осі $x_{1\text{-}x1}$:

$$J_{x1} = \frac{F \cdot r^2}{4}\left[1 + \frac{2 \cdot \sin^3\alpha \cdot \cos\alpha}{\alpha - \sin\alpha \cdot \cos\alpha}\right], \qquad (2.32)$$

$$J_{x1} = \frac{0{,}19085 \cdot 0{,}41^2}{4}\left[1 + \frac{2 \cdot 0{,}9772^3 \cdot 0{,}2195}{1{,}3495 - 0{,}9772 \cdot 0{,}2195}\right] = 0{,}010915 \text{ м}^4$$

Осьовий момент інерції щодо осі x-x, що проходить через центр ваги перетину:

$$J_x = J_{x1} - F \cdot y_C^2, \qquad (2.33)$$

$$J_x = 0{,}010915 - 0{,}19085 \cdot 0{,}22465^2 = 0{,}001283 \text{ м}^4$$

Осьовий момент інерції щодо осі в:

$$J_{ó} = \frac{F \cdot r^2}{4}\left[1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin^3 \alpha \cdot \cos \alpha}{\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha}\right], \qquad (2.34)$$

$$J_y = \frac{0{,}19085 \cdot 0{,}41^2}{4}\left[1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{0{,}9772^3 \cdot 0{,}2195}{1{,}3495 - 0{,}9772 \cdot 0{,}2195}\right] = 0{,}000089854\ м^4.$$

Момент опору перетину I-I щодо осі х-х для розтягнутих волокон:

$$W_{xx\ вн} = \frac{J_x}{y_C - (r-h)}, \qquad (2.35)$$

$$W_{xx\ вн} = \frac{0{,}001283}{0{,}22465 - (0{,}41 - 0{,}32)} = 0{,}00953\ см^3$$

Момент опору перетину щодо осі в:

$$W_{yy} = \frac{J_y}{r \cdot \sin \alpha}, \qquad (2.36)$$

$$W_{yy} = \frac{J_y}{r \cdot sin\,\alpha} = \frac{0{,}000089854}{0{,}41 \cdot 0{,}9772} = 0{,}022427\ м^3$$

Момент опору крутінню для крапки В перетини може бути визначений по формулі С.В. Єнгаличева:

$$W_{кр.В} = \frac{r^3}{2{,}86} \cdot \left(\frac{h}{r}\right)^{2{,}81} \qquad (2.37),$$

де r та h – радіус дуги сегмента і його висота.

$$W_{ê ð . Â} = \frac{0{,}41^3}{2{,}86} \cdot \left(\frac{0{,}32}{0{,}41}\right)^{2{,}81} = 0{,}012\ ì^3$$

Визначаємо момент і сили в перетині I-I.

Координати нейтральної лінії перетину I-I (β = 45º, рис. 3.7 й 3.8)

$x_1 = 0{,}2988\ ì$;

$y_1 = 0{,}1588\ ì$.

Плече сили Р при максимальному робочому куті перекосу в шарнірах φ = 3º: $x = 0{,}3064\ ì$.

Підставивши чисельні значення в вираження 2.22, визначимо згинальний момент щодо осі х-х при дії $M_{кр}$ = 280 кНм:

$$M_{xx} = 1{,}375 \cdot 10^6 \cdot 0{,}3064 = 0{,}4213 \cdot 10^6 \ Н \cdot м$$

Підставивши чисельні значення у вираження 2.23, визначимо силу, що розтягує:

$$\mathrm{N} = 1{,}375 \cdot 10^6 \cdot 0{,}7431 = 1{,}0217 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Підставивши чисельні значення у вираження 2.24, визначимо згинальний момент щодо осі у:

$$\mathrm{M_{уу}} = \frac{280}{2} \cdot 10^3 \cdot 0{,}7431 = 104034 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Підставивши чисельні значення у вираження 2.25, визначимо обертовий момент:

$$\mathrm{M_{кр}} = \frac{280 \cdot 10^3}{2} \cdot \cos(3° + 45°) = 93680 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Підставивши чисельні значення у вираження 2.26-2.29, визначимо складових напруги у перетині І-І:

$$\sigma_{\text{хх вн}} = \frac{0{,}4213 \cdot 10^6}{0{,}00953} = 44{,}2 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 44{,}2\text{МПа}$$

$$\sigma_{\mathrm{N}} = \frac{1{,}0217 \cdot 10^6}{0{,}19085} = 5{,}353 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 5{,}353\text{МПа}$$

$$\sigma_{\text{уу}} = \frac{104034}{0{,}022427} = 4{,}64 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 4{,}64\text{МПа}$$

$$\tau_{\text{кр.В}} = \frac{93680}{0{,}012} = 7{,}8 \ \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 7{,}8\text{МПа}$$

Наведена напруга в крапці В перетини I-I:

$$\sigma_{\text{ПРИВ}} = \sqrt{(\sigma_{\text{хх вн}} + \sigma_{\text{N}})^2 + 3\tau_{\text{кр.В}}^2}, \qquad (2.38)$$

$\sigma_{\text{ПРИВ}} = \sqrt{(44{,}2 + 5{,}353)^2 + 3 \cdot 7{,}8^2} = 51{,}3$ МПа

Сумарне що розтягує й наведена напруга в крапках E й F перетину I-I можна визначити як суму $\sigma_{\text{хх.вн}}$, $\sigma_{\text{уу}}$, σ_{NN}:

$$\sigma_{сум} = \sigma_{ХХ.ВН} + \sigma_{УУ} + \sigma_{NN}, \qquad (2.39)$$

$\sigma_{\text{сум}} = 44{,}2 + 4{,}64 + 5{,}353 = 54{,}2$ МПа

Наведена напруга в крапці Е дорівнює:

$$\sigma_{\text{прив.Е}} = \sqrt{\sigma_{\text{СУМ}}{}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{КРВ}}{}^2}, \qquad (2.40)$$

$\sigma_{\text{прив.Е}} = \sqrt{54,2^2 + 3 \cdot 7{,}8^2} = 55{,}8$ МПа

Коефіцієнт запасу по межі міцності $\sigma_{\text{В}}$ і границі текучості $\sigma_{\text{Т:}}$

$$n_{\text{В}}^{\text{I–I}} = \frac{750}{55{,}8} = 13{,}4 \qquad n_{\text{Т}}^{\text{I–I}} = \frac{600}{55{,}8} = 10{,}7$$

Зробимо розрахунок напруги при короткочасному максимальному моменті М = 400 кН·м для перетину I-I.

Величина рівнодіючої сили Р визначається з вираження 2.21:

$$\text{P} = \frac{400 \cdot 10^3}{2 \cdot 0{,}1018} = 1{,}964 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Крутний момент визначаємо з вираження 2.25:

$$\text{M}_{\text{КР}} = \frac{400 \cdot 10^3}{2} \cdot 0{,}6561 = 0{,}131220 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Згинальний момент щодо осі х-х визначимо з вираження 2.22:

$$\text{M}_{\text{хх}} = 1{,}964 \cdot 10^6 \cdot 0{,}3064 = 0{,}6017 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

сила, що розтягує, визначається з вираження 2.23:

$$N = 1{,}964 \cdot 10^6 \cdot 0{,}7431 = 1{,}459 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

Згинальний момент щодо осі у визначається з вираження 2.24:

$$M_{уу} = \frac{400 \cdot 10^3}{2} \cdot 0{,}7431 = 0{,}14862 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Складові напруги з виразу:

$$\sigma_{хх\ вн} = \frac{0{,}6017 \cdot 10^6}{0{,}00953} = 63{,}1 \text{ МПа}$$

$$\sigma_N = \frac{1{,}459 \cdot 10^6}{0{,}19085} = 7{,}647 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{уу} = \frac{014862 \cdot 10^6}{0{,}022427} = 6{,}626 \text{ МПа}$$

$$\tau_{кр.В} = \frac{0{,}13122 \cdot 10^6}{0{,}012} = 10{,}95 \text{ МПа}$$

Наведена напруга в крапці В перетини I-I визначається з вираження 2.38:

$$\sigma_{ПРИВ} = \sqrt{(63{,}1 + 7{,}647)^2 + 3 \cdot 10{,}95^2} = 73{,}2 \text{ МПа}.$$

Сумарне що розтягує та наведена напруга в крапках Е й F перетину I-I визначаються з виразу 2.39 та 2.40:

$$\sigma_{сум} = 63{,}1 + 6{,}626 + 7{,}647 = 77{,}3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{прив.Е} = \sqrt{77{,}3^2 + 3 \cdot 10{,}95^2} = 79{,}59 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу по межі міцності й границі текучості в крапці В перетини I-I:

$$n_B^{I-I} = \frac{750}{79,59} = 9,4 \qquad n_T^{II} = \frac{600}{79,59} = 7,5$$

2.3.4 Розрахунок геометричних характеристик перетину II-II

Для визначення характеристик перетину II-II скористаємося математичною залежністю, викладеними в п.3.7.2 й 3.7.3.

Вихідні значення h = 0,2 м; r = 0,29 м.

$$\cos\alpha = 1 - \frac{h}{r} = 1 - \frac{20}{29} = 0,3104482;$$

$$\alpha = 71°6' = 1,2551 \text{ рад};$$

$$\sin 2\alpha = 2 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha = 2 \cdot 0,9459 \cdot 0,31044 = 0,58724$$

Площа перетину визначимо з вираження 2.40:

$$F = \frac{0,29^2}{2}(2 \cdot 1,2551 - 0,58724) = 0,080858 \text{ м}^2$$

Координати центра ваги перетину II-II:

$$y_C = \frac{4}{3} \cdot \frac{0,29 \cdot 0,9459^3}{2,5102 - 0,5872} = 0,17 \text{ м}$$

Осьовий момент інерції щодо осі $x_{1\text{-}x1}$:

$$J_{x1} = \frac{0,080858 \cdot 0,29^2}{4}\left[1 + \frac{2 \cdot 0,9459^3 \cdot 0,31044}{1,2551 - 0,9459 \cdot 0,31044}\right] = 0,002629163 \text{ м}^4$$

Осьовий момент інерції щодо осі х-х, що проходить через центр ваги перетину:

$$J_x = 0{,}2629163 - 0{,}080858 \cdot 0{,}17^2 = 0{,}0002923668 \text{ м}^4$$

Момент опору перетину II-II щодо осі х-х для розтягнутих волокон:

$$W_{xx} = \frac{0{,}0002923668}{0{,}17 - (0{,}29 - 0{,}20)} = 0{,}003654585 \text{ м}^3$$

Момент опору крутінню для крапки В перетини визначаємо по формулі Єнгаличева, вираження 2.37

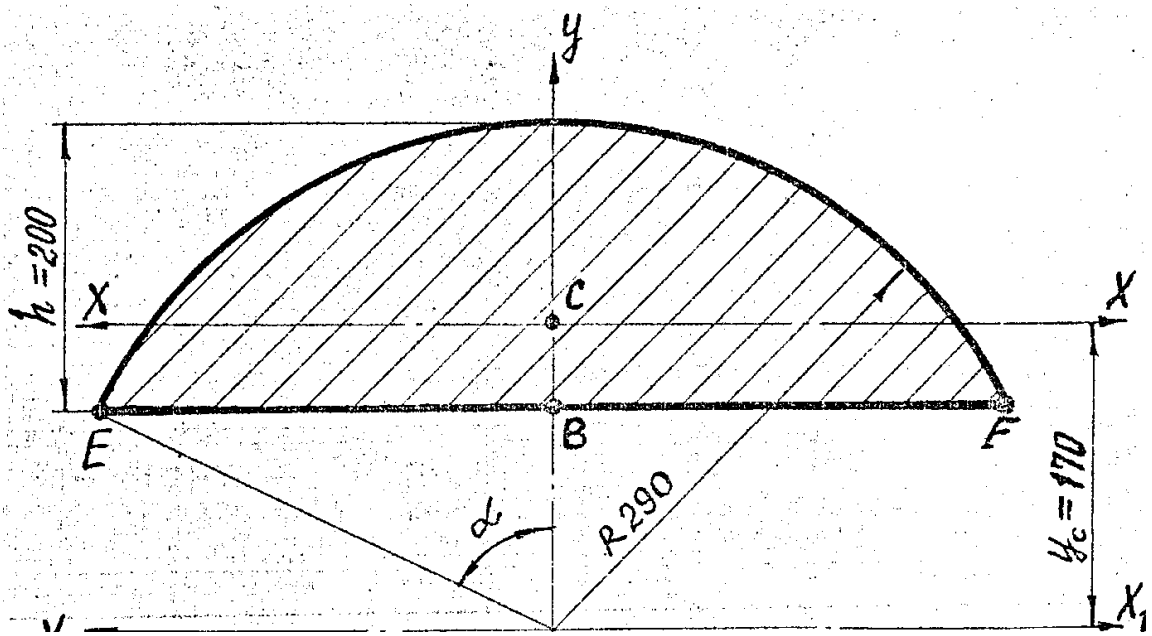


Рисунок 2.7 Перетин II

$$W_{кр.В} = \frac{0{,}29^3}{2{,}86} \cdot \left(\frac{0{,}20}{0{,}29}\right)^{2{,}81} = 0{,}0029906 \text{ м}^3$$

визначаємо моменти й сили в перетині II-II

Координати нейтральної лінії перетину

$x_1 = 0{,}112$ м; $y_1 = 0{,}17$ м.

Плече сили Р при максимальному робочому куті перекосу в шарнірах $\varphi = 3^o$: x = 0,120617 ì .

Підставивши чисельні значення у вираження 2.22, визначимо згинальний момент щодо осі х-х при дії $M_{кр}$ = 280 кНм:

$$M_{хх} = 1{,}375 \cdot 10^6 \cdot 0{,}120617 = 0{,}146 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Підставивши чисельні значення у вираження 2.25, визначимо обертовий момент:

$$M_{кр} = \frac{280 \cdot 10^3}{2} \cdot 0{,}9976 = 0{,}1396 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Підставивши чисельні значення у вираження 2.26-2.29, визначимо складових напруги у перетині II-II:

$$\sigma_{хх\ вн} = \frac{0{,}146 \cdot 10^6}{0{,}003654585} = 40 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 40\text{МПа}$$

$$\tau_{кр.В} = \frac{0{,}1396 \cdot 10^6}{0{,}0029906} = 46 \ \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 46\text{МПа}$$

Наведена напруга для перетину II-II визначимо з вираження 2.37 при σ_{NN} = 0:

$$\sigma_{ПРИВ} = \sqrt{(40+0)^2 + 3 \cdot 46^2} = 89\text{МПа}$$

Коефіцієнт запасу по межі міцності $\sigma_В$ і межі плинності $\sigma_{Т:}$

$$n_{В}^{II-II} = \frac{750}{89} = 8{,}4 \qquad n_{Т}^{II-II} = \frac{600}{89} = 6{,}7$$

Зробимо розрахунок напруги при короткочасному максимальному моменті М = 400 кН·м для перетину II-II.

Величина рівнодіючої сили Р визначається з вираження 2.21:

$$P = \frac{400 \cdot 10^3}{2 \cdot 0{,}1018} = 1{,}964 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Крутний момент визначаємо з вираження 2.25:

$$M_{КР} = \frac{400 \cdot 10^3}{2} \cdot 0{,}9976 = 0{,}19952 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Згинальний момент щодо осі х-х визначимо з вираження 2.22:

$$M_{хх} = 1{,}964 \cdot 10^6 \cdot 0{,}120617 = 0{,}23684 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Складові напруги з виразу 2.26-2.29:

$$\sigma_{хх\ вн} = \frac{0{,}23684 \cdot 10^6}{0{,}003654585} = 64{,}8 \text{ МПа}$$

$$\tau_{кр.В} = \frac{0{,}19952 \cdot 10^6}{0{,}0029906} = 66{,}7 \text{ МПа}$$

Наведена напруга перетину II-II:

$$\sigma_{ПРИВ} = \sqrt{64{,}8^2 + 3 \cdot 66{,}7^2} = 132{,}4 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу по межі міцності й межі плинності перетину II-II при $M_{кр}$=400 кНм:

$$n_{В}^{II-II} = \frac{750}{132{,}4} = 5{,}6 \qquad n_{Т}^{II-II} = \frac{600}{132{,}4} = 4{,}53$$

2.3.5 Розрахунок геометричних характеристик перетину III-III

Для визначення характеристик перетину III-III скористаємося математичною залежністю, викладеними в п.3.7.2 й 3.7.3. Схема перетину III-III представлена на рисунку 2.8.

Вихідні дані для розрахунку наступні:

Момент опору вигину для внутрішніх волокон перетину $W_{вн}$ = 0,00112 м^3.

Координати центра ваги вилок = 0,2058 м.

Площа перетину F = 0,048284 мм^2.

Момент опору крутінню $W_{кр}$ =0,0018 м^3.

Плече сили Р при куті перекосу φ=3^0 становить х = 0,01075 м.

Згинальний момент щодо осі х-х визначимо з вираження 2.22:

При М=280 кНм $\quad M_{xx} = 1{,}375 \cdot 10^6 \cdot 0{,}01075 = 0{,}01478 \cdot 10^6$ Н · м

При М=400 кНм $\quad M_{xx} = 1{,}964 \cdot 10^6 \cdot 0{,}01075 = 0{,}02111 \cdot 10^6$ Н · м

Підставивши чисельні значення у вираження 2.25, визначимо обертовий момент:

При М=280 кНм $\quad M_{кр} = \frac{280 \cdot 10^3}{2} \cdot 0{,}9976 = 0{,}1396 \cdot 10^6$ Н · м

При М=400 кНм $\quad M_{кр} = \frac{400 \cdot 10^3}{2} \cdot 0{,}9976 = 0{,}1995 \cdot 10^6$ Н · м

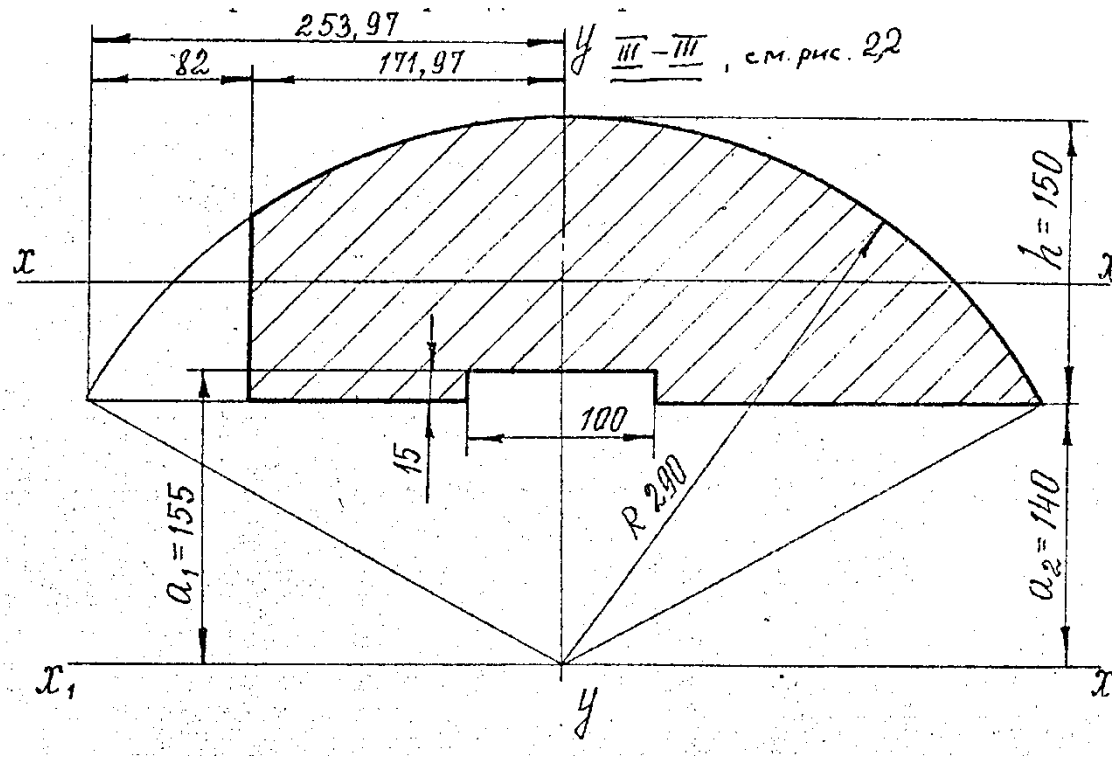


Рисунок 2.8 Перетин ІІІ-ІІІ

Складові напруги визначимо з виразу 2.26-2.29:

При М=280 кНм $\sigma_{\text{хх вн}} = \frac{0{,}01478 \cdot 10^6}{0{,}00112} = 13{,}2$ МПа

При М=400 кНм $\sigma_{\text{хх вн}} = \frac{0{,}02111 \cdot 10^6}{0{,}00112} = 18{,}8$ МПа

При М=280 кНм $\tau_{\text{кр.В}} = \frac{0{,}1396 \cdot 10^6}{0{,}0018} = 77{,}5$ МПа

При М=400 кНм $\tau_{\text{кр.В}} = \frac{0{,}1995 \cdot 10^6}{0{,}0018} = 111$ МПа

Наведена напруга для перетину III-III рівняється:

При М=280 кНм $\sigma_{\text{ПРИВ}} = \sqrt{13,2^2 + 3 \cdot 77,5^2} = 135$МПа

При М=400 кНм $\sigma_{\text{ПРИВ}} = \sqrt{18,8^2 + 3 \cdot 111^2} = 193$МПа

Коефіцієнт запасу по межі міцності σ_B і межі плинності $\sigma_{T:}$

При М=280 кНм	При М=400 кНм
$n_{\text{В}}^{\text{III–III}} = \frac{750}{135} = 5{,}56$	$n_{\text{В}}^{\text{III–III}} = \frac{750}{193} = 3{,}9$
$n_{\text{Т}}^{\text{III–III}} = \frac{600}{135} = 4{,}45$	$n_{\text{Т}}^{\text{III–III}} = \frac{600}{193} = 3{,}1$

Умови виконано.

2.4 Розрахунок проміжного вала між електродвигуном та редуктором

Вихідні дані:

Обертаючий момент, кН·м;	$M = M_1 = 223$
Частота обертів вала, об/хв.	$n = n_{дв} = 270 \div 500$
Матеріал валу	сталь 45
Термічна обробка	гартування
Межа міцності, мПа	$\sigma_в = 570$
Межа текучості, мПа	$\sigma_т = 390$
Номінальний діаметр небезпечного перетину, мм	d = 320

Розрахунок параметрів

1. Вал працює на кручення:

$$\tau_{кр} = \frac{M}{0{,}2\, d^3} \leq [\tau_{кр}],\ [11]; \qquad (2.41)$$

де $\tau_{кр}$ - розрахункове напруження кручення в небезпечному перетині вала;

$0{,}2\ d^3$ – полярний момент опору в поперечному перетині валу;

$[\tau_{кр}]$ – допустиме напруження при крученні;

$[\tau_{кр}] = 0{,}5 \cdot [\sigma_{зг}]$, [11];

де

$[\sigma_{зг}]$ – допустиме напруження на згинання;

$[\sigma_{зг}] = 80$ МПа, [11];

$[\tau_{кр}] = 0{,}5 \cdot 80 = 40$ МПа;

$$\tau_{кр} = \frac{223 \cdot 10^6}{0{,}2 \cdot 320^3} = 34 \text{ МПа};$$

$\tau_{кр} < [\tau\ кр]$, $34 < 40$;

Висновок: міцність проміжного валу на кручення забезпечена.

2. Розрахунок проміжного валу на витривалість:

$$n=\frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{n_\tau})^2}} \geq [n], \ [11]; \qquad (2.42)$$

де: [n] – допустимий коефіцієнт запасу міцності;

[n] = 1,5÷ 2,5, [11];

$_\tau$ – коефіцієнт запасу міцності при крученні;

$$n_\tau=\frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau \cdot \tau_a}{\varepsilon\beta}+\psi_\tau \tau_m}, \text{ [11], де:} \qquad (2.43)$$

τ_{-1} – межа витривалості при крученні при симетричному циклі зміни напружень;

$\tau_{-1} = 0{,}25 \cdot \sigma_в$, [11];

$\tau_{-1} = 0{,}25 \cdot 570 = 142{,}5$ МПа;

τ_a – амплітуда циклу при крученні;

$\tau_a = \tau_{кр} = 34$ мПа, [11, ст. 329];

τ_m– середнє напруження циклу при крученні;

$\tau_m = 0$, [11];

k_τ - ефективний коефіцієнт концентрації напружень при крученні;

$k_\tau = 1{,}12$, [11];

ε – коефіцієнт, який враховує вплив розмірів перетину валу на його міцність;

ε = 0,58 , [11];

β – коефіцієнт зміцнення;

β = 1 , [11];

ψ_τ - коефіцієнт, який враховує вплив асиметрії циклу напружень на міцність валу при крученні;

$\psi_\tau = 0$, [11];

$$n_\tau = \frac{142{,}5}{\frac{1{,}12 \cdot 34}{0{,}58 \cdot 1}} = 2{,}2;$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{2,2})^2}} = 2,2 > [n] = 1,5;$$

Висновок: діаметр проміжного валу d = 320 мм – забезпечує його витривалість.

2.5 Розрахунок довговічності підшипників шестеренного валка зі сторони редуктора

Для шестеренного валка зі сторони редуктора по ГОСТ -3189 вибираємо два радіально-упорних конічних роликопідшипники, дворядні серії 97180 ЛМ.

Вихідні дані:

Діаметр шийки, мм	d_1=400
Зовнішній діаметр підшипника,мм	D = 600 мм
Ширина підшипника, мм	T=205
Динамічна вантажопід'ємність	C = 2100 кН

Розрахунок параметрів

1. Еквівалентне навантаження:

$$P = V \cdot P_r \cdot К_б \cdot К_т \text{ , [11], де:} \quad (2.44)$$

V – коефіцієнт обертання внутрішнього кільця;

V = 1 [11, ст. 307];

P_r – радіальне навантаження;

$P_r = \frac{R_A \cdot l_1}{2} = \frac{1175,8 \cdot 0,355}{2} = 208,7$ кН;

$К_б$ - коефіцієнт безпечності, який враховує характер навантаження на підшипник;

$К_б$ = 0,8 , [11];

$К_т$ – коефіцієнт тертя в кільцях підшипника;

$К_т$ = 1,2 , [11];

$$P = 1 \cdot 208,7 \cdot 0,8 \cdot 1,2 = 200,35 \text{ кН};$$

2. Розрахункова довговічність, млн. об.:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^{3,33}, \text{ [11]}; \qquad (2.45)$$

$$L = \left(\frac{2100}{200,35}\right)^{3,33} = 112,8 \text{ млн.об.}$$

3. Розрахункова довговічність, год.:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60}, \text{ [11];, де:}$$

n - частота обертів шестеренного валка;

$n = n_2 = 37,3 \div 69$ об/хв.;об/хв;

$$L_h = \frac{112,8 \cdot 10^6}{60 \cdot 69} = 13,8 \cdot 10^3 \text{ год.}$$

Ресурс довговічності підшипника $L_h = 27,2 \cdot 10^3$ год.

Висновок: ресурс довговічності підшипника $L_h > 10000$ годин.

Умова довговічності – виконана.

2.6 Висновки з розрахунків та впровадження модернізації

Виконавши всі розрахунки деталей на міцність та розрахунки силових параметрів приводу кліті, а також наукові дослідження робимо висновок, що шарнірне з'єднання э одним з найвразливіших вузлів кліті.

З метою підвищення надійності та довговічності шпиндельного вузла, магістерською роботою пропонується модернізація системи змащення бронзових вкладишів та підшипників механізму врівноваження для забезпечення змащення за системою «масло-повітря».

Бронзові вкладиші дефіцитні, дорого коштують та мають незначний термін експлуатації тому, на основі передових наукових розробок, можлива заміна їх на високоякісні вкладиші з армованих полімерів. Що в комплексі з модернізацією системи змащення дозволяє отримати збільшення терміну

експлуатації вузла тертя більш ніж в два рази. Також підвищується стійкість до ударних динамічних навантажень, з'являється властивість розподілення навантаження, при цьому такі вкладиші мають малий шум та вагу.

Масло-повітряні масляні системи (рис. 2.9) мають важливу перевагу в порівнянні зі змащенням системою «масляного туману»: дуже незначна і точно дозована кількість мастила надходить в кожен окремий вузол тертя (підшипник, бронзовий вкладиш) за допомогою стисненого повітря, що дозволяє різко знизити втрати мастила в навколишнє середовище. Надходження за такою системою мінімальної кількості мастила (витрати в 100 раз менші, ніж при змащенні пластичним мастилом) дозволяє підшипникам працювати при таких низьких температурах і на таких високих швидкостях, які не може забезпечити жоден інший спосіб змащування. В нашому випадку ця система дозволяє значно зменшити зношення бронзових вкладишів та збільшити термін експлуатації шпинделів (без проведення ремонту) з 1-го до 3-х місяців.

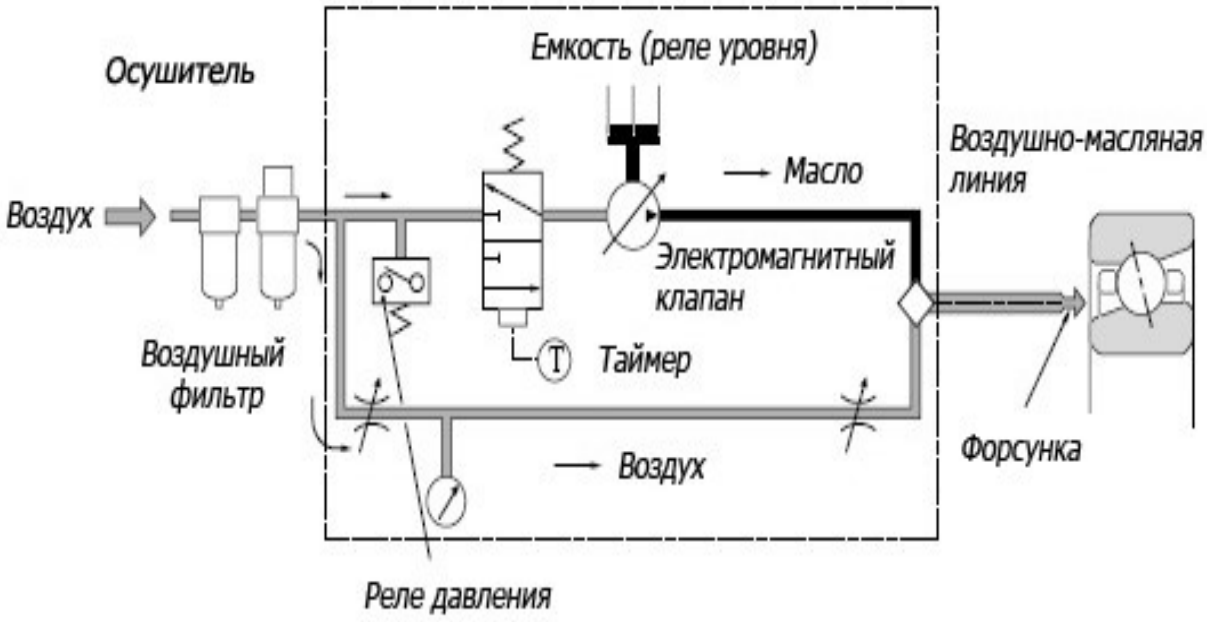


Рисунок 2.9 Масло-повітряна система змащення

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСТОСТІЙКОСТІ ШПИНДЕЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ БЕЗПЕРЕРВНОГО СТАНУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ

3.1 Огляд зносостійкості вкладишів універсальних шпинделів

З моменту розробки конструкції шпинделів на тілах ковзання на великогабаритних металургійних агрегатах існує проблема підвищеного зношування бронзових вкладишів, і в першу чергу при експлуатації ліній привода прокатних станів.

Практика експлуатації універсальних шпинделів у приводах прокатних станів свідчить про недовговічність вкладишів шарнірів ковзання. Основною причиною частих періодичних замін (або аварійних відмов) шпиндельних з'єднань є підвищений зазор у шарнірі із–за зношування бронзових вкладишів. На обтискних і листопрокатних станах діаметри головок шпинделів доходять до 900–1000мм, тому зношування вкладишів, що допускається за правилами технічної експлуатації агрегатів, досягає 5–8 мм і більш, що залежно від конструктивного виконання й схеми головних ліній привода прокатних станів становить 60–70% сумарного зазору.

Недосконаліть більшості застосовуваних конструкцій пристроїв зрівноважування (пружинні, гідравлічні, із противагою) в основному забезпечують необхідні умови тільки для монтажу шпинделів і валкових муфт. У процесі прокатки різного сортаменту постійно мінливий розчин валків і їх діаметри при перевалках не дозволяють повністю компенсувати вагу шпинделів. Дослідження шпиндельних вузлів, показали відхилення на 30–50% коефіцієнта динамічності (Кд) залежно від кутового положення (горизонтально–вертикально) лопаті шпинделя. Некомпенсована умежах ±5% навіть мінімальна вага шпинделів 25 кН (яка сягає100–200 кН) приводить до дворазового розкриття зазорів за один оберт валків. Кутові зазори, що відкриваються, залежно від пружно-масних параметрів механічної системи й характеру, навантаження що прикладається, можуть

приводити до значних динамічних навантажень у лініях привода й аварійним поломкам, як самих шпинделів, так і іншого встаткування клітей (хвостовики робочих валків, шестеренні вали, муфти, редуктори).

Альтернативними способами передачі крутного моменту до робочих валків із мінливим кутовим положенням валів є конструкції шпинделів на тілах кочення й карданні передачі, які мають зазори не більш 1,0–1,5мм, які знайшли застосування здебільшого в клітях правильних і згинальних машин, сортових і заготовочних станах. У зв'язку з малою навантажувальною здатністю дані конструкції не знайшли широкого поширення в чорнових клітях листопрокатних і обтискних станів, де крутні моменти на валках з урахуванням динаміки досягають 3000-5000 кН м.

Другим варіантом розв'язку проблеми зносостійкості шпинделів є розробка конструкцій вкладишів та вузла, що сполучає, які знижують биття головок і валкових муфт. При захвату заготовки й наступній передачі навантаження шпинделем в одному із крайніх положень, зміщених щодо центру валка, зношування вкладишів і кутова траєкторія ковзання будуть пропорційні ексцентриситету, що виникає за рахунок зношування сухаря й прорізи на валковій муфті.

Дослідження, проведені на кафедрі МОЗЧМД он НТУ, показали, що основною причиною низького терміну служби вкладишів є недоліки традиційної конструкції шпинделя із сухарем:

- зношування вкладиша, що приводить до виникнення зазорів у шарнірі й крутильним коливанням у лінії привода в момент захвата металу валками;
- наявність ексцентриситету між геометричними осями валка й шпинделі, що обумовлює розвиток відцентрової сили інерції, яка приводить до різної товщини смуг із частотою биттів шпинделя;
- порушення кінематики з'єднання із-за зазорів у шарнірі й перерозподіл навантажень на контактних поверхнях (передача частини крутного моменту за рахунок сухаря, робота вкладиша на вигин, його злам).

Проблемою зносу вкладишів універсальних шпинделів займався також к.т.н. Савельєв М. В. По цьому питанню була написана кандидатська дисертація на тему: «Дослідження умов роботи і удосконалення методу розрахунку динамічно навантажених шарнірів ковзання шпинделів прокатних станів». Актуальність роботи полягає в тому, що шпинделі прокатних станів із шарнірами у вигляді пар тертя-ковзання широко використовуються у світовій практиці на великих обтискних, заготовочних, листових, сортових і інших станах, насамперед тому, що мають удалу комбінацію габаритних і міцнісних характеристик. Однак робота пар тертя цих шпинделів, розрахована на 1,5-2 року їх експлуатації, у реальних умовах більшості великих станів обмежується двома-трьома місяцями. У зв'язку із цим постійно вживають спроби змінити конструкцію вкладишів або замінити шарніри ковзання на шарніри іншого типу. Але бажаного ефекту дії такого роду без виявлення процесів, що відбуваються в зоні тертя шарнірів шпинделів, не дають. Тому завдання підвищення працездатності шарнірів універсальних шпинделів з парами тертя-ковзання залишається в край актуальної. Розв'язання цього завдання зв'язане, насамперед, з уточненням суті процесів, що відбуваються в парахтертя ковзання шпинделів під час роботи важкого прокатного обладнання.

Ціль роботи дослідження – виявити процеси, які протікають у зоні взаємодії поверхонь пари тертя вкладиш – лопата шпинделя, оцінити силову картину навантаження вкладишів і розробити метод, що дозволяє при більш достовірнім значенням навантаженості вкладишів шпинделя забезпечити необхідну їхню працездатність.

У результаті виконаних експериментальних і теоретичних вишукувань досягнуті наступні результати:

1. Під час експериментальних досліджень установлене, що в зоні контакту пари тертя вкладиш – лопать механопровід у вигляді шпинделя діють локальні динамічні процеси великої інтенсивності.

2. Частотні характеристики цих процесів містять не тільки модиколивань, які існують у всім шпинделі, але й коливання з високимичастотними складовими.

3. Локальні навантаження в зоні тертя більш ніж на порядок перевищують тиск на поверхню вкладиша пари тертя шпинделя, викликане статистичними навантаженнями в приводі стану.

4. Локальний динамічний процес має хвильову природу, яка залежить від характеру швидкісної взаємодії елементів пари тертя й форми контактуючіх поверхонь.

5. Додавання в метод розрахунків до статичної, динамічної ще й хвильова складовому навантаження дозволяє визначити в парі тертя голівки шпинделя тиск, відповідне до експериментальних даних.

6. У результаті пророоблених у роботі експериментально-теоретичних вишукувань розроблений метод і програмне до нього забезпечення, що дозволяють визначати тиск у зоні тертя шарніра голівки шпинделя, адекватне результатам промислового експерименту.

У зв’язку із поширеністю питання зносу вкладишів універсальних шпинделів мною було проведено експеримент. Метою якого було встановлення закону виходу з ладу вкладишів та закону їх зносу. Опити було проведено на шпинделі приводу чистової кліті №5 безперевного тонко штабного стану 1680 в умовах ЦГП комбінату «Запоріжсталь». Було отримано дані по напрацюванню до відмови за один рік, а також шляхом фізичного експерименту отримано параметр зносу вкладиша через кожні 48 годин до його відмови. Отримані дані використовуємо у якості похідних даних для подальших розрахунків. При розрахунках надійності металугрійного обладнання в основному використовують наступні закони розподілення: нормальний, експоненціальний і Вейбулла. Встановити вид закону можна шляхом попередньої графічної побудови по даним експеримента закону розподілення у вигляді багатокутника або гістограми.

Закон розподілення дискретної випадкової величини може бути заданий таблично, графічно чи аналітично. При табличній формі представлення перша строка таблиці (таблиця 3.1) містить можливі значення випадкової величини, а друга – їх ймовірність:

Таблиця 3.1 Розподіл значень у законі.

Випадкова величина X	Можливі значення випадкової величини
	$x_1, x_2, x_3, \ldots x_n$
Ймовірність f	$f_1, f_2, f_3, \ldots, f_n$

Т.к. в одному випробуванні випадкова величина ухвалює тільки одне значення, то події $X=x_i, X=x_2, \ldots, X=x_n$ утворюють повну групу й тому сума їх імовірностей дорівнює одиниці, тобто

$f_1+f_2+\ldots+f_n=1$.

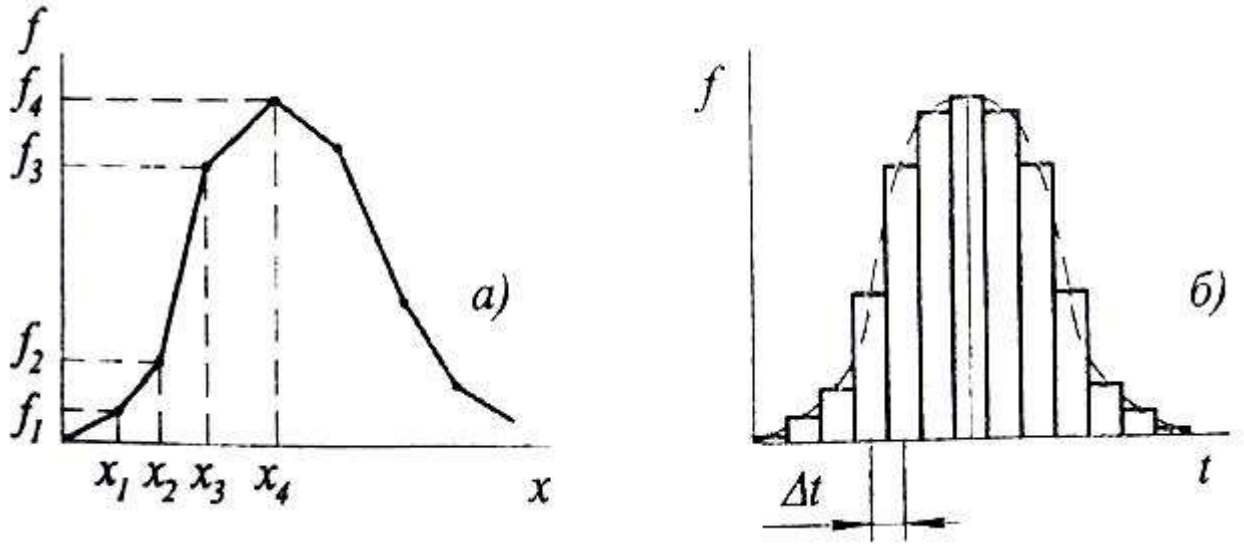


Рисунок 3.1 – Графічне зображення закону розподілення.

Закон розподілення безперервної випадкової величини задають функцією розподілення F(x), яка визначає ймовірність того, що випадкова величина X в результаті випробування приймає значення, яке менше величини

F(x) = f(X<x).

Не практиці частіше оперують часом до виникнення відмови, тобто якоїсь випадковою величиною τ, а відмову представляють як подію, що полягає в тому, що τ <t. У цьому випадку функція розподілу $F(t)$ наробітку τ має фізичний сенс імовірності відмови об'єкта за час t, тобто F(t) = f (τ <t).

3.2 Розрахунок параметрів надійності універсальних шпинделів приводу чистової кліті №5 стану 1680

Розрахунок за нормальним законом розподілення за даними 2021 року

Дані вибірки напрацювання на відмову вкладишів універсального шпинделя приводу чистової кліті стану 1680 за 2021 рік (доба):

31, 33, 30, 34, 35, 31, 34, 33, 30, 29, 30, 36.

Виконаємо табулювання по кількості відмов в інтервалі часу. Величину інтервалу розрахуємо поформулі:

$$\Delta t = (t_{max}-t_{min}) / (1+3{,}3\lg n) \qquad (3.1)$$

де: n- загальне число спостережуваних об'єктів;

t_{max} - максимальний час напрацювання;

t_{mix} - мінімальний час напрацювання;

t_{max}-t_{min} - розмах вибірки.

$$\Delta t = (36-29) / (1+3{,}3\lg 12) = 1{,}535$$

округлюємо - Δt до цілого числа:

$$\Delta t = 2.$$

Відповідно до максимального значення вибірки t_{max} приймаємо n інтервалів ведучи відлік від 0 .

Визначаємо відмов Δn_t для кожного інтервалу часу .

Щільність відмов f_i розраховуємо за формулою:

$$f_i=\Delta n_t / n \qquad (3.2)$$

$f_1 = 0/12 = 0$; $f_2=f_3=f_4=f_5=f_6=f_7=f_8=f_9=f_{10}=f_{11}=f_{12}=f_{13}= f_{14}=0$;
$f_{15}= 0{,}25$; $f_{16}=0{,}25$; $f_{17}=0{,}3333$; $f_{18}=0{,}1667$.

Ймовірність відмов F_i розраховуємо за формулою:

$$F_i=\sum f_i = \sum fi\hat{} \times \Delta t \qquad (3.3)$$

$F_1=0$; $F_2=f_1+f_2=0$; $F_3=F_4=F_5=F_6=F_7=F_8=F_9=F_{10}=F_{11}=F_{12}=F_{13}= F_{14}=0$;
$F_{15}=0{,}25$; $F_{16}=0{,}5$; $F_{17}=0{,}8333$; $F_{18}=1{,}0$.

Щільність відмов:

$$f_i\hat{} = \Delta n_t / (n^* \Delta n_t) \qquad (3.4)$$

$f_1\hat{} = 0/(12*2) = 0$; $f_2\hat{}= f_3\hat{}= f_4\hat{}= f_5\hat{}= f_6\hat{}= f_7\hat{}= f_8\hat{}= f_9\hat{}= f_{10}\hat{}= f_{11}\hat{}= f_{12}\hat{}= f_{13}\hat{}= f_{14}\hat{}=0$;
$f_{15}\hat{}=0{,}125000$; $f_{16}\hat{}=0{,}125000$; $f_{17}\hat{}=0{,}166667$; $f_{18}\hat{}=0{,}083333$.

Ймовірність безвідмовної роботи:

$$P_i = 1-F_i \qquad (3.5)$$

$P_1=1-0=1$; $P_2=P_3=P_4=P_5=P_6=P_7=P_8=P_9=P_{10}=P_{11}=P_{12}=P_{13}= P_{14}=1$;
$P_{15}=0{,}7500$; $P_{16}=0{,}5000$; $P_{17}=0{,}1667$; $P_{18}=0$.

Визначимо статистичні характеристики ($\overline{t_o}$, $\overline{\sigma^2}$) і вираження для $f_{(t)}$ за даними вибірки про напрацювання до відмови:

$$t_o = (\sum_{i=1}^{n} t_i \cdot n_{\Delta t_i}) / n \qquad (3.6)$$

t_0 = (31+33+30+34+35+31+34+33+30+29+32+36) / 12 = 32,3333=32 доби

$$\overline{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (t_i - \bar{t}_o)^2}{n-1} \qquad (3.7)$$

$\sigma^2 = \overline{[}$ (31-32)² + (33-32) ² + (30-32) ² + (34-32) ² + (35-32) ² +
+ (31-32) ² + (34-32) ² + (33-32) ² + (30-32) ² + (29-32) ² + (32-32) ² +
+ (36-32) ²] / (12-1) = 4,9090 діб

Щільність нормального розподілу:

$$f(t) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[- \frac{(t_i - t_0)^2}{2\sigma^2} \right] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - t_0)^2}{2\sigma^2}} \qquad (3.8)$$

Визначимо довірчий інтервал, відповідна довірча ймовірність β=0,8; для отриманої оцінки середнього напрацювання до відмови при $t = t_0$

З додатка для β=0,8 знаходимо значення $\arg\Phi^*_{(x)}$

Абсолютна величина можливих відхилень $\bar{t}_o$ для прийнятої довірчої ймовірності β визначається з вираження:

$$\varepsilon_\beta = \overline{\sigma}_{t_o} \, arg\, \Phi^* \left(\frac{1+\beta}{2} \right) \qquad (3.9)$$

$\overline{\sigma}_{t_o}$ - середньоквадратичне відхилення оцінки $\bar{t}_o$;

$$\bar{\sigma}_{t_o} = \sqrt{\frac{\bar{\sigma}^2}{n}} = \sqrt{\frac{4{,}9090}{12}} = 0{,}6396 \ \partial i б \qquad (3.10)$$

$$\sigma = \sqrt{\bar{\sigma}^2} = \sqrt{4{,}9090} = 2{,}2156 \ \partial i б \qquad (3.11)$$

ε_β= 0,6396·1,282 =0,82 доби

$arg\,\Phi^*(x)$ - функція зворотна функції Лапласа; визначається залежно від β з додатка.

$$f(0-2) = \frac{1}{2{,}2156\sqrt{2 \cdot 3{,}14}}\ exp\left[-\frac{(1-32)^2}{2 \cdot 2{,}5156)^2}\right] = 0$$

$$f(2-4) = \frac{1}{2{,}1881\sqrt{2 \cdot 3{,}14}} exp\left[-\frac{(3-32)^2}{2 \cdot 2{,}1881^2}\right] = 0$$

Аналогічно розраховуємо значення для всіх інтервалів та заносимо до таблиці 3.2.

Довірчі кордони: $t_{он}$ $t_{ов}$

$t_{он} = t_0 - \varepsilon_\beta = 32\text{-}0{,}82 = 31{,}18$ діб (3.12)

$t_{ов} = t_0 + \varepsilon_\beta = 32+0{,}82 = 32{,}82$ діб (3.13)

Таблиця 3.2 Результати розрахунків параметрів за 2021 рік.

Інтервал часу	t_i	$n_{\Delta t}$	$f_i = \frac{n_{\Delta t}}{n}$	$f_i^{\wedge} = \frac{f_i}{\Delta t}$	$F_i = \sum f_i = \sum f_i^{\wedge} * \Delta t$	P_i	f(t)
0 – 2	1	0	0	0	0	1	0
2 – 4	3	0	0	0	0	1	0
4 – 6	5	0	0	0	0	1	0
6 – 8	7	0	0	0	0	1	0
8 – 10	9	0	0	0	0	1	0
10–12	11	0	0	0	0	1	0
12–14	13	0	0	0	0	1	0
14–16	15	0	0	0	0	1	0
16–18	17	0	0	0	0	1	0
18–20	19	0	0	0	0	1	0
20–22	21	0	0	0	0	1	0
22–24	23	0	0	0	0	1	0
24–26	25	0	0	0	0	1	0
26–28	27	0	0	0	0	1	0
28–30	29	3	0,25	0,08333	0,25	0,75	0,125
30–32	31	3	0,25	0,08333	0,5	0,5	0,125
32–34	33	4	0,3333	0,08325	0,8333	0,1667	0,16667
34–36	35	2	0,1667	0,08335	1	0	0,08333

По отриманим даним будуємо графіки:

Графік змін ймовірності безвідмовної роботи (P_i) і ймовірність відмов (F_i) у часі рис.3.2;

Графік експериментальної та теоретичної щільності розподілу ймовірності відмов рис.3.3.

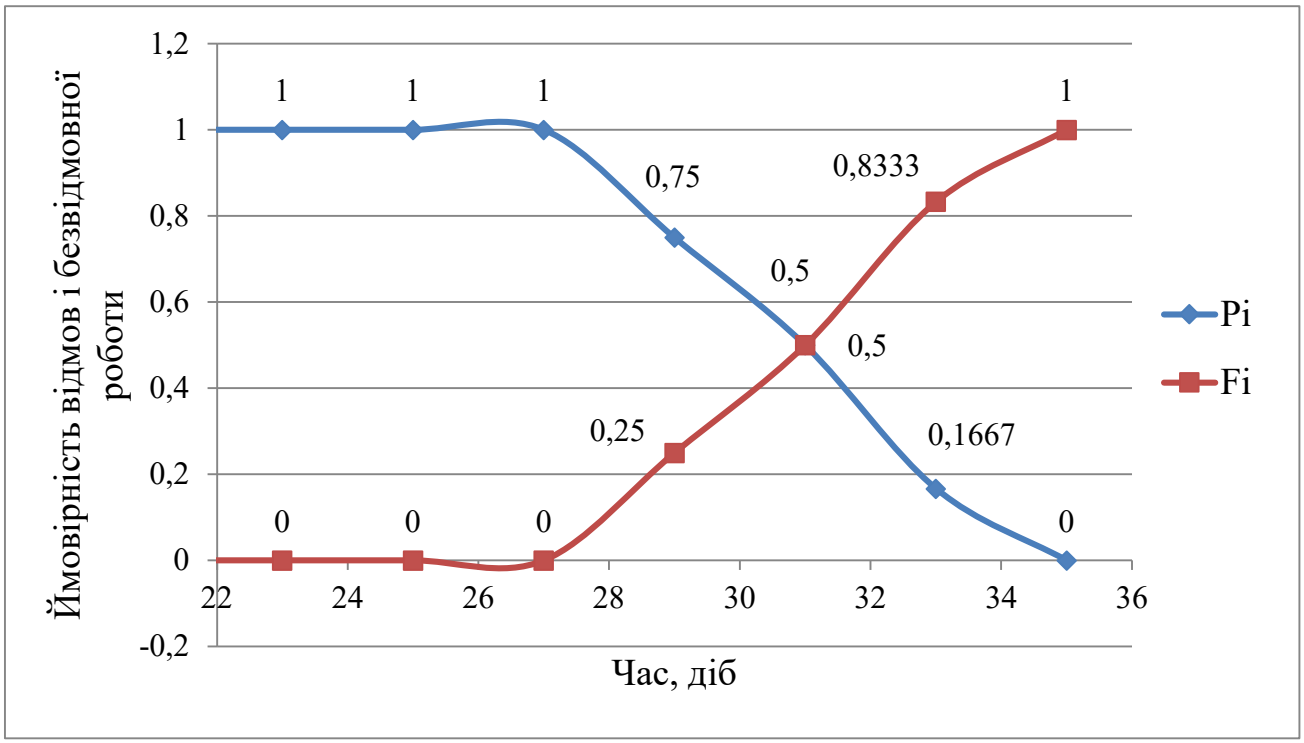


Рисунок 3.2 Графік змін ймовірності безвідмовної роботи (P_i) і ймовірність відмов (F_i) у часі.

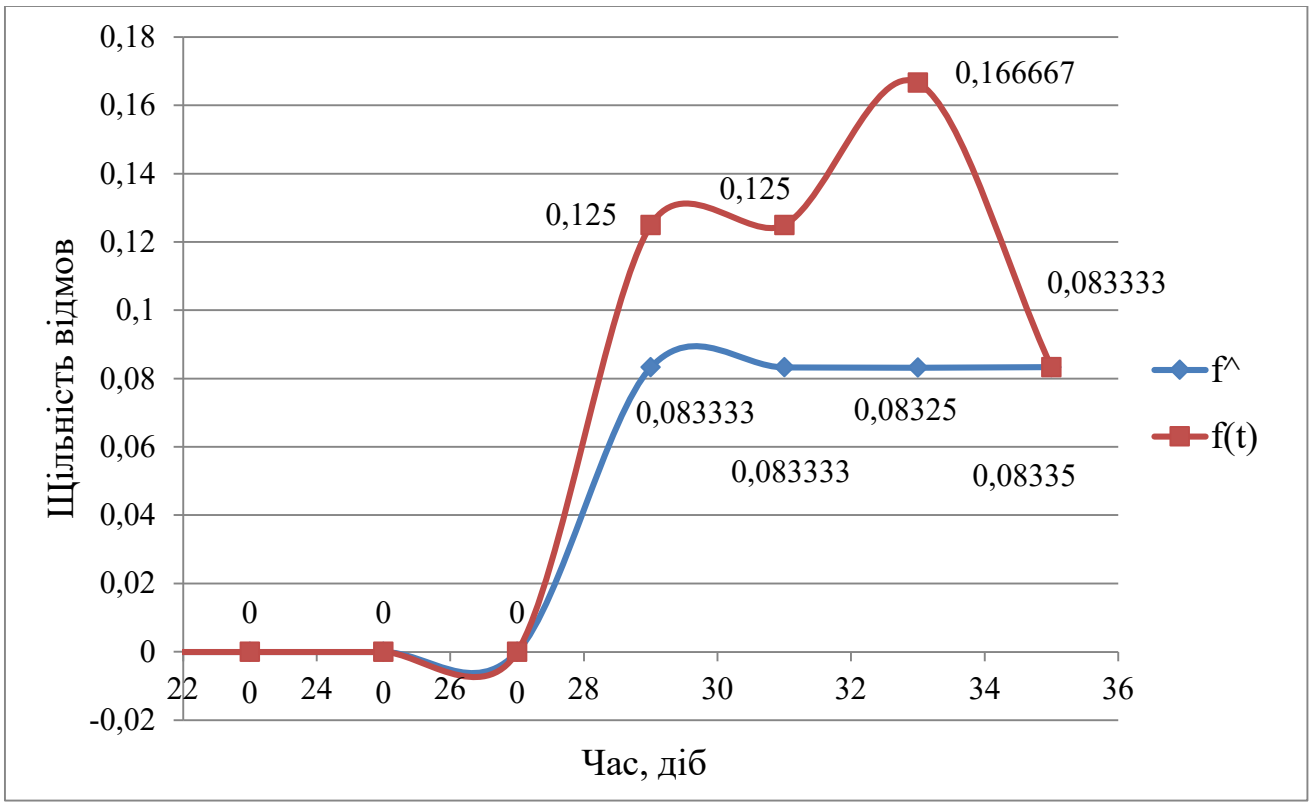


Рисунок 3.3 Графік експериментальної та теоретичної щільності розподілу ймовірності відмов.

Розрахунки за законом Вейбулла.

Перевіримо застосовність універсального закону *Вейбулла*:

Відмінністю цього закону є те, що він задає щільність розподілу ймовірності напрацювання до відмови, яка характеризується параметром масштабу a і параметром форми b.

Таблиця 3.3 Проміжні розрахунки *a* та *b*.

t_i	X	f(ti)	y_i	(X_i-X)	$(X_i-X)^2$	(Y_i-Y)	$(Y_i-Y)^2$	$(X_i-X)*(Y_i-Y)$
29	3,367296	0,041667	-3,15685	-0,1067	0,011386	-2,60239	6,772416	0,277686
30	3,401197	0,125	-2,01342	-0,0728	0,0053	-1,45896	2,128552	0,106216
30	3,401197	0,208333	-1,45408	-0,0728	0,0053	-0,89962	0,809313	0,065495
31	3,433987	0,291667	-1,06467	-0,04001	0,001601	-0,51021	0,260315	0,020415
31	3,433987	0,375	-0,75501	-0,04001	0,001601	-0,20055	0,040221	0,008025
32	3,465736	0,458333	-0,48922	-0,00826	6,83E-05	0,065243	0,004257	-0,00054
33	3,496508	0,541667	-0,24826	0,022507	0,000507	0,306205	0,093761	0,006892
33	3,496508	0,625	-0,01936	0,022507	0,000507	0,535106	0,286338	0,012044
34	3,526361	0,708333	0,208755	0,05236	0,002742	0,763218	0,582502	0,039962
34	3,526361	0,791667	0,450194	0,05236	0,002742	1,004657	1,009335	0,052604
35	3,555348	0,875	0,732099	0,081348	0,006617	1,286562	1,655243	0,104659
36	3,583519	0,958333	1,156269	0,109519	0,011994	1,710732	2,926604	0,187357
	$\overline{X}$= 3,474		$\overline{Y}$= -0,55446		∑0,050365			∑0,880816

$$f(t)=\frac{b}{a}\cdot\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}\cdot\exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^{b}\right]=\frac{16.41}{31.301}\cdot\left(\frac{1}{31.301}\right)^{16.41-1}\cdot\exp\left[-\left(\frac{1}{31.301}\right)^{16.41}\right]=0 \quad (3.14)$$

Параметр a задає масштаб кривої розподілу по осі абсцис, а параметр b визначає гостроту і асиметрію кривої щільності розподілу.

Функція розподілу, функція надійності, ймовірність відмови і інтенсивність відмов в цьому законі визначаються по формулах:

$$F(t_1) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right] = 0; \quad (3.15)$$

$F(t_2) = F(t_3) = F(t_4) = F(t_5) = 0;$

$F(t_6) = 0{,}0000000715;$

$F(t_7)=0{,}000000874;$ $F(t_8)=0{,}00000780;$ $F(t_9)=0{,}0000545;$ $F(t_{10})=0{,}003141;$ $F(t_{11})=0{,}001541;$ $F(t_{12})=0{,}006607;$ $F(t_{13})=0{,}02514;$ $F(t_{14})=0{,}08504;$ $F(t_{15})=0{,}2482;$ $F(t_{16})=0{,}5732.$

$$P(t_1) = 1 - F(t) = 1 - 0 = 1 \quad (3.16)$$

$P(t_2) = P(t_3) = P(t_4) = P(t_5) = P(t_6) = 1;$

$P(t_7)=0{,}999999;$ $P(t_8)=0{,}999992;$ $P(t_9)=0{,}999945;$

$P(t_{10})=0{,}999686;$ $P(t_{11})=0{,}998459;$ $P(t_{12})=0{,}993393;$ $P(t_{13})=0{,}974853;$

$P(t_{14})=0{,}914965;$ $P(t_{15})=0{,}751794;$ $P(t_{16})=0{,}426805.$

$$\lambda(t_1) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} = \frac{16.41}{31.3} \cdot \left(\frac{1}{31.3}\right)^{16.41-1} = 0 \quad (3.17)$$

$\lambda(t_2)=\lambda(t_3)=\lambda(t_4)=\lambda(t_5)=\lambda(t_6)=\lambda(t_7)=0;$

$\lambda(t_8)=0{,}00000102;$ $\lambda(t_9)=0{,}00000803;$ $\lambda(t_{10})=0{,}0000502;$ $\lambda(t_{11})=0{,}000262;$ $\lambda(t_{12})=0{,}001173;$ $\lambda(t_{13})=0{,}004638;$ $\lambda(t_{14})=0{,}016497;$ $\lambda(t_{15})=0{,}053594;$ $\lambda(t_{16})=0{,}160948;$ $\lambda(t_{17})=0{,}451223.$

Для визначення параметрів a і b можна використати метод найменших квадратів. В даному випадку суть цього методу полягає у тому, що по сукупності значень x_i, y_i, отриманих на підставі вибірки, визначаються такі коефіцієнти, які забезпечують найкраще розташування експериментальних крапок x_i, y_i на графіку у системі координат.

Після подвійного логарифмування функції надійності отримаємо:

$$\ln(-\ln[1 - F(t)]) = b \cdot \ln t - b \cdot \ln a. \quad (3.18)$$

Цей вираз характеризує лінійну залежність лівої його частини від $\ln t$.

Введемо наступні позначення:

$$Y = \ln(-\ln[1 - F(t)]); \quad (3.19)$$

$X = \ln x$;

$A = -b \cdot \ln a$;

$B = b$.

Тоді вираження можна записати в спрощеному вигляді:

$$Y = A + B \cdot X \tag{3.20}$$

Значення X_i і Y_i обчислюються за експериментальними даними варіаційного ряду:

$$X_i = \ln x_i ; \tag{3.21}$$

$$Y_i = \ln(-\ln[1 - F(t_i)]) \text{ , i=1,2, …,n,} \tag{3.22}$$

де: t_i -i – те значення варіаційного ряду напрацювання до відмови;

Статичне значення функції розподілу, відповідне t_i :

$$F_i = (i - 0{,}5)/n , \tag{3.23}$$

де n – число значень вибірки;

i - порядковий номер варіаційного ряду наробіток до відмови, розташованих в зростаючому порядку.

Середні значення $\overline{X}$ і $\overline{Y}$:

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{n} X_i/n = 3{,}474 \tag{3.24}$$

$$\overline{Y} = \sum_{i=1}^{n} Y_i/n = -0{,}55446 \tag{3.25}$$

Визначають коефіцієнти:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})\cdot(Y_i - \overline{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2} = \frac{0{,}880816}{0{,}050365} = 17{,}4886 \tag{3.26}$$

$$A = \overline{Y} - B \cdot \overline{X} = -0.5545 - 16.41 \cdot 3.4099 = -61{,}3101 \tag{3.27}$$

Визначають параметри закону Вейбула:

$$b = B = 17{,}4886$$

$$a = exp(-A/B) = e^{\left(\frac{61{,}3101}{17{,}4886}\right)} = 33{,}305$$

Таблиця 3.4 Статистичні та теоретичні значення щільності розподілу напрацювання до відмови

Напрацювання до відмови	Нормальне розподілення		
	f^	fнорм	fвейб
1	0	5,40697E-46	4,13135E-26
3	0	1,72172E-40	3,04224E-18
5	0	2,37757E-35	1,38417E-14
7	0	1,42387E-30	3,55343E-12
9	0	3,69803E-26	2,24025E-10
11	0	4,16519E-22	6,12757E-09
13	0	2,03453E-18	9,62839E-08
15	0	4,30981E-15	1,01927E-06
17	0	3,95928E-12	8,02738E-06
19	0	1,57739E-09	5,02382E-05
21	0	2,72537E-07	0,000261585
23	0	2,04209E-05	0,001170912
25	0	0,000663577	0,004606871
27	0	0,009351271	0,016081925
29	0,125	0,057149783	0,049036228
31	0,125	0,151468688	0,120999882
33	0,166667	0,174098679	0,192584186
35	0,083333	0,06869535	0,106494258

По результатам розрахунків будуємо узагальнюючий графік порівняння щільності розподілу напрацювання до відмови різних законів, рисунок 3.4.

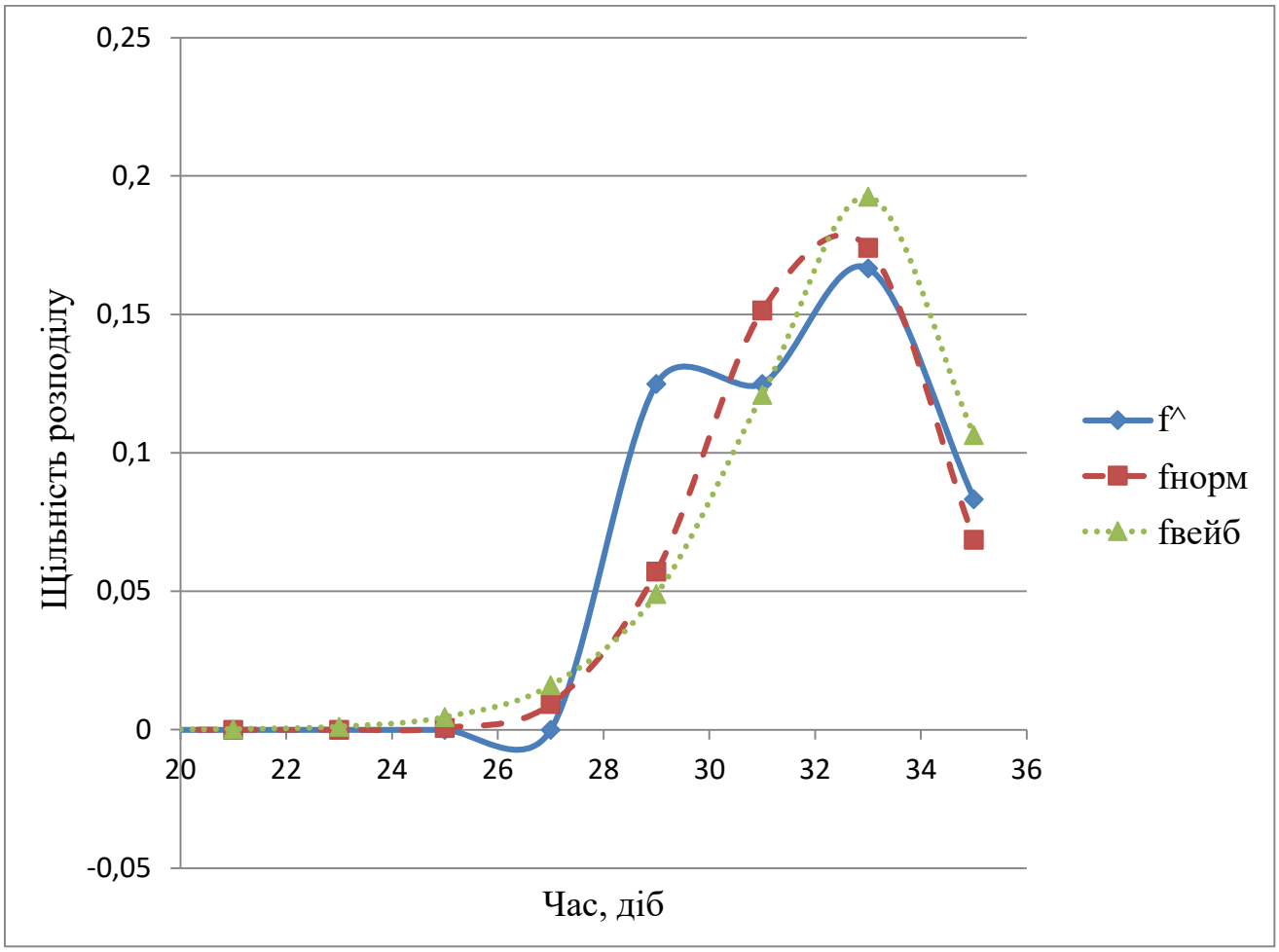


Рисунок 3.4 Графік порівняння щільності розподілу напрацювання до відмови різних законів.

Порівняння графіків показує що має місце саме нормальний закон розподілу.

3.3 Визначення закону зносу вкладиша за допомогою кореляційного аналізу

Кореляція дозволяє встановити залежність в досліджуваному діапазоні. Кореляційний аналіз застосовують коли відомі значення x та y.

Таблиця 3.5 Експериментальні дані зносу у фіксовані відрізки часу

Час *x*, годин	Знос *y*, кг
48	0,19
96	0,28
144	0,36
192	0,44
240	0,53
288	0,62
336	0,71
384	0,79
432	0,90
480	0,95
528	1,05
576	1,15
624	1,2
672	1,26
720	1,36
Сума 5682	11,79

Таблиця 3.6 Проміжні розрахунки похідних даних

	x	y	x*y	x^2	y^2	Yp	ẋYp	ΔY^2
1	48	0,19	9,12	2304	0,0361	0,143	0,047	0,002209
2	96	0,28	26,88	9216	0,0784	0,191	0,089	0,007921
3	144	0,36	51,84	20736	0,1296	0,239	0,121	0,014641
4	192	0,44	84,48	36864	0,1936	0,287	0,153	0,023409
5	240	0,53	127,2	57600	0,2809	0,335	0,195	0,038025
6	288	0,62	178,56	82944	0,3844	0,383	0,237	0,056169
7	336	0,71	238,56	112896	0,5041	0,431	0,279	0,077841
8	384	0,79	303,36	147456	0,6241	0,479	0,311	0,096721
9	432	0,9	388,8	186624	0,81	0,527	0,373	0,139129
10	480	0,95	456	230400	0,9025	0,575	0,375	0,140625
11	528	1,05	554,4	278784	1,1025	0,623	0,427	0,182329
12	576	1,15	662,4	331776	1,3225	0,671	0,479	0,229441
13	624	1,2	748,8	389376	1,44	0,719	0,481	0,231361
14	672	1,26	846,72	451584	1,5876	0,767	0,493	0,243049
15	720	1,36	979,2	518400	1,8496	0,815	0,545	0,297025
Сумма	5760	11,79	5656,32	2856960	139,0041		4,605	1,779895

Визначаємо коефіцієнт кореляції:

$$r_{xy} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot y_i - \sum x_i - \sum y_i}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (3.28)$$

$$r_{xy} = \frac{15 \cdot 5656{,}32 - 2856960 \cdot 139{,}0041}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} = 0{,}123403$$

Аналізуючи коефіцієнт кореляції r_{xy}=0,123403< 0,65, робимо висновок, що зв'язок має місце. Визначаємо коефіцієнти *a* та *b*.

$$a = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot y_i - \sum x_i - \sum y_i}{n \cdot \sum x^2 - \sum x_i} \quad (3.29)$$

$$b = \frac{\sum y_i - a \cdot \sum x_i}{n} \quad (3.30)$$

$$a = \frac{15 \cdot 5656{,}32 - 5760 \cdot 11{,}79}{15 \cdot 2856960 - 5760^2} = 0{,}00175$$

$$b = \frac{11{,}79 - 0{,}00175 \cdot 5760}{15} = 0{,}1140$$

Рівняння буде мати вигляд:

y=0.0018x+0.095 (3.31)

Або знос має залежність:

U=0.0018t+0.095 (3.32)

За даною залежністю будуємо графік 3.5

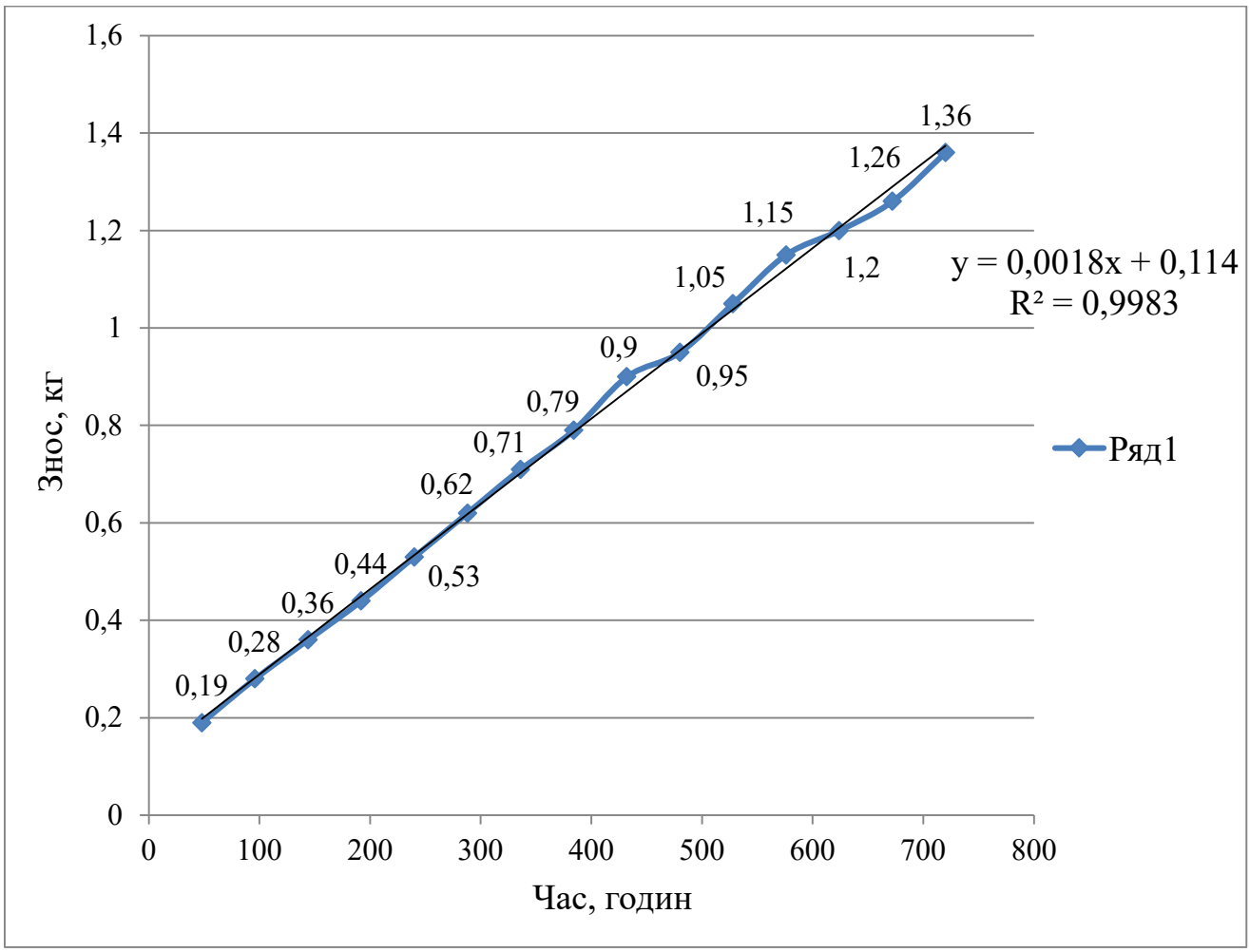


Рисунок 3.5 Графік залежності зносу у часі згідно із законом

Знаходимо дисперсію:

$$D = \frac{\sum(\Delta y_i)^2}{n} \tag{3.33}$$

$$D = \frac{1{,}779895}{15} = 0{,}1186597$$

Знаходимо середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{D} \tag{3.34}$$

$$\sigma = \sqrt{0{,}1186597} = 0{,}344470124$$

За залежностю знаходимо розрахунковий знос та верхню і нижню межу, та заносимо їх до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 Значення розрахункового зносу з відхиленнями.

Нижня межа	Розрахунковий знос	Верхня межа
-0,16277	0,1817	0,52617
-0,07637	0,2681	0,61257
0,01003	0,3545	0,69897
0,09643	0,4409	0,78537
0,18283	0,5273	0,87177
0,26923	0,6137	0,95817
0,35563	0,7001	1,04457
0,44203	0,7865	1,13097
0,52843	0,8729	1,21737
0,61483	0,9593	1,30377
0,70123	1,0457	1,39017
0,78763	1,1321	1,47657
0,87403	1,2185	1,56297
0,96043	1,3049	1,64937
1,04683	1,3913	1,73577

По отриманим даним будуємо графік (Рисунок 3.6) .

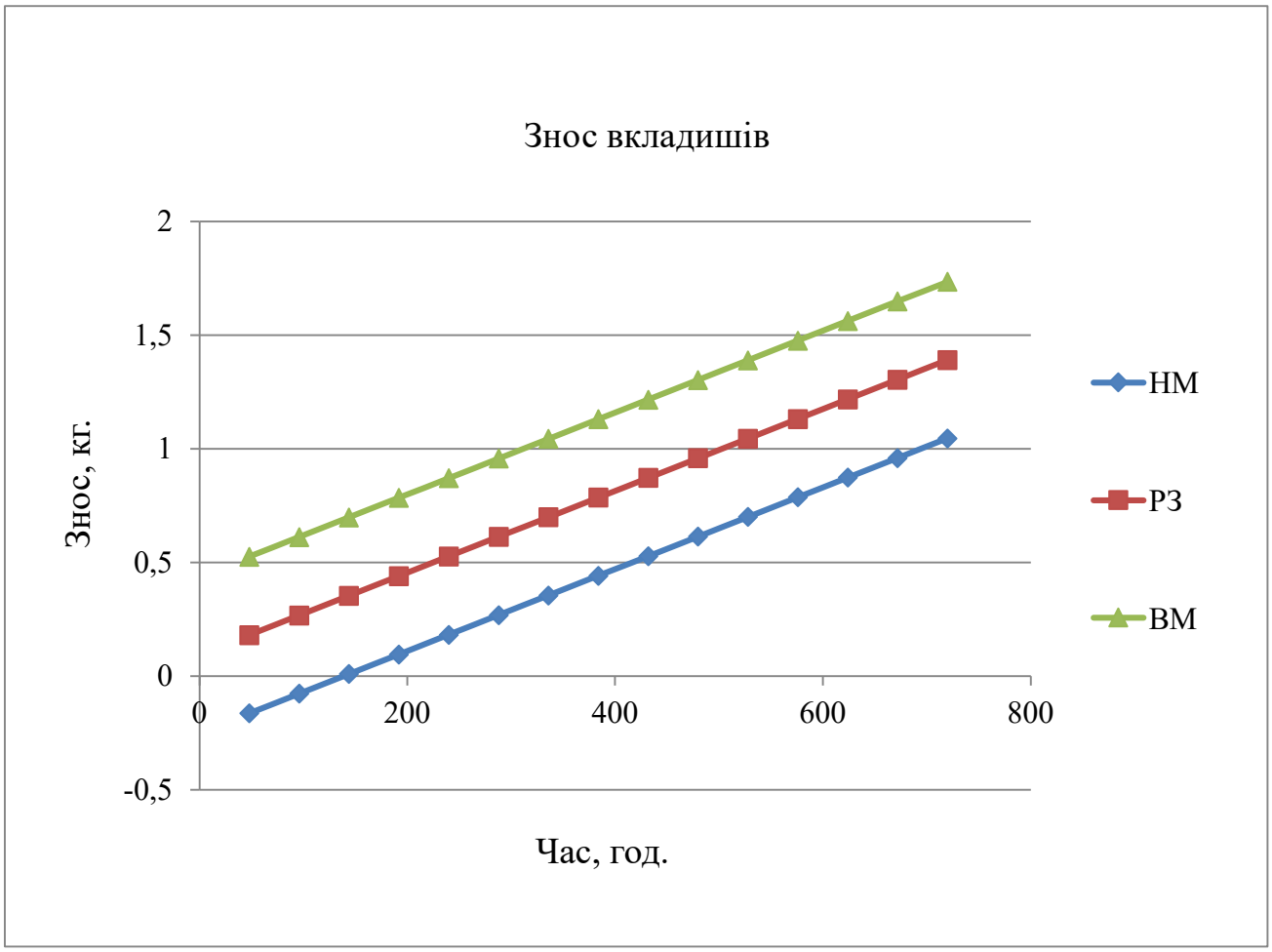


Рисунок 3.6 Графік розрахункового зносу з відхиленнями.

Визначення залежності зносу у часі в зоні аварійного зносу.

Таблиця 3.8 Експериментальні дані зносу вкладиша у фіксовані відрізки часу

Час х, годин	724	728	732	736	740
Знос у, кг	1,45	1,455	1,48	1,53	1,6

Зона аварійного зносу має не лінійну залежність.

За допомогою програми Excel проводимо математичні розрахунки та отримуємо наступну залежність.

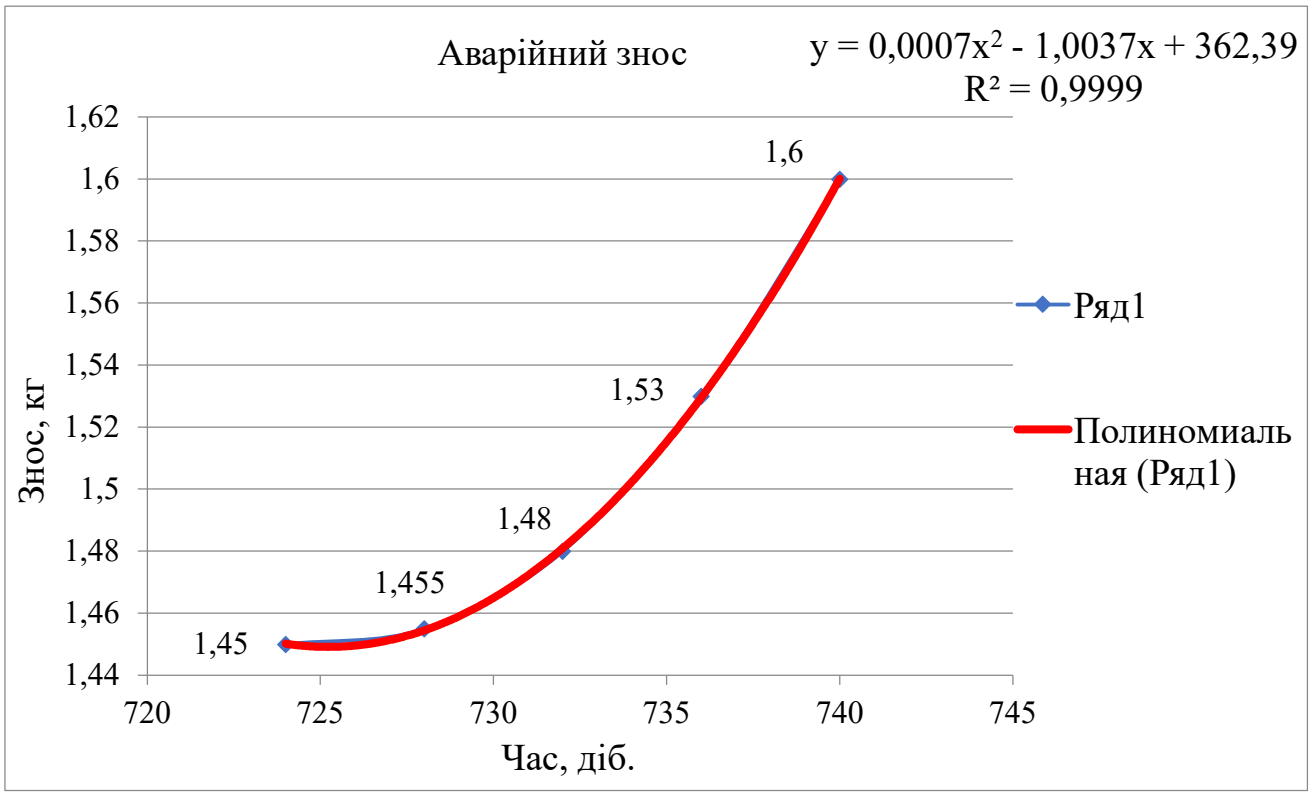


Рисунок 3.7 Графік залежності зносу у часі в зоні аварійного зносу

Закон залежності зносу у часі має наступний вигляд:

$$U=0{,}0007x^2 - 1{,}0037x + 362{,}39 \quad (3.35)$$

Дисперсія дорівнює:

$$D=1{,}63717239 \quad (3.36)$$

Знаходимо середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma=\sqrt{D} = \sqrt{1{,}63717239} = 1{,}27952038 \quad (3.37)$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз умов праці

4.1.1 Характеристика ступеня важкості праці

Прокатне виробництво відзначається складністю та різноманітністю механічного обладнання, що обумовлює переважання небезпечних фізичних факторів у процесі виробництва. Фізико-хімічні фактори стають основними лише під час нагрівання металу перед прокаткою та термічного очищення поверхні прокату.

Інструкція з охорони праці для працівників механослужби ЦГП визначає вимоги щодо безпеки під час виконання їхніх професійних обов’язків, а також забезпечення безпечних умов праці як на робочих місцях, так і на території цеху [16].

Для оцінки рівня механізації виробництва можна використовувати співвідношення між обсягами механізованої та ручної праці.

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\%, \qquad (4.1)$$

де B - рівень механізації праці, %;

M - сума людино-годин механізованої праці;

R - сума людино-годин ручної праці.

- Розрахунок для слюсаря ремонтника: M =2ч, R=6ч

$$B = \frac{2}{2+6} \cdot 100\% = 25\%$$

Результати розрахунків механізації праці для інших професій представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок механізації праці

п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино-годин у добу			% механізованої праці	% ручної праці
			Вручну	За допомогою машин	Усього		
1	Слюсар ремонтник 6-го розряду	4	6·4=24	2·4=8	32	25	75
2	Оператор стану	1	1·1=1	7·1=7	8	87,5	12,5
3	Крановий машиніст	5	0,5·5=2,5	7,5·5=37,5	40	93,75	6,25
4	Електрогазо-зварювальник	1	6·1=6	2·1=2	8	25	75

З дані таблиці можна дати висновок: слюсар ремонтник 6-го розряду - 25% механізованого, 75% ручної праці; оператор стана – 87,5% механізованого, 12,5% ручної праці; крановий машиніст – 93,75% механізованого, 6,25% ручної праці; електрогазо-зварювальник -25% механізованого, 75% ручної праці.

4.1.2 Оцінка шкідливих і небезпечних факторів виробництва, які впливають на чергового слюсаря

У виробничому процесі прокатного цеху можна виділити основні шкідливі та небезпечні фактори, які впливають на працівників. До них належать:

- Шум і вібрація, які створюють незручності та можуть негативно впливати на стан здоров’я працівників.
- Надлишкові теплові виділення, що спостерігаються на робочих ділянках, таких як нагрівальні колодязі, кліті стана, ножиці та рольганги.
- Запиленість і загазованість, які присутні на окремих етапах роботи.

- Ризик електротравм, що виникає під час роботи з електрообладнанням.
- Можливість падіння вантажів, які переміщуються крановими установками.

Опис небезпек:

1. Транспортування нагрітих злитків:
Процес переміщення злитків із нагрівальних колодязів до стана загалом є безпечним. Однак при транспортуванні злитків із незатверділою серцевиною існують ризики:

- Виплескування рідкого металу.
- Падіння гарячої окалини.
- Отримання опіків через високі температури.

2. Гаряча прокатка:
Цей етап відрізняється підвищеним рівнем небезпеки у порівнянні з холодною прокаткою через високу температуру оброблюваного металу. Додатково небезпеку створюють:

-Температурні режими нагрівання та охолодження.
-Висока швидкість охолодження під час деформації.

3. Різання металу:
Локальні зони рухомих і обертових частин ножиць створюють ризик травмування.

4. Вогневе зачищення:
Використання цього обладнання підвищує рівень небезпеки через імовірність вибуху газів.

Інші процеси, такі як охолодження, таврування або складування металу, мають незначний вплив на загальний рівень небезпеки, однак усе одно потребують дотримання правил безпеки.

Таблиця 4.2 – Технологічна карта умов праці для чергового та ремонтного слюсаря

Фактори	Норм. значення, ГДК, ГДУ	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних услов., і характер праці			Час дії фактору % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3						
1 клас небезпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,02	2			83,1
2 клас небезпеки						
Марганцю оксиди (дезинтегр)	0,3	0,56	0,87			83,1
3-4 клас небезпеки						
Масла мінеральні	5,0	6,5	0,3			83,1
Азоту диоксид	2,0	4,0	2			83,1
II. Пил переважно фиброгенної дії, мг/м^3						
Зміст кремнію диоксид – 2,5%	4,0	26,4			6,6	83,1
III. Шум, Дб	75	93		18		100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °С	27	40,5			13,5	83,1
- швидкість руху повітря, м/сек	0,2-0,5	0,27				83,1
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140			654		79,8
V. Робоча поза						
Нахил корпуса в просторі, обумовлений технологічним процесом	28,1%	30%	30			
Кількість факторів			4	2	2	

Висновок:

Робочі місця мають у наявності: 2 фактора 3 ступені, 2 фактора 2 ступені, 4 фактор 1 ступеня. По показниках робоче місце ставиться до шкідливих і тяжких умов праці, що відповідає показникам списку №1 пункт 1.

Слюсар має право відходу на пенсію за списком №1.

Відповідно до списку №1: пенсійний вік по пільгових умовах для чоловіків становить 50 років, дається додаткова відпустка 14 днів і молоко.

Шкідливості й небезпеки ЦГП ставляться до фізичної групи ДСТУ 12.4.103-83. До цієї групи ставляться пил, шум, зміни температури усередині цеху. У таблиці 4.3 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходи щодо їхнього усунення на ділянці чистових клітей.

Таблиця 4.3 – Технічні міри захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисне пристрій	Тип пристрою	Параметри Пристрою	Місце установки
1	Запиленість	Витяжна вентиляція	КС3	7800 $м^3$/год	У місцях утворення пилу
2	Запиленість	Респіратор СИЗОД	ШБ-1М	-	Індивідуально
3	Шум	Навушники противо-шумові, бируши		Придатний до 110дб	Індивідуально
4	Температура Холодний період Теплий період року	Утеплена куртка, ватяні штани, костюм з х/б тканини, черевики костюм з х/б тканини, черевики	Тн Ти	-	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини (Ангідрид хромовий, Масла)	Теж що й при запиленість	Пм	-	Індивідуально

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечений спец одягом, спец взуттям і засобами індивідуального захист [17]. До складу спецодягу входять: костюм х/б тканини, черевики, у зимовий час видається утеплена куртка й ватяні штани (ДСТУ 12.4. 103-83) [22].

4.2 Дослідження засобів захисту

4.2.1 Об'ємно-планувальні рішення будинків і споруджень цеху

Згідно з вимогами санітарних норм для прокатного виробництва передбачається облаштування санітарно-захисної зони.

У генеральному плані металургійного заводу цех гарячої прокатки тонкого листа розташований у єдиному блоці з обтискним цехом, що забезпечує передачу заготівлі в прокатний цех за допомогою внутрішньо-цехового транспорту. Прокатний цех розміщено таким чином, що переважний напрямок вітру сприяє його руху уздовж цеху — від складів готової продукції до ливарного цеху.

Ця ділянка розташована в центральній частині промислової зони. У разі зміни напрямку вітру вона може опинитися на шляху шкідливих викидів (газів і пилу) інших виробництв і водночас стати джерелом забруднення повітря для сусідніх цехів. Тому необхідно вживати заходів для мінімізації викидів у навколишнє середовище.

Площа та обсяг виробничого приміщення на одного працівника повинні відповідати встановленим нормам: не менше 15 м³ та 4,5 м² відповідно.

4.2.2 Опалення та вентиляція

Вентиляція — це сукупність заходів і пристроїв, що забезпечують створення сприятливих метеорологічних умов і чистоти повітря на робочих

місцях, а також у робочих і обслуговуваних зонах приміщень. За способом переміщення повітря вона поділяється на природну та механічну.

Для зменшення осідання пилу та зниження її концентрації у повітрі все обладнання оснащено витяжними системами (парасолями), які з'єднані з повітроводами та очисними пристроями, що видаляють забруднення) [18].

На металургійній ділянці також застосовують природну вентиляцію. У цьому випадку повітрообмін здійснюється через щілини у вікнах, дверях, воротах або через дахові ліхтарі.

Опалення побутових приміщень виконується за допомогою радіаторів, у яких як теплоносій використовується пара з температурою до 120°С. Джерелом теплопостачання є цех тепловодозабезпечення.

Дієвим засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають вимогам БНіП 2.04.05-91 передбачена вентиляція деяких робочих місць. Допустими норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Значення прийнятих параметрів повітряного середовища, що допускають, у робочій зоні приміщень

Період року	Категорія роботи з вазі	Період року на постійних робочих			Температура повітря в непостійних робочих місць, °С
		температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Середньої ваги IIб	15	75	0,2	13
Холодний	Важка III	13	75	0,3	12
Теплий	Середньої ваги IIб	16	70	0,4	15
Теплий	Важка III	15	75	0,5	13

Висновок: Параметри робочого середовища за низкою показників не відповідають встановленим нормам мікроклімату для постійних робочих місць. Це може впливати на здоров'я працівників і вимагати вжиття заходів для покращення умов праці, зокрема вдосконалення вентиляційних систем, контролю за температурними умовами та зменшення рівня пилу й інших шкідливих факторів.

4.2.3 Природне та штучне висвітлення

Для забезпечення комфортних умов праці важливим аспектом є раціональне освітлення (згідно з ДБН 11-4-79). Недостатнє освітлення ускладнює виконання робочих завдань, знижує продуктивність праці, впливає на зорову працездатність і може призвести до нещасних випадків та виникнення професійних захворювань. [19].

Характеристика приміщення ділянки чистової групи клітей:

- характер робіт — середня точність
- розмір об'єкта розпізнавання, мм — від 1 до 5
- розряд зорової роботи — V
- підрозряд роботи — В
- контрастність об'єкта розпізнавання — середня
- фон — середній
- E_H – штучна, лк — 150

Для ремонтних робіт передбачене штучне освітлення. На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на кілька видів: робоче (для виконання робіт в нічний час або в місцях із недостатнім природним освітленням), аварійне (для роботи під час відключення основного освітлення), евакуаційне (для евакуації людей у разі аварійного відключення робочого освітлення) та охоронне. У разі потреби, деякі світильники можуть використовуватись також для чергового освітлення.

Проектування штучного освітлення включає дві системи: загальне (рівномірне або локалізоване, з урахуванням розташування робочих місць) та комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Використання лише місцевого освітлення неприпустиме, оскільки різкий контраст між яскраво освітленими та тіньовими зонами може призвести до стомлення очей, зниження швидкості роботи та підвищення ризику нещасних випадків. На ділянці використовуються дугові ртутні лампи типу ДРЛ-400, ДРЛ-100, а також лампи накалювання типів «Універсаль», «Глубокоизлучатель» і «Астра».

На ділянці використається природне й штучне висвітлення.

Прийнята система природного висвітлення - бічна.

Слюсар повинен мати V розряд зорової роботи. При загальній системі висвітлення освітленість становить Е = 150 лк.

Значення КЕО, обумовлене з урахуванням зорової роботи становить e = e (III) = 1,5 - при бічному висвітленні, без стійкого сніжного покриву.

Коефіцієнт світлового клімату m = 0,8. Коефіцієнт сонячності клімату c = 0,7. Нормований коефіцієнт природної освітленості

$$e_н = e \cdot m \cdot c = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 0,84\ \%. \qquad (4.2)$$

Аварійне висвітлення для продовження роботи

$$E_{ав.раб.} = 10\% \cdot E = 0,1 \cdot E = 0,1 \cdot 150 = 15\ лк. \qquad (4.3)$$

Аварійне висвітлення для евакуації людей

$$E_{ав.эв.} = 5\% \cdot E = 0,05 \cdot E = 0,05 \cdot 150 = 7,5\ лк. \qquad (4.4)$$

4.2.4 Побутові та допоміжні приміщення

Згідно з вимогами ДБН 2.09.04-87, в цеху мають бути передбачені побутові та допоміжні приміщення, такі як душові, гардероби, умивальники та санвузли. Норми забезпечення цеху санітарно-побутовими приміщеннями і пристроями для створення комфортних умов праці для робітників наведені в таблиці 7.5.

Умивальники і душові повинні розміщуватися в окремих приміщеннях, що з'єднані з гардеробами. Для виробничих процесів, які супроводжуються значним виділенням тепла, передбачаються додаткові умивальники з душовими сітками. Кількість умивальників визначається за нормою: один кран на кожні 10 осіб. У гардеробних приміщеннях, де використовується закритий спосіб зберігання, кількість місць для зберігання повинна відповідати числу працюючих у всіх змінах.

Таблиця 4.5 - Норми забезпечення цеху санітарно-побутовими приміщеннями й пристроями

п/п	Найменування	Одиниці виміру	Вимога по нормах, СНіП 2-92-76	Фактич.
.	Душові	Шт.	50	50
	Умивальники	Шт.	17	17
.	Санвузли	Шт.	24	22
	Кімната особистої гігієни жінок	Шт.	8	8
.	Штучна вентиляція для робочих місць	Шт.	102	100
.	Медпункт	Шт.	1	1
	Їдальня	Шт.	1	1
	Буфет	Шт.	2	2

4.2.5 Виробничий шум і вібрація

За походженням шум буває механічний, виникаючий у результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому й робочому ході; аерогідродинамічний, що виникає при великих швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, виникаючий у результаті зіткнення твердих тіл; термічний, генеруємий при згоранні газоподібного палива у форсункових пристроях.

Шум різної інтенсивності й частоти, довгостроково впливаючи на працюючих, приводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, що сприймається й аналізується корою головного мозку, шум приводить до перенапруги центральної нервової системи й розладу функцій внутрішніх органів і систем людини [16].

Для зменшення шуму в джерелі його утворення заміняють ударні взаємодії деталей безударними, зворотно-поступальні рухи - обертальними; демпфірують коливання суміжних деталей й окремих вузлів агрегату шляхом зчленування їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, бітумом, бітумними картонами, азбестом й ін.; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь.

Для ослаблення вібрацій, яка утворюється в наслідок механічної роботи устаткування, всі агрегати, що створюють вібрації (робочі машини, двигуни, вентилятори й т.п.), установлюють на самостійних фундаментах, віброізольованих від підлоги й інших конструкцій будинків, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин або пружних матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по воздуховодам і трубопроводах приєднання їх до вентиляторів і насосів виробляється за допомогою гнучкої вставки із прогумованої тканини або гумового патрубка.

4.2.6 Виробничі випромінювання

Температурний режим у виробничих приміщеннях або їх ізольованих частинах визначається тепловими виділеннями устаткування, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів і готової продукції, а також сонячною радіацією, яка проникає в цех через відкриті та засклені прорізи. Частина тепла, що потрапляє в цех, віддається назовні, а інша надлишкова кількість теплоенергії нагріває повітря в робочих приміщеннях.

Працівники гарячих цехів металургійних підприємств постійно або періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях змінюється в широких межах залежно від розмірів і температури джерел випромінювання, а також відстані до них.

Для поліпшення умов праці в гарячих цехах і захисту працівників від теплового впливу використовують такі методи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджуваних екранів, рам, щитів, завіс та інших пристроїв; теплоізоляцію і охолодження робочих місць, таких як пости керування, кабіни машиністів кранів та ін.; природну та механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнутих приміщень печей під час ремонту; спеціальний одяг та індивідуальні засоби захисту, такі як щитки, екрани, окуляри, світлофільтри; а також раціональну організацію режиму праці та відпочинку.

Одним із ефективних заходів для зменшення шкідливого теплового впливу є мінімізація часу перебування нагрітого металу та шлаків у виробничих приміщеннях.

4.2.7 Заходи безпеки праці

З метою попередження нещасних випадків забороняється:

- починати й вести роботу при яких-небудь несправностях у механізмах;
- самовільно, поза встановленим порядком, надавати руху машині;
- допускати сторонніх осіб до працюючої машини;

Ремонт і регулювання шестеренної кліті робити тільки при зупиненому двигуні й знятій напрузі. Проводку, що підводить струм (загально цехова до 1000 В та для живлення головних силових агрегатів-до 6000 В), повинна бути добре ізольовані й захищена від ушкоджень. Машина, електродвигун й електроапаратура повинні бути надійно заземлені. Всі проходи навколо машини повинні бути вільні від сторонніх предметів. Підлога навколо машини повинна представляти рівну неслизьку поверхню [21]

Робоче місце, повинне бути добре освітлено.

При монтажі керуватися вимогами безпеки, розробленими монтажними організаціями.

При консервації керуватися вимогами безпеки відповідно ДСТУ 9.104-78.

4.2.8 Пожежна безпека

Ділянка має категорію за пожежонебезпекою Г, що передбачає наявність як не горючих речовин (розпечених або розплавлених), так і горючих, які спалюються або використовуються як паливо. Споруда ділянки чистових клітей має II ступінь вогнестійкості (будівлі з несучими та огороджувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, що оснащені листовими й плитними негорючими матеріалами).

Вогнетривкість конструкцій:

- Несучі й сходові клітки — 2 год.

- Самонесучі конструкції — 1 год.
- Зовнішні несучі конструкції — 0,25 год.
- Внутрішні несучі конструкції — 0,25 год.
- Колони — 2 год.
- Сходові площадки, щаблі, балки, марші сходових кліток — 1 год.
- Плити, настили та інші несучі конструкційні перекриття — 0,75 год.

До первинних засобів пожежогасіння в цеху належать: вогнегасники ВВ-5 (15 шт.), ВВ-10 (24 шт.), ВВП-1Д (28 шт.), а також пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні цебра, совкові лопати, багри, ломи, сокири).

Цех оснащений внутрішнім протипожежним водопроводом із пожежними кранами та рукавами [20].

4.2.9 Розрахунок пеногенераторів маслопідвалу

Визначимо кількість пеногенераторів, порошку й води, необхідних для гасіння маслопідвалу, у якому розміщуються маслопроводи, апаратура, баки та насоси живлення ділянки чистових клітей рідкої система змащення та пластичної.

Вихідні дані: розмір маслопідвала L=57, B=27 м.

1. Визначимо площу охоплену пожежею:

$$F = L \cdot B, \qquad (4.5)$$

$$F = 57 \cdot 27 = 1540 \text{ м}^2$$

2. Секундна витрата хімічної піни:

$$q = F \cdot i, \qquad (4.6)$$

де i=0,5 дм^3/(з·м^2) – інтенсивність подачі піни.

$$q = 1540 \cdot 0,5 = 770 \text{ дм}^3 / \text{с}$$

3. Необхідна кількість пеногенераторів:

$$n = \frac{q}{q_0}, \qquad (4.7)$$

де: q_0 – продуктивність пеногенератору, дм/с.

Приймаємо пеногенератор типу ПГ-50 з q_0=45...50…50дм/с.

$$n = \frac{770}{45} = 17{,}1 \text{ шт.}$$

приймаємо 17 штук.

4. Потреба в пеногенераторном порошку:

$$Q = q_1 \cdot t \cdot n, \qquad (4.8)$$

де: q_1=1,2 кг/с- витрата порошку пеногенератора ПГ-50;

t=20 з - час гасіння;

n=17 - кількість пеногенераторів.

$$Q = 1{,}2 \cdot 20 \cdot 17 = 408 \text{ кг}$$

5. Потреба води при гасінні пожежі для утворення піни:

$$W = n \cdot q_2, \qquad (4.9)$$

де: q_2=10 дм^3/з – витрату води на утворення піни, що подається в резервуар пеногенератору ПГ-50.

$$W = 17 \cdot 10 = 170 \text{ дм}^3/\text{с}$$

4.3 План ліквідації аварії

Ліквідація аварії (далі надзвичайна ситуація НС) здійснюється силами й засобами підприємств, установ і організацій незалежно від їхньої

організаційно-правової форми, органів місцевого самоврядування, органів виконавчої влади суб'єктів України, на території яких зложилася надзвичайна ситуація, під керівництвом відповідних комісій з надзвичайних ситуацій.

До ліквідації аварії можуть залучатися Збройні сили України, Війська цивільної оборони України, інші війська й військові формування відповідно до законодавства України.

Ліквідація надзвичайної ситуації вважається завершеної по закінченню проведення аварійно-рятувальних і інших невідкладних робіт.

Рятувальні роботи. Рятувальні й інші невідкладні роботи у вогнищах поразки включають:

- розвідку вогнища поразки, у результаті якої одержують дійсні дані про обстановку, що склалася;

- локалізацію й гасіння пожеж, порятунок людей з палаючих будинків;

- розшук і розкриття завалених захисних споруджень, розшук і витяг із завалів потерпілих;

- надання потерпілим медичної допомоги, евакуація уражених у медичні установи, евакуація населення із зон можливого катастрофічного впливу (затоплення, радіаційного й іншого зараження);

- санітарна обробка людей, знезаражування транспорту, технічних систем, будинків, споруджень і промислових об'єктів;

- невідкладні аварійно-відбудовні роботи на промислових об'єктах.

Розвідка в найкоротший термін повинна встановити характер і границі руйнувань і пожеж, ступінь радіоактивного й іншого виду зараження в різних районах вогнища, наявність уражених людей і їх стан, можливі шляхи введення рятувальних формувань і евакуації потерпілих. За даними розвідки визначають обсяги робіт, уточнюють способи ведення рятувальних і аварійних робіт, розробляють план ліквідації наслідків надзвичайної події.

У планах ліквідації наслідків намічають конкретний перелік невідкладних робіт, установлюють їхню черговість. З урахуванням обсягів і

строків проведення рятувальних робіт визначають сили й засобу їх виконання. У першу чергу в плані необхідно передбачати роботи, спрямовані на припинення впливи зовнішнього фактору на об'єкт (якщо це можливо), локалізацію вогнища поразки, постановка засобів, що перешкоджають поширенню небезпеки по території об'єкта. Для своєчасного й успішного проведення рятувальних робіт планується проведення цілого ряду невідкладних заходів:

- обладнання при необхідності проїздів у завалах і на забруднених ділянках; устаткування тимчасових шляхів руху транспорту (так званих колонних шляхів);

- локалізація аварій на мережах комунально-енергетичних систем; відновлення окремих ушкоджених ділянок енергетичних і водогінних мереж і споруджень;

- зміцнення й обвалення конструкцій будинків і споруджень, що перешкоджають безпечному проведенню рятувальних робіт.

У якості рятувальних сил використовують навчені рятувальні формування, створювані завчасно, а також знову сформовані підрозділи із числа працівників промислового об'єкта (підрозділів цивільної оборони об'єкта). Рятувальні формування можуть бути підлеглі керівництву об'єкта або адміністрації району, міста, області.

У якості технічних засобів використовують як об'єктову техніку (бульдозери, екскаватори зі змінним устаткуванням, автомобілі-самоскиди, автогрейдери, моторні й причіпні ковзанки, пневматичний інструмент і т.д.), так і спецтехнікові, що перебуває в розпорядженні рятувальних формувань (спеціальні підйомно-транспортні машини, викорчувачі-збирачі, ручний рятувальний інструмент, бетоноломи, засобу контролю й життєзабезпечення).

Особливе місце в організації й веденні рятувальних робіт займає пошук і звільнення з-під завалів потерпілих. Їхній пошук починається з уцілілих підвальних приміщень, дорожніх споруджень, вуличних підземних переходів,

у зовнішніх віконних і сходових приямків, просторів біля стін нижніх поверхів будинків; далі обстежиться весь, без винятку, ділянка рятувальних робіт. Люди можуть перебувати також у порожнинах завалу, які утворюються в результаті неповного обвалення великих елементів і конструкцій будинків. Такі порожнини найчастіше можуть виникати між збереженими стінками будинків і нещільно лежачими балками або плитами перекриття, під сходовими маршами.

Порятунок людей, що потрапили в завали, починають із ретельного огляду завалу, при цьому усувають умови, що сприяють обваленню окремих конструкцій. Далі намагаються встановити зв'язок з, що потрапили в завали (голосом або перестукуванням). У завалах проробляють прохід збоку або зверху з одночасним кріпленням нестійких конструкцій і елементів. Підходи до людей, що перебувають у завалі, слід вести можливо швидше, уникаючи трудомістких робіт і використовуючи порожнини в завалах приміщення, що збереглися, коридори й проходи. Завжди слід пам'ятати, що використання для розбирання завалів важкої техніки різко прискорює процес, але може завдати непоправної шкоди потерпілим.

Значна частина робіт у вогнищі поразки припадає на локалізацію й ліквідацію пожеж. Ці роботи роблять формування пожежогасіння системи цивільної оборони, штатні пожежні частини промислових об'єктів, пожежні частини територіального підпорядкування у взаємодії з рятувальними формуваннями.

Дуже важливо якнайшвидше оцінити обстановку, угадати розвиток пожеж і на цій основі прийняти правильний розв'язок по їхній локалізації й гасінню. При локалізації на шляху поширення вогню (з урахуванням напрямку вітру) улаштовують відсічні смуги: на напрямку поширення пожежі розбирають або обрушують спаленні конструкції будинків, повністю видаляють із відсічної смуги легкозаймисті матеріали й суху рослинність: для

створення відсічної смуги шириною до 50-100 м необхідна дорожня техніка (бульдозери, грейдери і т.п.).

Пожежні підрозділи в першу чергу гасять і локалізують пожежі там, де перебувають люди. Одночасно з гасінням пожеж евакуюють людей. При відшукуванні й евакуації з палаючого будинку людей можна користуватися деякими правилами:

- пожежа в будинку поширюється переважно по ліфтових шахтах, сходових клітках, по вентиляційних коробах;

- цілі віконні прорізи в палаючому будинку свідчать про те, що в цьому приміщенні немає людей або вони не в змозі добратися до вікон;

- сильне полум'я у віконних прорізах свідчить про повний розвиток пожежі при великій кількості спаленних матеріалів;

- сильне задимлення без полум'я – ознака швидкого поширення вогню схованими шляхами й по конструкціях; якщо при цьому дим густий і темний, те це означає горіння при недоліку кисню.

Роботам з ліквідації вогнищ поразки СДОР, як правило, передують або проводяться одночасно заходи, спрямовані на зниження величини викиду й розтікання СДОР на місцевості, зменшення інтенсивності випару отруйних речовин і зниження глибини поширення зараженого повітря. Для цього проводять роботи з:

- обмеженню й призупиненню викиду СДОР шляхом перекриття кранів і засувок на магістралях подачі СДОР до місця аварії, забивання отворів на магістралях і ємностях, перекачування рідини з аварійної ємності в резервну;

- обваловування місць розливу СДОР, обладнання пасток при відсутності обвалування або піддонів для ємностей;

- збір, що розлився СДОР у закриті резервні ємності (при наявності обвалування або піддонів);

- постановка відсічних водяних завіс на шляху поширення хмари зараженого повітря (для зниження глибини його поширення);

- ізоляція дзеркала розливу СДОР піною, поглинання отруйних речовин адсорбентами.

Після проведення цих заходів знезаражують території.

Визначення матеріального збитку й числа жертв. Нанесений НС матеріальний збиток складається із прямого (руйнування промислових об'єктів) і непрямого збитків (недоотриманий дохід, товари, матеріальні цінності).

Для визначення прямого збитку необхідно знати вартість основних фондів виробництва до й послу моменту настання НС. Їхня різниця і є розмір прямого матеріального збитку. Для його визначення необхідно мати у своєму розпорядженні дані про ступінь поразки об'єкта. Вона визначається, виходячи або із чисельного значення ураженої площі об'єкта стосовно його загальної площі, або числа уражених елементів цього об'єкта до їхнього загального числа. Оскільки передбачити місце виникнення й масштаб надзвичайної події на об'єкті неможливо, то застосовують стохастичну основу для визначення ступеня поразки об'єкта. Для майданного об'єкта (відношення фасадної ширини об'єкта до його глибини не перевищує 2:1) вона є математичним очікуванням випадкової величини, яка може ухвалювати різні значення при відповідних імовірностях: середня величина $D = D_i P_i$.

Збиток і число жертв при НС підраховують, як правило, при проведенні комплексу рятувальних робіт або після них.

План ремонтно-відбудовчих робіт. Готовність підприємства до виконання відбудовних робіт оцінюється наявністю проектно-технічної документації по варіантах відновлення, забезпеченістю робочої силою й матеріальними ресурсами.

Планування відновлення працездатності підприємства може передбачати як першочергове відновлення, так і капітальне. Перше може бути виконане силами самого об'єкта, що створює для цих цілей відбудовні бригади. У проекті відновлення висвітлюються наступні питання:

- обсяг робіт по відновленню з розрахунками потреб у робочій силі, матеріалах, будівельній техніці, устаткуванні деталях, інструменті;

- оптимальні інженерні розв'язки по відновленню працездатності підприємства;

- календарний план або сітковий графік відбудовних робіт, черговість відновлення цехів, виходячи з важливості їх у випуску основної продукції;

- склад відбудовних бригад і інше.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням цеху гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь» показало , що основною причиною недосконалості шпиндельного пристрою є інтенсивний знос вкладишів.
2. На підставі зібраних даних про періодичність замін вкладишів на безперервному широкоштабному стані 1680 було встановлено, що вкладиші зношуються саме за нормальним законом розподілу.
3. Шляхом кореляційного аналізу було встановлено графічну залежність зносу вкладиша у часі.
4. Враховуючи всі причини зносу вкладиша було запропоновано замінити систему змащення «масло – туман» на більш ефективну «масло – повітря».
5. Для дослідження використовувався штангенциркуль, за допомогою якого вимірювався знос вкладиша через рівні проміжки часу. Для математичної обробки даних та побудови графічної залежності застосовувалась програма Excel.
6. Результати проведених досліджень можуть знайти застосування не лише на ПАТ «Запоріжсталь», а й на інших підприємствах чорної та кольорової металургії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жук А. Я., Желябина Н. К. Механічне устаткування цехів по виробництву металів та сплавів: Навчальний посібник. /Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 1998. 216 с.
2. Жук А. Я., Бойко О. В., Таратута К. В., Коваль М. В. Напрями творчого проектування та його техніко-економічне обґрунтування Книга 2. Київ: Кондор, 2012. 537 с.
3. Жук А. Я., Таратута К. В., Коваль М. В. Напрями творчого проектування та його техніко-економічне обґрунтування Книга 1. Київ: Кондор, 2012. 539 с.
4. Жук А. Я., Малишев Г. П., Желябіна Н., Таратута К. В. Монтаж металургійного обладнання. Київ: Кондор, 2018. 330 с.
5. Жук А. Я., Малишев Г. П., Желябіна Н., Таратута К. В. Технічне обслуговування металургійного обладнання. Київ: Кондор, 2017. 288 с.
6. Жук А. Я., Малишев Г. П., Таратута К. В. Ремонт металургійного обладнання. Київ: Кондор, 2017. 236 с.
7. Заблонский К. І. Деталі машин: Підручник. Одеса: Астропринт, 1999. 404 с.
8. Літовченко П. І., Іванова Л. П. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посіб. / – Х. : НА НГУ, 2016. 306 с.
9. Геворкян Е. С., Тимофеєва Л. А., Нерубацький В. П. Інтегровані технології обробки матеріалів. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 238 с.
10. Таратута К. В., Востоцький С. М. Основи планування ремонтних робіт. Методичні вказівки до виконання практичних, контрольних та самостійних робіт для студентів ЗДІА спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», рівень вищої освіти – бакалавр. Запоріжжя, 2018. 67с.

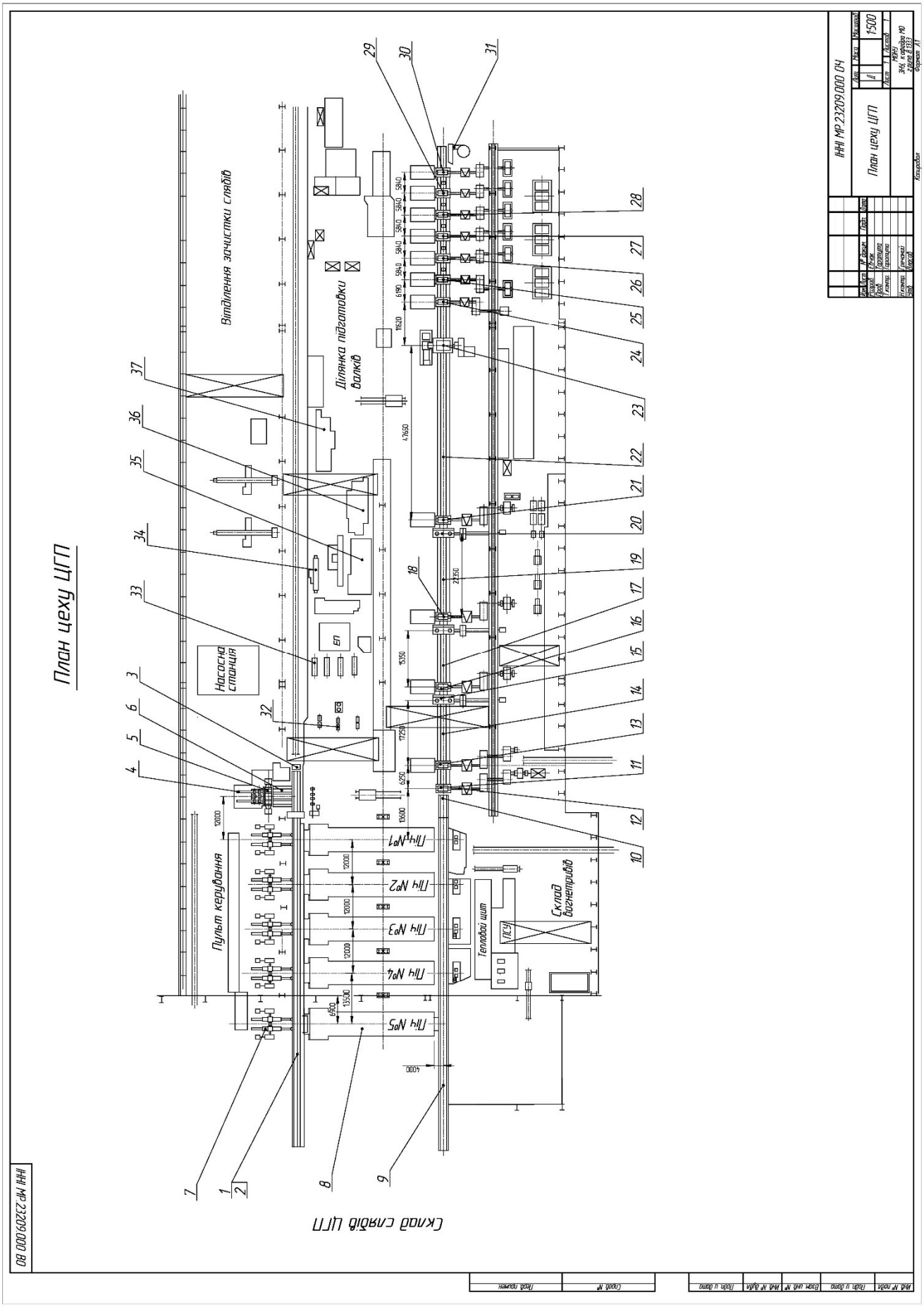
11. Седуш В. Я. Надійність, ремонт й монтаж металургійних машин. Київ, Донецьк: Вища шк.., 1981. 264 с.
12. Седуш В. Я. Надійність, ремонт й монтаж металургійних машин: Підручник. - 4-е вид., перероб. І доп.- Донецьк: ТОВ « Юго-Восток, Лтд», 2008. 379 с.
13. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В. Я. Технічне діагностування механічного обладнання: Підручник. : ТОВ « Юго-Восток, Лтд», 2007. 447 с.
14. Шишков М. М. Марочник сталей і сплавів: Довідник. Вид. 3-є, доповнене. Донецьк: Юго-Восток, 2002. 456с.
15. Ткачук К. Н., Иванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г. Довідник по охороні праці на промисловому підприємстві.- К.: Техніка, 1991.- 185 с.
16. Жидецький В. И. Основи охорони праці – Львів, Афіша, 2002.
17. НПАОП 0.00-4-01-08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (електронний ресурс) // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. 2008.
18. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення , вентиляція и кондиціювання. (електронний ресурс) // Київ, Мінрегіон України. 2013.
19. ДБН В. 2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків ш споруд. Природне і штучне освітлення (електронний ресурс) // Мінбуд України. 2006.
20. ДБН В 1.1.7 – 2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. Затверджено наказом №237 Мінрегіону України від 31.10.2016 та введений в дію з 01.06.2017р.-К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.
21. Геврик Є.О. Охорона праці: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280с.

22. Siddhartha Ray. "Principles and Applications of Metal Rolling". The book covers a wide range of topics related to metal rolling technology, including mechanical processes, rolling parameters, equipment designs, and their applications. Cambridge University Press, 2015. 320 pages.
23. Sachs E. M., Raff W. G. "Rolling Process Simulation and Design". A detailed examination of mathematical modeling and the design of rolling mechanisms. John Wiley & Sons, 1994. 425 pages.
24. John Pittner , Marwan A. Simaan. "Simulation of Industrial Processes for Rolling Mill Applications". The book focuses on methods for simulating and optimizing industrial rolling processes. Published by Springer in 2011, consists of 426 pages.
25. https://welding-expert.com/uploads/media/Weldingguide_ENGnew.pdf - Bohler welding. Filler metals bestseller for joining application. Voestalpine Böhler Welding Austria GmbH Böhler-Welding-St. 1 8605 Kapfenberg / AUSTRIA, 518 page.
26. Огінський Й. К., Таратута К. В., Шевченко І. А., Ковязін О. С., Васильченко Т. О. Методичні вказівки до підготовки випускної кваліфікаційної роботи магістра для студентів ЗДІА спеціальності 133 «Галузеве машино-будування» ОПП – «Металургійне обладнання» рівня вищої освіти – магістр /; Запорізька державна інженерна академія. Запоріжжя: ЗДІА, 2018. 76 с.

ДОДАТКИ

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кількість листів	Формат
1	Креслення загального виду	4 4	А1 А4
2	Складальні креслення	2 3	А1 А4
3	Деталювання	1 1 1 1	А1 А2 А3 А4
4	Плакати дослідницької частини	2	А1


План цеху ЦГП
Склад готової ЦГП
Пульт керування
Лінія №1
Лінія №2
Лінія №3
Лінія №4
Лінія №5
Насосна станція
Ділянка підготовки валків
Витягання зачистки слябів
Тепловий шит
Склад відцентрів
ІНН МР 232090000 ВО
План цеху ЦГП
ІНН МР 232090000 ОЧ
1500

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Найменування	Кол.	Приміт.
				Документація		
		1		Верхній пічний рольганг		
		2		Опускний упор		
		3		Кінцевий упор		
		4		Зіштовхувач слябів		
		5		Підйомний стол		
		6		Шлепер ціпковий		
		7		Здвоєний штовхатель		
		8		Нагрівальна піч		
		9		Нижній пічний рольганг		
		10		Рольганг перед "Дуо"		
		11		Чернова кліть "Дуо"		
		12		Рольганг перед кліттю № 1		
		13		Чернова кліть №1		
		14		Рольганг перед кліттю № 2		
		15		Еджер №1 і №2		
		16		Чернова кліть №2		
		17		Рольганг перед кліттю № 3		
		18		Чернова кліть №3		
		19		Рольганг перед кліттю № 4		
		20		Еджер №3		
		21		Чернова кліть №4		
		22		Проміжний рольганг		
		23		Установка летючих ножиць		
		24		Чистовий окаліноломатель		
		25		Чистова кліть №5		

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Євчак		
Пров.		Тарапута		
Н.контр.		Гречаний		
Утв.		Власов		

ІННІ МР .23209.000 ОЧ

План цеху ЦГП

Лит.	Лист	Листов
Д	1	1

МОНУ
ЗНУ, кафедра МО
група 8.1333

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Найменування	Кол.	Приміт.
		26		Чистова кліть №6		
		27		Чистова кліть №7		
		28		Чистова кліть №8		
		29		Чистова кліть №9		
		30		Чистова кліть №10		
		31		Вентиляція клітей 6–10		
		32		Система охолодження полоси		
		33		Система гідросбиву окаліни		
		34		Продольно-шліфувальний станок		
		35		Вальце-шліфувальний станок		
		36		Вальце-шліфувальний станок		
		37		Вальце-шліфувальний станок		

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

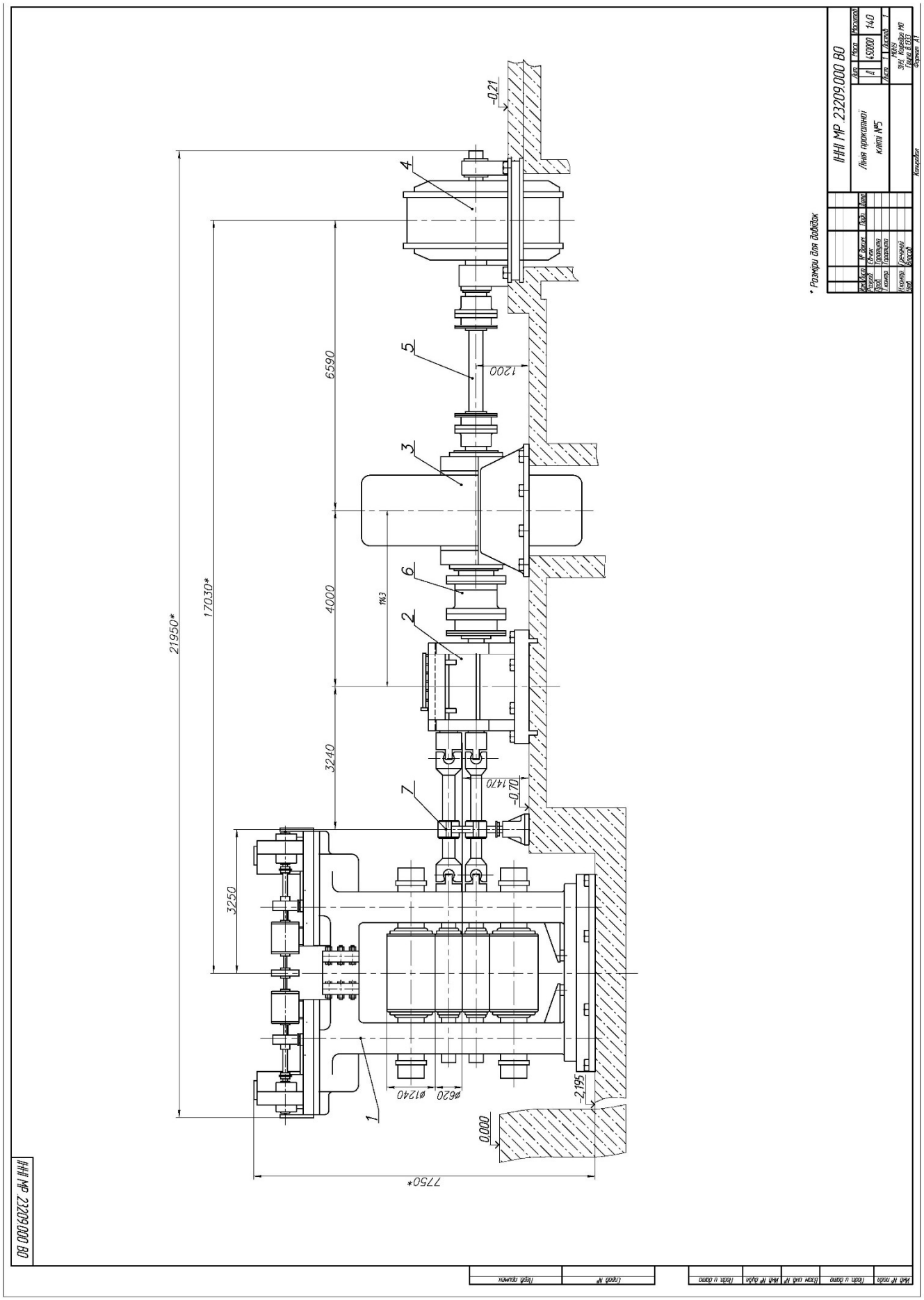
Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата

ІНН МР.23209.000 ОЧ

Лист 2

Копировал

Формат А4


ІНН МР .23209.000 ВО
Лінія прокатної кліті №5
Літ. Маса Масштаб
Аркуш Аркушів 1
ЗНУ Кафедра МО Група ІТ-33
Копіював
Формат А1
* Розміри для довідок
-0,21
4
5
1200
6590
3
6
2
4000
1143
21950*
17030*
3240
1470
-0,70
7
3250
ø620
ø1240
-2,195
0,000
1
7750*
ІНН МР 23209000 ВО

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Найменування	Кол.	Приміт.
				Документація		
			ІННІ МР.23209.000 ВО	Вид загальний		
				Складальні одиниці		
		1		Кліть прокатна	1	
		2		Кліть шестеренна	1	
		3		Редуктор	1	
		4		Електродвигун	1	
		5		Промвал з муфтою	1	
		6		Муфта	1	
		7		Шпиндельний пристрій	2	

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Євчак		
Пров.		Таратута		
Н.контр.		Гречаний		
Утв.		Власов		

ІННІ МР.23209.000 ВО

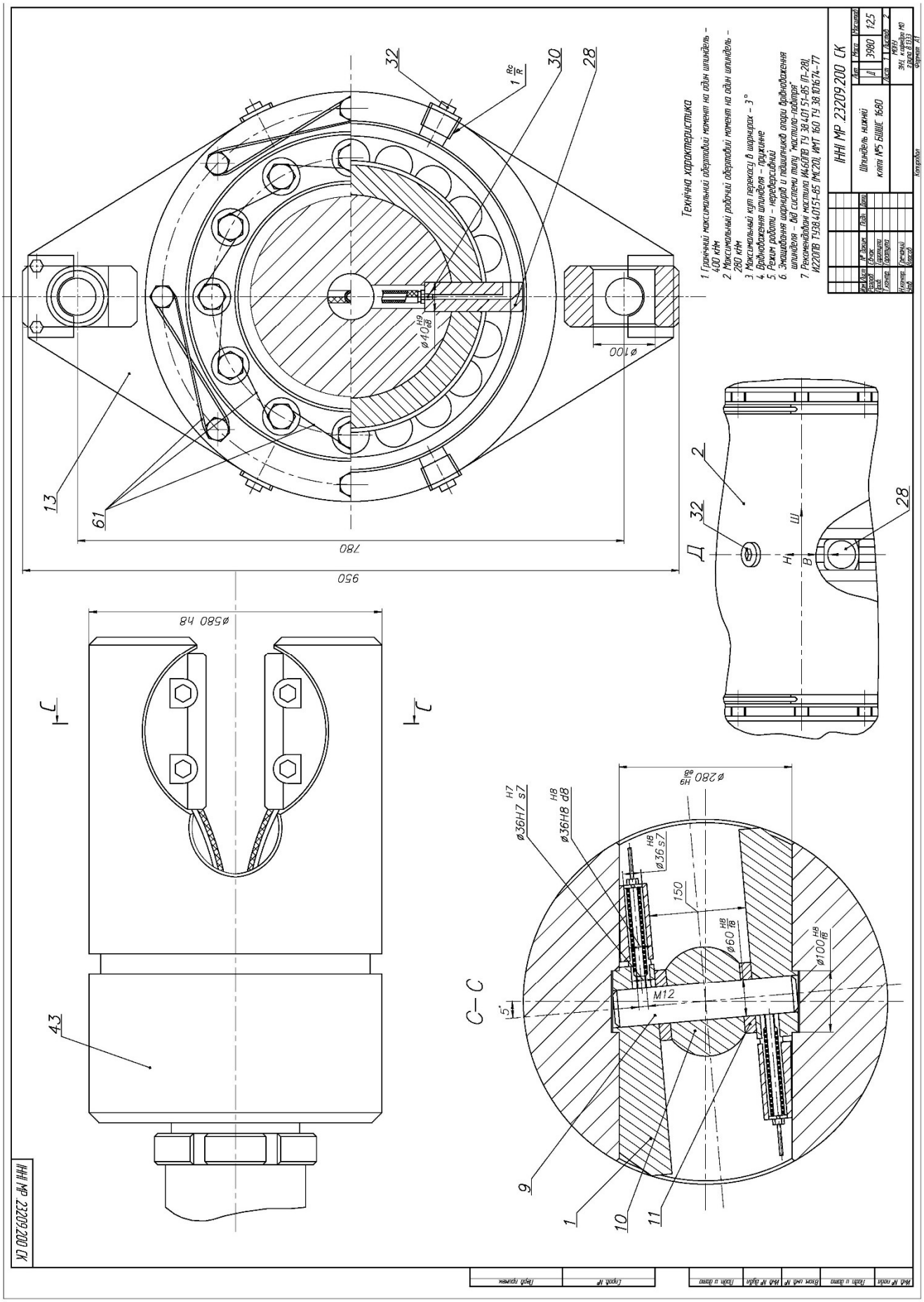
Лінія прокатної кліті №5

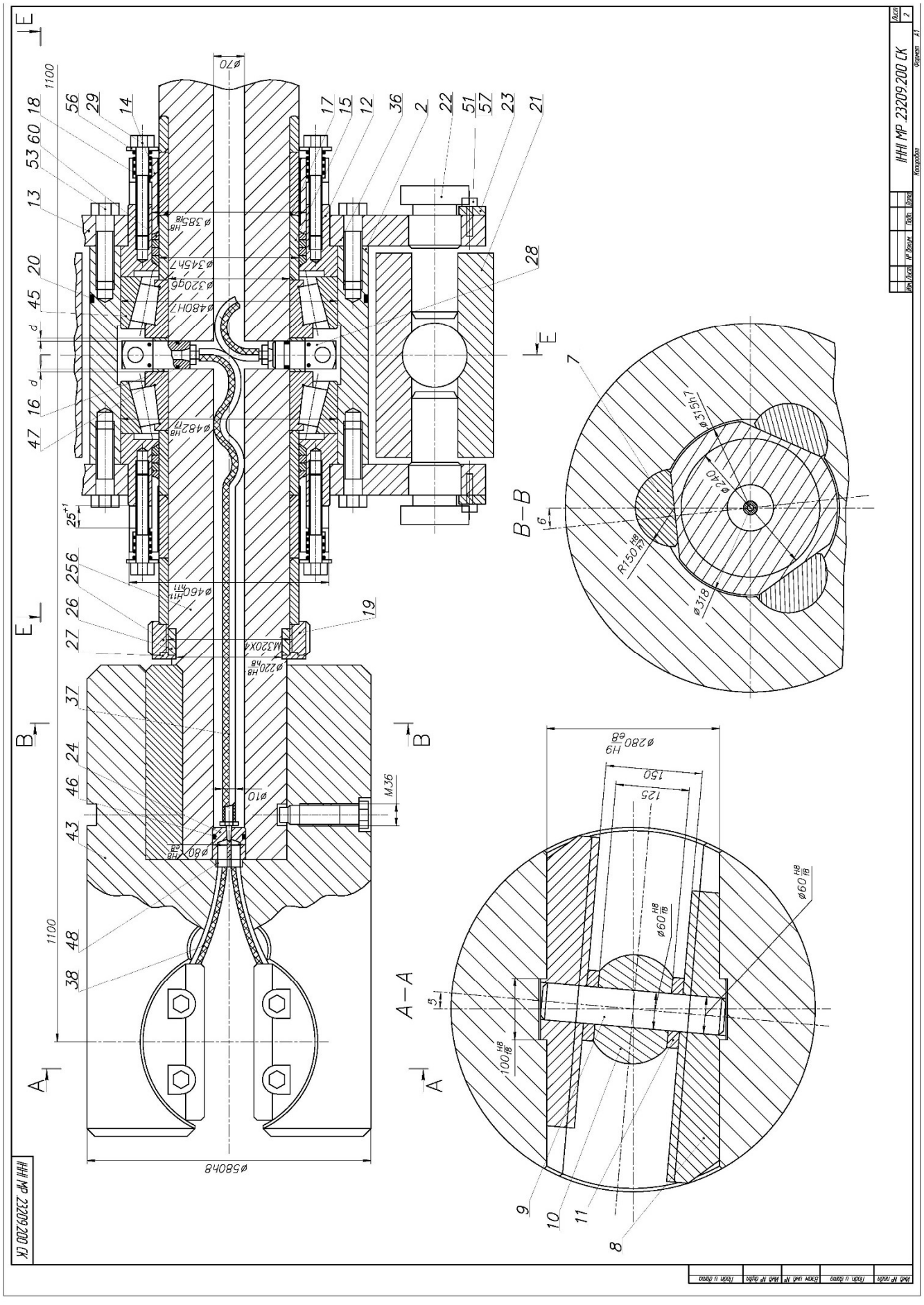
Лит.	Лист	Листов
Д	1	1

МОНУ
ЗНУ, кафедра МО
група 8.1333

Копировал

Формат А4


Технічна характеристика
1 Граничний максимальний обертовий момент на один шпиндель – 400 кНм
2 Максимальний робочий обертовий момент на один шпиндель – 280 кНм
3 Максимальний кут перекосу в шарнірах – 3°
4 Відновлення шпинделя – прямокутне
5 Режим роботи – нереверсивний
6 Змащування шарнірів і підшипників опори обертання шпинделя – від системи типу "мастило-подача"
7 Рекомендована мастила М4бОВ ТУ 38.401 51-85 (ЛТ-28), И220ПВ ТУ38.401151-85 (МС20), ИМТ 160 ТУ 38.101674-77
ІНН МР .232092ОО СК
Шпиндель нижній
клеті №5 БШШС 1680
Маса 3980
Масштаб 1:25
Аркуш 2
Аркушів 2
ММК
ЗНІ кафедра МО
група МО-11
Копіював
Формат А1
950
780
ø1100
ø580 h8
ø280 H9/d8
ø40 H9/d8
ø60 H8/f8
ø100 H8/f8
ø36 H8/s7
ø36H7 s7
ø36H8 d8
M12
5°
150
Д
Ш
Г
С–С
32
30
28
13
61
2
43
9
1
10
11
ІНН МР 232092ОО СК


ННИ МР 232092200 СК
ННИ МР 232092200 СК
A–A
B–B
Ø580h8
Ø480H7
Ø482H8
Ø460H11
Ø345h7
Ø320g6
Ø385h8
Ø220h8
Ø280e8
Ø60H8/f8
Ø100H8/f8
Ø315h7
Ø240
Ø318
R150H8/h9
M320x4
M36
Ø70
Ø10
Ø80F8/f8
1100
150
125

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Найменування	Кол.	Приміт.
				Документація		
			ІННІ МР .23209.300 СК	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1		Вкладиш	2	
		2		Корпус	1	
				Деталі		
		6	ІННІ МР .23209.300.001	Вал шпиндельний	2	
		7		Шпонка	6	
		8		Вкладиш со сторони робочей кліті	4	
		9		Палець	2	
		10		Камень	2	
		11		Шайба	4	
		12		Кришка	2	
		13		Щека	2	
		14		Фланець	2	
		15		Втулка	6	
		16		Кільце дистаційне	1	
		17		Кільце	2	
		18		Пружина	24	
		19		Штифт	4	
		20		Кільце	2	
		21		Траверса	2	
		22		Палець	4	

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Євчак		
Пров.		Таратута		
Н.контр.		Гречаний		
Утв.		Власов		

ІННІ МР .23209.200

Шпиндель нижній кліті №5
БШШС 1680

Лит.	Лист	Листов
Д	1	3

МОНУ
ЗНУ, кафедра МО
група 8.1333

Копировал
Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Найменування	Кол.	Приміт.
		23		Планка	4	
		24		Тройник	2	
		25		Гайка	2	
		26		Кільце розрізне	2	
		27		Планка	4	
		28		Черпак	2	
		29		Болт	24	
		30		Штуцер	8	
		31		Ніпель	4	
		32		Пробка	4	
		33		Болт	6	
		34		Стопор	6	
				Круг 10-В ДСТУ 2590-88		
				Ст3 сп1-II ДСТУ 535-88		
		35		Пробка	12	
		36		Шайба регулювальна	8	
		37		Маслопровід	2	
				Рука В I/I-10-20-У		
				ДСТУ 6286-73 L=73		
		38		Маслопровід	4	
				Рука В I/I-10-20-У		
				ДСТУ 6286-73 L=250		
				Заготівка шпонки	4	
		43		Вилка нижнего шпинделя	4	
				Стандартні вироби		
		45		Підшипник 2007164	2	
				ДСТУ 333-79		
		46		Кільце 070-080-58-2-2	4	
				ДСТУ 9833-73		

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ІННІ МР .23209.200	Лист 2

Копировал Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Найменування	Кол.	Приміт.
		47		Кільце 035-040-30-2-2	2	
				ДСТУ 9833-73		
		48		Кільце 012-016-25-2-2	8	
				ДСТУ 9833-73		
		51		Болт М16-6дх90.48	8	
				ДСТУ 7798-70		
		53		Болт ЗМ24-6дх90.48	8	
				ДСТУ 7798-70		
		56		Шайба 20.01.05	24	
				ДСТУ 11371-68		
		57		Шайба 16.65Г	8	
				ДСТУ 11371-68		
				Матеріали		
		60		Набівка сальникова		
				скрізного плетіння		
				марки ПАСФ 20х20	9,5 м	
				ДСТУ 5152-74		
		61		Проволока 2,0	20 м	
				ДСТУ 3282-74		

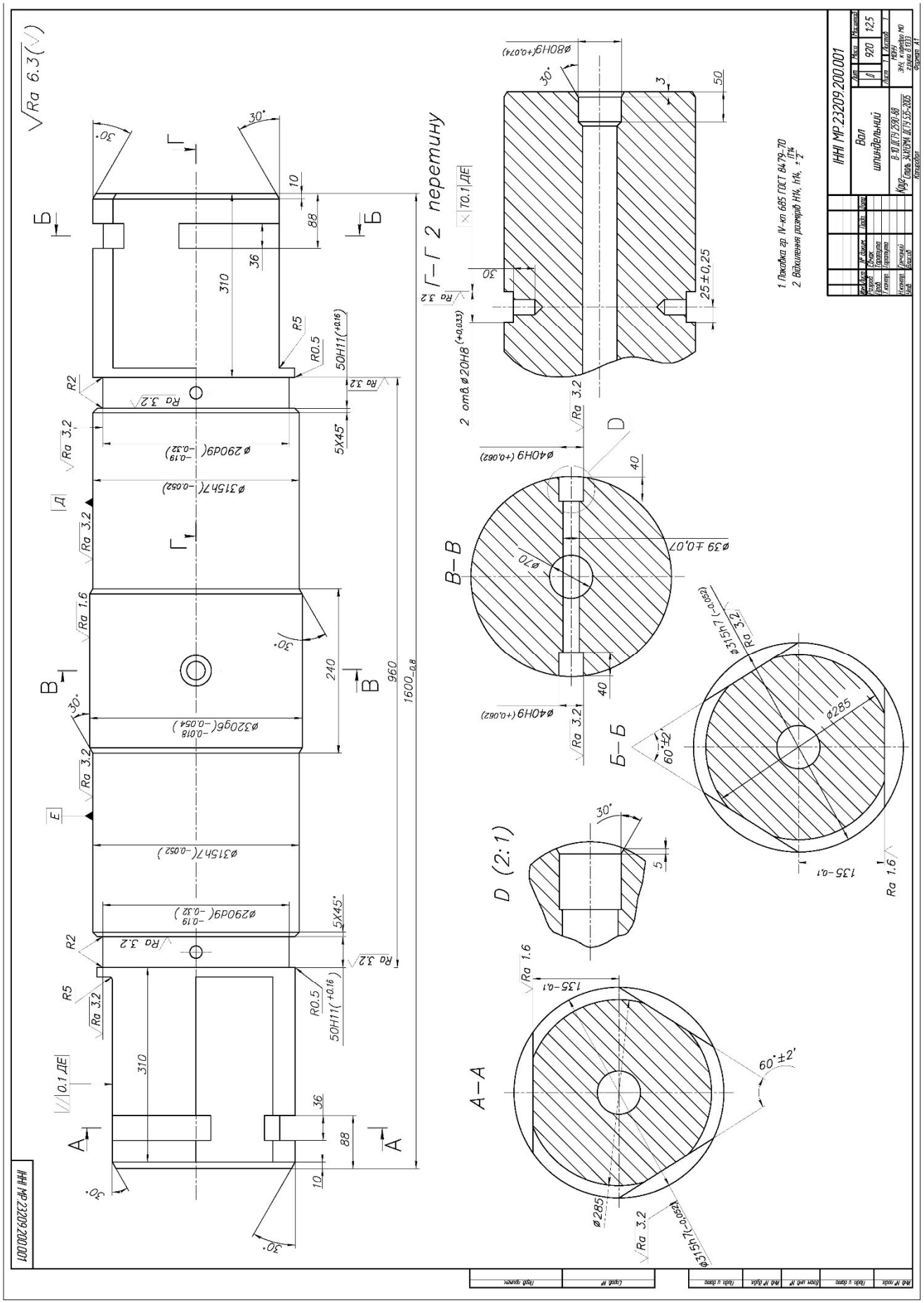
Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата

ІННІ МР .23209.200

Лист 3

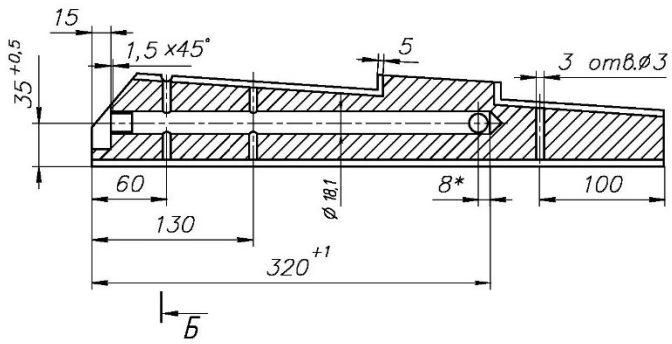
Копировал Формат А4

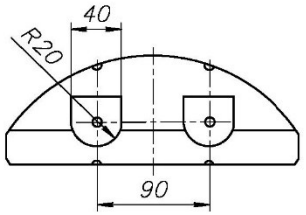

Ra 6.3
Вал шпиндельний
ІНН МР 23209.200.001
1. Покойка гр. IV-кл 685 ГОСТ 8479-70
2. Відхилення розмірів H14, h14, ±IT/2
Г–Г 2 перетину
В–В
Б–Б
А–А
D (2:1)
2 отв. ø20H8 (+0,033)
ø80H13(+0,074)
ø40H9 (+0,062)
ø39 -0,07 -0,20
ø315h7(-0,052)
ø290d9(-0,19 -0,32)
ø320g6(-0,018 -0,054)
50H11(+0,16)
ø285
135-0,1
60°±2'
1600-0,8
960
240
310
88
36
10
5X45°
R5
R0.5
R2
Ra 3.2
Ra 1.6
0,1 ДЕ
T0.1 ДЕ

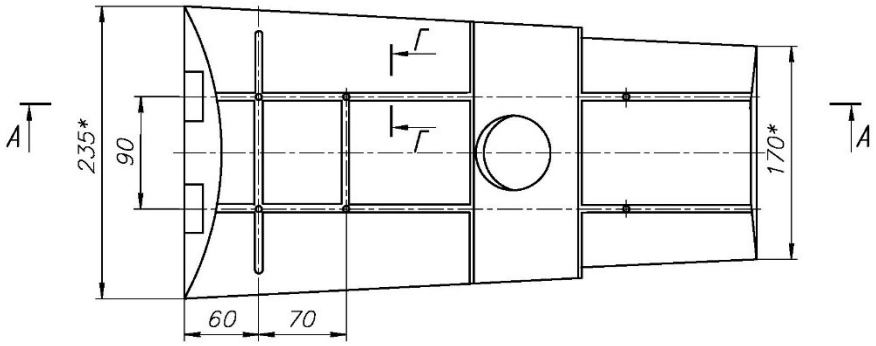
ІНН! Мр .23209.400

√12.5(√)

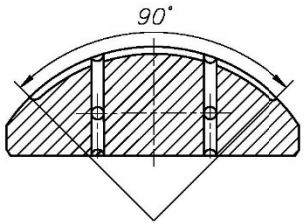
Б
А–А 2 сечения
Б



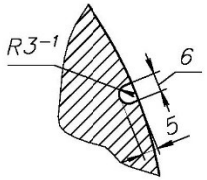




Б–Б



Г–Г (1:1)



1. * Розміри для довідок
2. * Оробку по розмірам в квадратних дужках проводити спільно з парним вкладишем.
3. Відхилення розмірів H14, h14, $\pm\frac{IT14}{2}$

					МФМР.23209.400		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вкладиш сторона робочої кліті	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Ебчак				Д	35	1:2,5
Пров.		Гаратута				Лист 1	Листов 1	
Т.контр.		Гаратута				МОНМСУ ЗНУ, кафедра МО группа В-1333		
Н.контр.		Гречаний			Круг В-10 ДСТУ 2590-88 / БрАЖ9-4 ГОСТ 18175-78			
Утв.		Власов						

Копировал

Формат А2

Перв. примен.

Справ. №

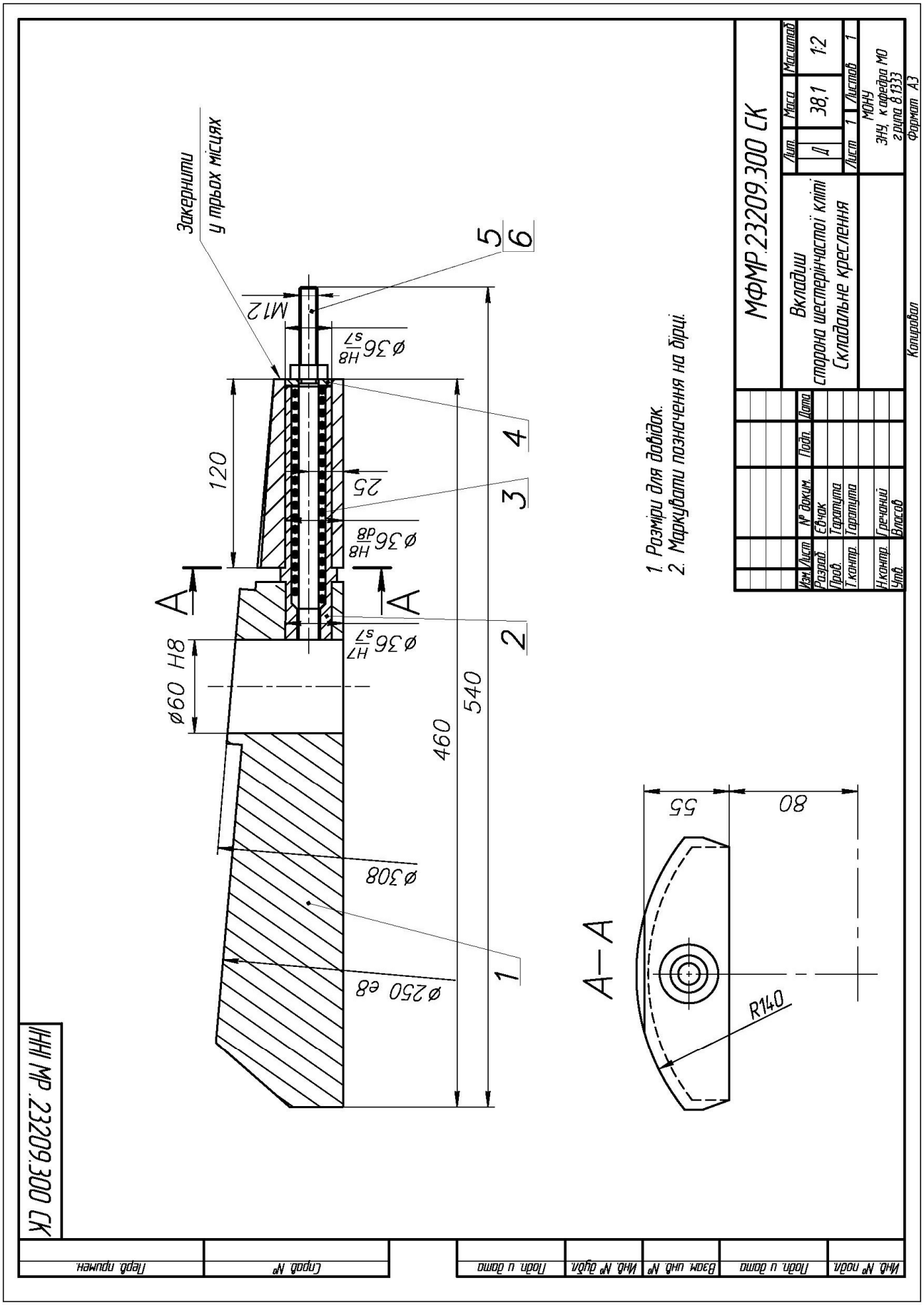
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.


Закернити
у трьох місцях
M12
ø36 H8/s7
ø36 H8/d8
ø36 H7/s7
ø60 H8
120
25
460
540
ø308
ø250 e8
1
2
3
4
5
6
A
A
A–A
55
80
R140
1. Розміри для довідок.
2. Маркувати позначення на бірці.
МФМР.23209.300 СК
Вкладиш
сторона шестерінчастої кліті
Складальне креслення
Маса
38,1
Масштаб
1:2
Лист 1 Листов 1
МДНУ
ЗНЧ, к афедра МО
група 81333
Формат А3
Копировал
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб. Єфчак
Пров. Гарагуліа
Т.контр. Гарагуліа
Н.контр. Гречаний
Утв. Власов
ІНН МР.23209.300 СК
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Найменування	Кол.	Приміт.
				Документация		
			ІННІ МР.23209.300 СК	Складальне креслення		
				Детали		
		1		Вкладиш сторона	1	38,1
				шестерінчастої кліті		
		2		Втулка	1	0,6
		3		Пружина	1	0,06
		4		Пробка	1	0,15
		5		Шпилька	1	0,17
				Стандартные изделия		
		6		Гайка М12-6Н. 6	1	
				ГОСТ 5915-70		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Євчак		
Пров.		Таратута		
Н.контр.		Гречаний		
Утв.		Власов		

ІННІ МР.23209.300

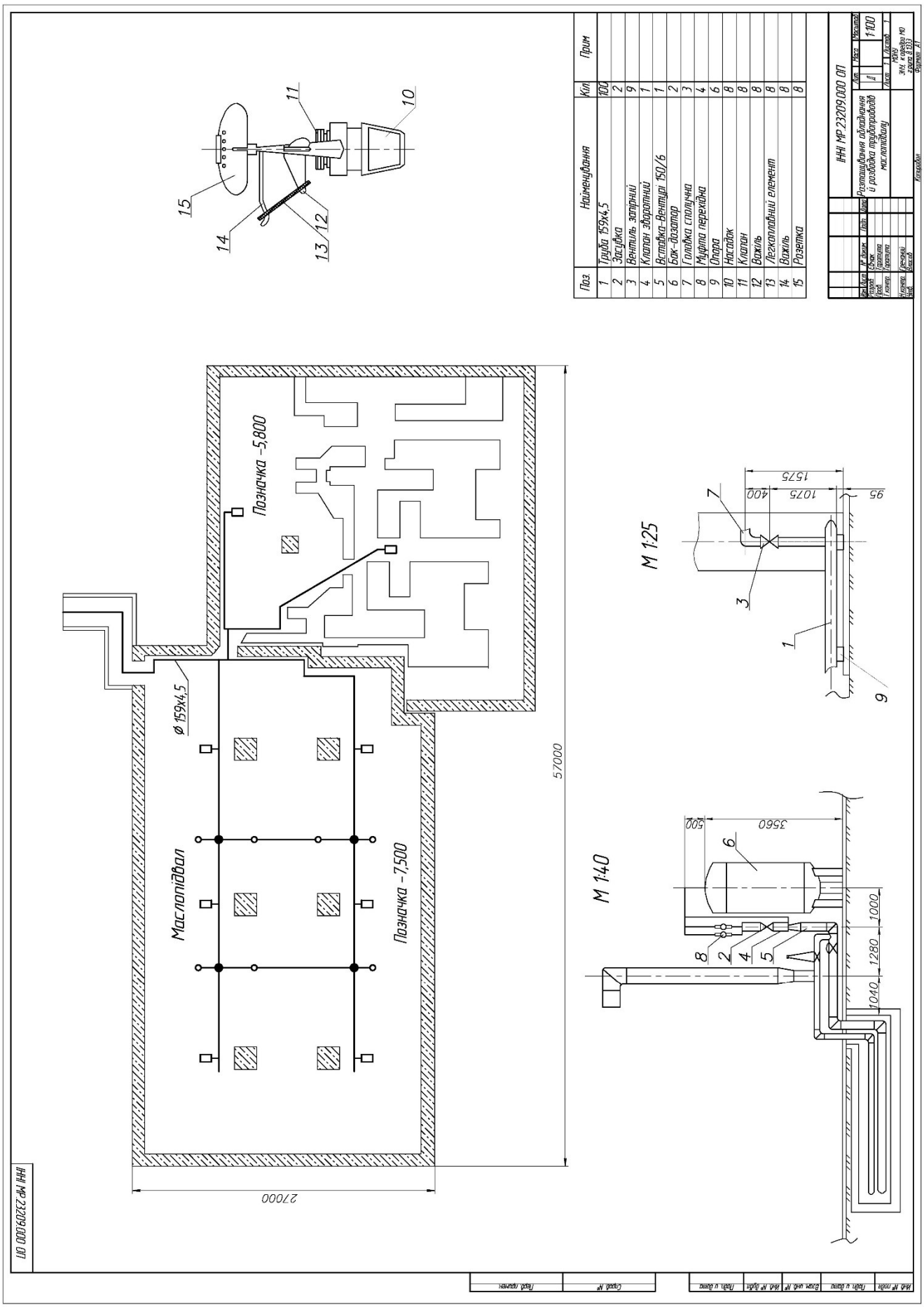
Вкладиш сторона шесерінчастої кліті

Лит.	Лист	Листов
Д	1	1

МОНУ ЗНУ, кафедра МО група 8.1333

Копировал

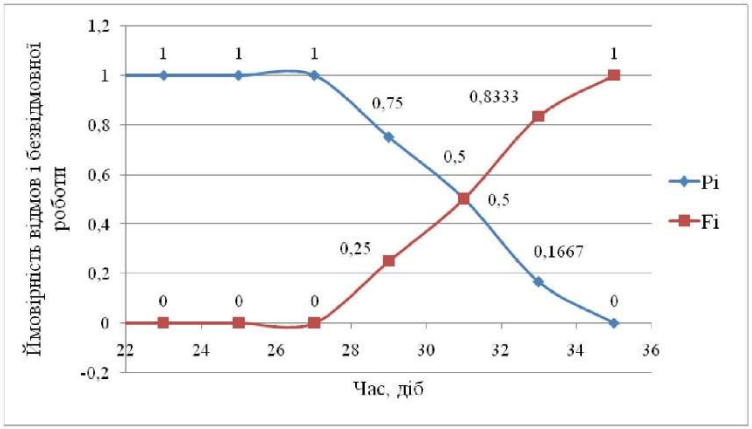
Формат А4



Поз.	Найменування	Кіл	Прим
1	Труба 159х4,5	100	
2	Засувка	2	
3	Вентиль запорний	9	
4	Клапан зворотний	1	
5	Вставка-Вентиль 150/6	1	
6	Бак-дозатор	2	
7	Головка сполучна	3	
8	Муфта перехідна	4	
9	Опора	6	
10	Насадок	8	
11	Клапан	8	
12	Важиль	8	
13	Легкоплавкий елемент	8	
14	Важиль	8	
15	Розетка	8	

Розподіл показників надійності вкладишів універсальних шпинделів стану гарячої прокатки за 2021 рік

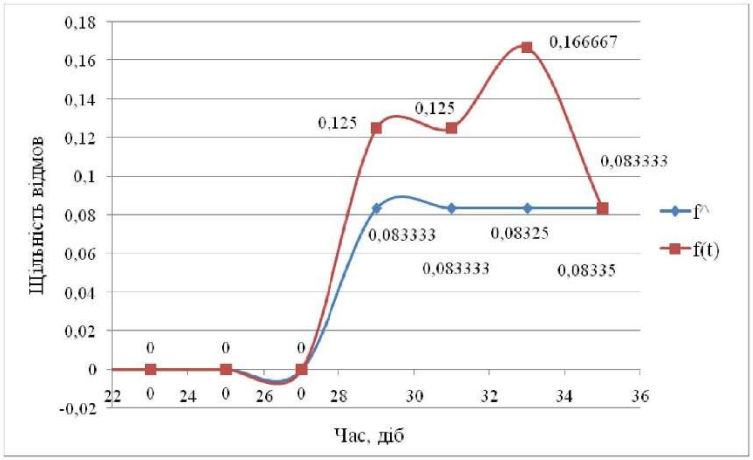
Графік зміни ймовірності безвідмовної роботи (Pi) і ймовірність відмов (Fi) у часі



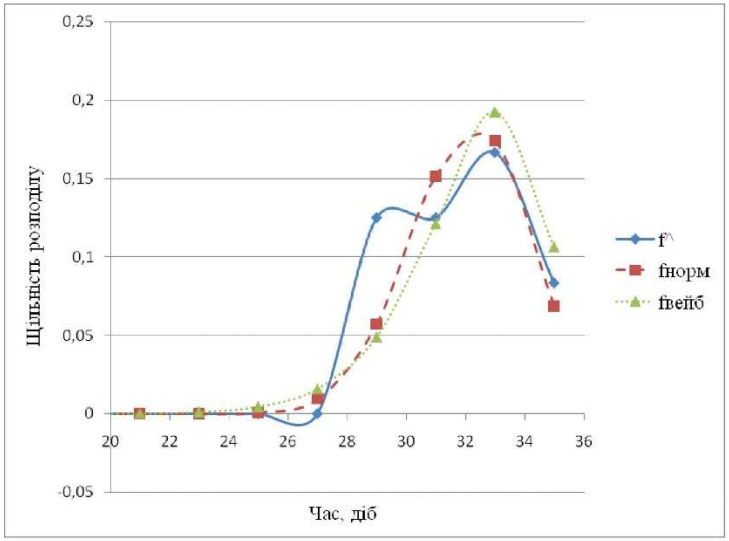
Таблиця - показники надійноті за 2021 рік.

Інтервал часу	t_i	$n_{\Delta t}$	$f_i = \frac{n_{\Delta t}}{n}$	$f_i^{\wedge} = \frac{f_i}{\Delta t}$	$F_i = \sum f_i - \sum f_i^{\wedge} * \Delta t$	P_i	f(t)
0 – 2	1	0	0	0	0	1	0
2 – 4	3	0	0	0	0	1	0
4 – 6	5	0	0	0	0	1	0
6 – 8	7	0	0	0	0	1	0
8 – 10	9	0	0	0	0	1	0
10–12	11	0	0	0	0	1	0
12–14	13	0	0	0	0	1	0
14–16	15	0	0	0	0	1	0
16–18	17	0	0	0	0	1	0
18–20	19	0	0	0	0	1	0
20–22	21	0	0	0	0	1	0
22–24	23	0	0	0	0	1	0
24–26	25	0	0	0	0	1	0
26–28	27	0	0	0	0	1	0
28–30	29	3	0,25	0,08333	0,25	0,75	0,125
30–32	31	3	0,25	0,08333	0,5	0,5	0,125
32–34	33	4	0,3333	0,08325	0,8333	0,1667	0,16667
34–36	35	2	0,1667	0,08335	1	0	0,08333

Графік зміни експериментальної ($f^{\wedge}_i$) та теоретичної $f(t)$ щільності розподілу ймовірності відмов

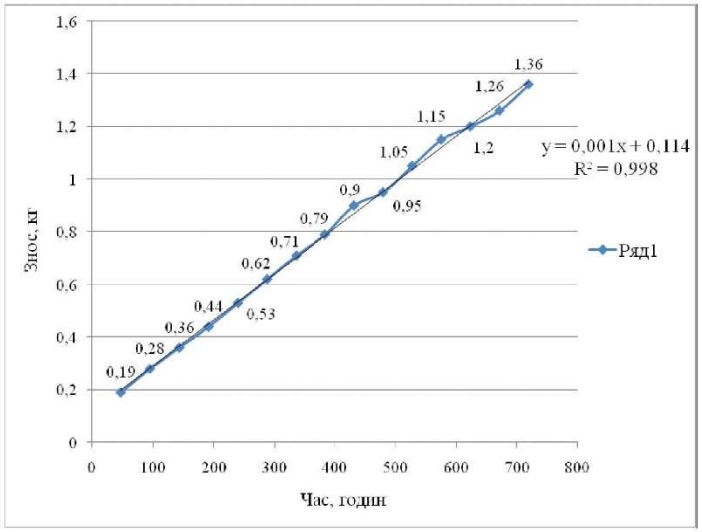


Графік порівняння щільності розподілу напрацювання до відмови різних законів

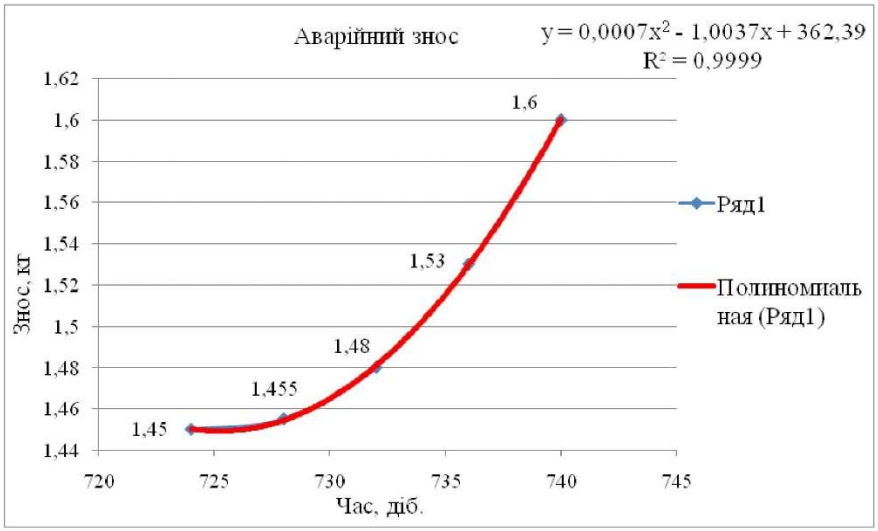


Розподіл показників надійності вкладишів універсальних шпинделів стану гарячої прокатки за 2021 рік

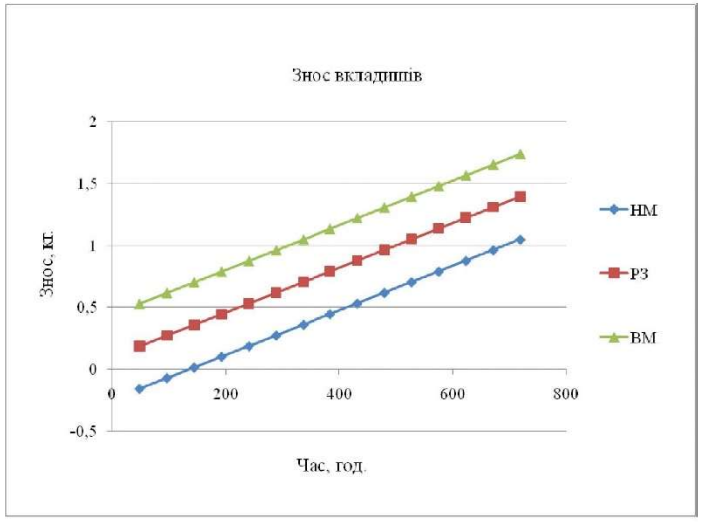
Графік залежності зносу у часі згідно із законом



Графік залежності зносу у часі в зоні аварійного зносу



Графік розрахункового зносу з відхиленнями



Таблиця - Значення розрахункового зносу з відхиленнями , кг

Нижня межа	Розрахунковий знос	Верхня межа
-0,16277	0,1817	0,52617
-0,07637	0,2681	0,61257
0,01003	0,3545	0,69897
0,09643	0,4409	0,78537
0,18283	0,5273	0,87177
0,26923	0,6137	0,95817
0,35563	0,7001	1,04457
0,44203	0,7865	1,13097
0,52843	0,8729	1,21737
0,61483	0,9593	1,30377
0,70123	1,0457	1,39017
0,78763	1,1321	1,47657
0,87403	1,2185	1,56297
0,96043	1,3049	1,64937
1,04683	1,3913	1,73577