

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 параметрів роботи та удосконалення конструкції
поворотного столу стана 1150_____.

Виконав: магістрант групи 8.1332-1

Пімкін А.Є._____.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування_____

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання_____

(шифр і назва)

Керівник Огінський Й.К._____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О._____.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру А.О. Власов

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Пімкіна Антона Євгенійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Дослідження параметрів роботи та удосконалення конструкції поворотного столу стана 1150.
керівник магістерської роботи д.т.н., проф. Огінський Й.К.
затверджені наказом вищого навчального закладу від «09» жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 13 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи цеху гарячоїпрокатки
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальні відомості про підприємство, місце устаткування в технологічному процесі; 2. Огляд і аналіз конструкції вузлів поворотного столу; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Схема розміщення устаткування цеху – А1; 2. Підйомно-поворотний стіл –А1; 3. Плакати дослідницької частини – 4А1, 6. Охорона праці – А1.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Огінський Й.К., д.т.н., проф.		
2	Огінський Й.К., д.т.н., проф.		
3	Огінський Й.К., д.т.н., проф.		
4	Огінський Й.К., д.т.н., проф.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.2023 – 27.05.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.2023– 15.09.2023	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.2023 – 16.10.2023	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.2023– 17.11.2023	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.2023– 30.11.2023	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.2023 – 03.12.2023	
7	Попередній захист проекту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент

_____ (підпис) _____ (прізвище) та
 ініціали)

А.Є. Пімкін

Керівник магістерської роботи

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Й.К. Огінський

АНОТАЦІЯ

Пімкін Антон Євгенійович. Дослідження параметрів роботи та удосконалення конструкції поворотного столу стана 1150.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник Й.К. Огінський. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра металургійного обладнання, 2023.

У роботі розглянуто вантажопотоки виробничого цеху, конструкція, призначення вузлів поворотного столу. Проведено аналіз роботи поворотного столу. Проведено дослідження параметрів роботи поворотного столу стана 1150.

Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, СТАН, ПРИВОД, РОЛИК, РЕДУКТОР, МОДЕЛЬ, ПІДШИПНИК, ЕКСПЕРИМЕНТ, ДОСЛІД, ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.

ABSTRACT

Pimkin Anton Evgeniyovych. Study of Operating Parameters and Improvement of the Design of the Rotary Table of the 1150 Mill

Final qualifying work for obtaining a higher education degree, master in specialty 133 - Industrial mechanical engineering, scientific supervisor Y.K. Oginsky. Engineering Educational and Scientific Institute named after U.M. Potebny ZNU, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

In the work, the cargo flows of the production workshop, the design, and the purpose of the rotary table nodes are considered. An analysis of the operation of the rotary table was carried out. A study of the operating parameters of the rotary table of the 1150 machine was carried out.

Key words: PRODUCTION, MILL, DRIVE, ROLLER, REDUCER, MODEL, BEARING, EXPERIMENT, EXPERIMENT, TECHNOLOGICAL SAFETY.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Загальні відомості про підприємство ПАТ „Запоріжсталь” та технологічний процес виготовлення слябів	10
1.1 Загальні відомості про підприємство ПАТ „Запоріжсталь”	10
1.2 Опис технологічного процесу виготовлення слябів	13
1.3 Вантажопотоки цеху	16
1.4 Короткі відомості щодо устаткування цеху	19
2.1 Технічний опис поворотного стола	20
2.2 Характерні види відмов деталей і вузлів поворотного столу	22
2.3 Система змащення й мастильні матеріали деталей механізму обертання роликів	23
2.4 Аналіз недоліків поворотного столу і пропозиції щодо їх усунення	24
3 Дослідження параметрів роботи поворотного столу	26
3.1 Мета та необхідність проведення експериментальних досліджень та технічної діагностики металургійного устаткування	26
3.2 Вибір моделі технічної діагностики металургійного устаткування	27
3.3 Характеристика системи технічного діагностування металургійного устаткування	28
3.4 Математичні моделі об'єкта діагностування – поворотного столу	29
3.4.1 Загальні відомості про математичні моделі	29
3.4.2 Принципи побудови логічних моделей	31
3.4.3 Побудова логічної моделі роботи поворотного столу у формальному виді	31
3.4.4 Побудова явної математичної моделі роботи поворотного столу	34
3.5 Сучасний погляд на методику розрахунків моменту тертя підшипників кочення	38
3.5.1 Конструкція та призначення підшипників кочення	38
3.5.2 Методика розрахунків моменту тертя підшипників кочення	40

3.6 Мета проведення експерименту	53
3.7 Призначення, конструкція та характеристика прибору ДП11А	53
3.8 Алгоритм проведення експерименту	60
3.9 Вимірювальна апаратура та програмні комплекси	61
3.9.1 Будова тензометричних датчиків	61
3.9.2 Спосіб з'єднання тензодатчиків	63
3.9.3 Вимірювання крутних моментів	64
3.9.4 Модуль для роботи з тензометричними датчиками МС-212	66
3.9.5 Програмне забезпечення	68
3.9.6 Пакет післяекспериментальної обробки вимірювальної інформації	71
3.9.7 Обробка статистичних результатів експериментальних значень	74
4. Охорона праці та техногенна безпека	84
4.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації	84
4.2 Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	85
4.3 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища	87
4.4 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії	88
4.5 Розрахунок звукоізоляційного пульта дистанційного керування	92
4.6 Пожежна безпека	94
4.7 Електробезпека	95
4.8 Техногенна безпека	96
4.8.1 Ймовірність аварії в цеху і заходи по її ліквідації	96
4.8.2 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях	97
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	98
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	100
ДОДАТКИ	103

ВСТУП

Актуальність теми. Обтискні стани призначені для виробництва із зливків заготовок для сортового (блюмів) та листового (слябів) виробництва. З розвитком безперервного розливання сталі на МБЛЗ значення обтискних станів значно скорочується, і їх використовують для виробництва спеціальних сортаментів, які не виробляють МБЛЗ, або на застарілих підприємствах.

Основними завданнями при виробництві готового прокату є одержання готового прокату заданих розмірів і форми в максимально можливій кількості та з найменшими витратами, а також одержання прокату високої якості, що характеризується не лише фізико-хімічними властивостями, а й станом поверхні. Ці завдання можуть бути виконані тільки при точному дотриманні режиму всіх технологічних операцій, до яких належать: - підготовка вихідних матеріалів до прокатки; нагрівання матеріалів перед прокаткою; прокатка; обробка (включаючи різання, охолодження, виправлення, видалення поверхневих дефектів та ін.)

Зливки завантажують колодязними кранами в колодязі для нагрівання до температури 1250-1280 °С і потім за допомогою тих же колодязних кранів виймають із колодязів і завантажують на злитковозів, що транспортує гарячий злинок до прийомного рольганга стана. Після зупинки злитковоза біля прийомного рольганга злинок у горизонтальному положенні зіштовхують на рольганг. Передбачена також можливість подачі зливків з ближніх колодязів до стана колодязним краном. У цьому випадку злинок установлюють у колиску стаціонарного перекидача, розташованого перед прийомним рольгангом.

Із прийомного рольганга злинок передають на поворотний стіл, де метал зважують і при необхідності повертають на 180° (для задавання зливка у валки кліті вузьким кінцем) у горизонтальній площині. По рольгангу

зливки надходить до робочої кліті і ведуть прокатку при заданому режимі температури.

Підйомно-поворотний стіл виконаний у вигляді рами, на якій змонтовано поворотну платформу з секцією рольгангу з чотирьох приводних роликів, привод яких також розміщено на платформі. Поворотна платформа опирається на чотири катки й центрована на литій сталевій втулці, установленій на фундаментній плиті. Знизу до рами прикріплений зубчастий вінець, що зчіплюється з конічною шестірнею привода повороту стола. Поворот стола здійснюється від електродвигуна через двоступінчастий редуктор і конічну передачу.

Важкі умови роботи при підвищеній температурі, а також складна конструкція паразитного редуктора викликають прискорене зношування, і як наслідок вихід з ладу деталей і вузлів паразитного редуктора.

Сильні удари зливка, що транспортується, по роликам поворотного столу, викликають руйнування підшипників роликів, а також високі короткочасні навантаження на весь привод обертання роликів.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є дослідження параметрів роботи та удосконалення вузлів поворотного столу стана 1150.

Об'єкт дослідження. Поворотний стіл стана 1150.

Предмет дослідження. Параметри роботи поворотного столу.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи, аналіз та огляд робіт за темою роботи.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблена математична модель роботи поворотного столу.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження дають змогу у комплексі розв'язувати проблему збільшення ресурсу роботи вузлів поворотного столу при використанні даних отриманих за результатами дослідження.

Особистий вклад дослідника. Постановка мети і завдання дослідження. Збір і аналіз даних для проведення дослідження.

Апробація результатів роботи. Результати роботи докладалися на III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» з доповіддю «Аналіз недоліків роботи вузлів поворотного столу обтискного стану 1150» [29].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, містить 103 сторінки, 32 рисунка, 13 таблиць, переліку використаних джерел, додатків.

1. Загальні відомості про підприємство ПАТ „Запоріжсталь” та технологічний процес виготовлення слябів

1.1 Загальні відомості про підприємство ПАТ „Запоріжсталь”

Запорізький металургійний комбінат “Запоріжсталь” - одне з найбільш великих промислових підприємств України, продукція якого добре відома й користується попитом у споживачів на внутрішньому ринку й у багатьох країнах світу.

Комбінат «Запоріжсталь» створений на базі сировини Криворізького залізорудного басейну. Будівництво комбінату було почато в 1930 р.

Комбінат «Запоріжсталь» 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 до багатьох країн світу. Запорізький чавун, лист, виливниці охоче купують у Кореї, Індії, Пакистані, Туреччині, Англії, країнах Близького Сходу.

Комбінат виробляє високоякісний листовий прокат (гарячекатаний і холоднокатаний) товщиною 0,5-8 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 інші підприємства.

Комбінат “Запоріжсталь” складається з 8 основних й 56 допоміжних цехів, у яких працюють більше 12 тисяч працівників. Щорічно підприємство виробляє 2,5 млн. тон чавуну, 3,2 млн. тон сталі й 2,7 млн. тон прокату.

Основними цехами комбінату є:

- доменний;
- сталеплавильний;
- прокатні.

ПАТ «Запорізький металургійний комбінат — Запоріжсталь» пропонує до реалізації наступні види товарної продукції:

- передільний і ливарний чавун у зливках вагою 15—18 кг;
- сляби з вуглецевих і низьколегованих сталей;
- прокат листовий — горячекатаний і холоднокатаний — в листах товщиною 0,5—8,0 мм і рулонах товщиною 0,5—8,0 мм із вуглецевих і низьколегованих сталей;
- холодногнуті профілі;
- жерсть білу гарячого лудіння;
- жерсть чорну;
- стрічку сталеву;
- виливниці й піддони;
- граншлак і щебені;
- рідкі гази;
- різноманітні асортименти (більше 170 найменувань) виробів з металу, дерева й бетону, інші види металлопродукції.

Найбільш широким попитом у закордонних і вітчизняних споживачів користується горячекатаний плоский прокат в рулонах з вуглецевих і низьколегованих сталей товщиною 2,0—8,0 мм, а також холоднокатаний плоский прокат з вуглецевих сталей товщиною 0,5—2,0 мм. Вироблена комбінатом пакування металлопродукції забезпечує сохрannість і товарний вид при доставці її споживачам будь-яким видом транспорту (автомобільним, залізничним, водним), переробці й зберіганні в портах.

Співпрацюючи більш ніж з п'ятьома тисячами вітчизняних і закордонних споживачів, ПАТ «Запоріжсталь» зарекомендував себе надійним партнером, що забезпечує своєчасні поставки за договорами і високу якість продукції, близько 70% якої відвантажується на експорт.

Технологічна схема виробництва представлена на рисунку 1.1.

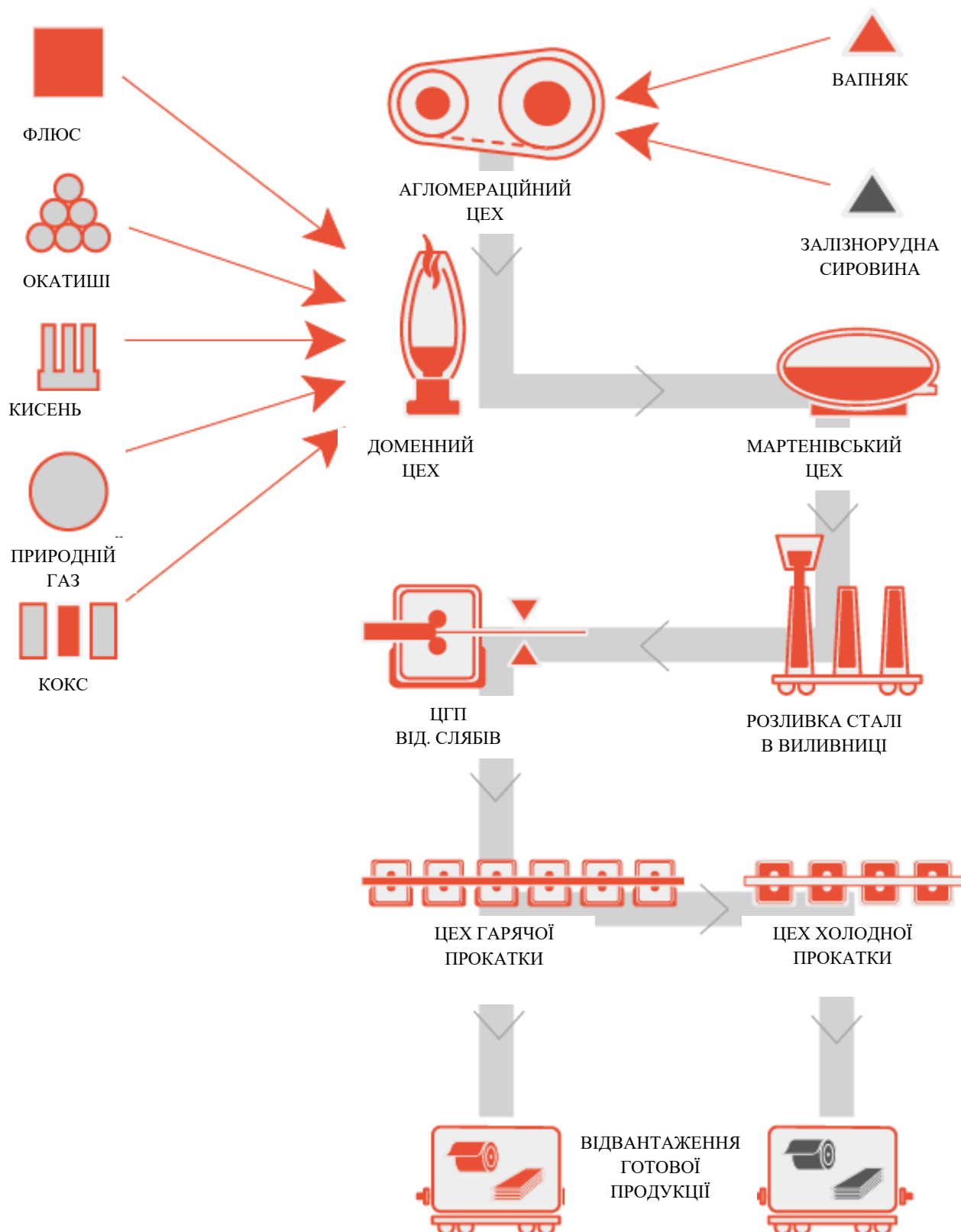


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва ПАТ «Запоріжсталь»

1.2 Опис технологічного процесу виготовлення слябів

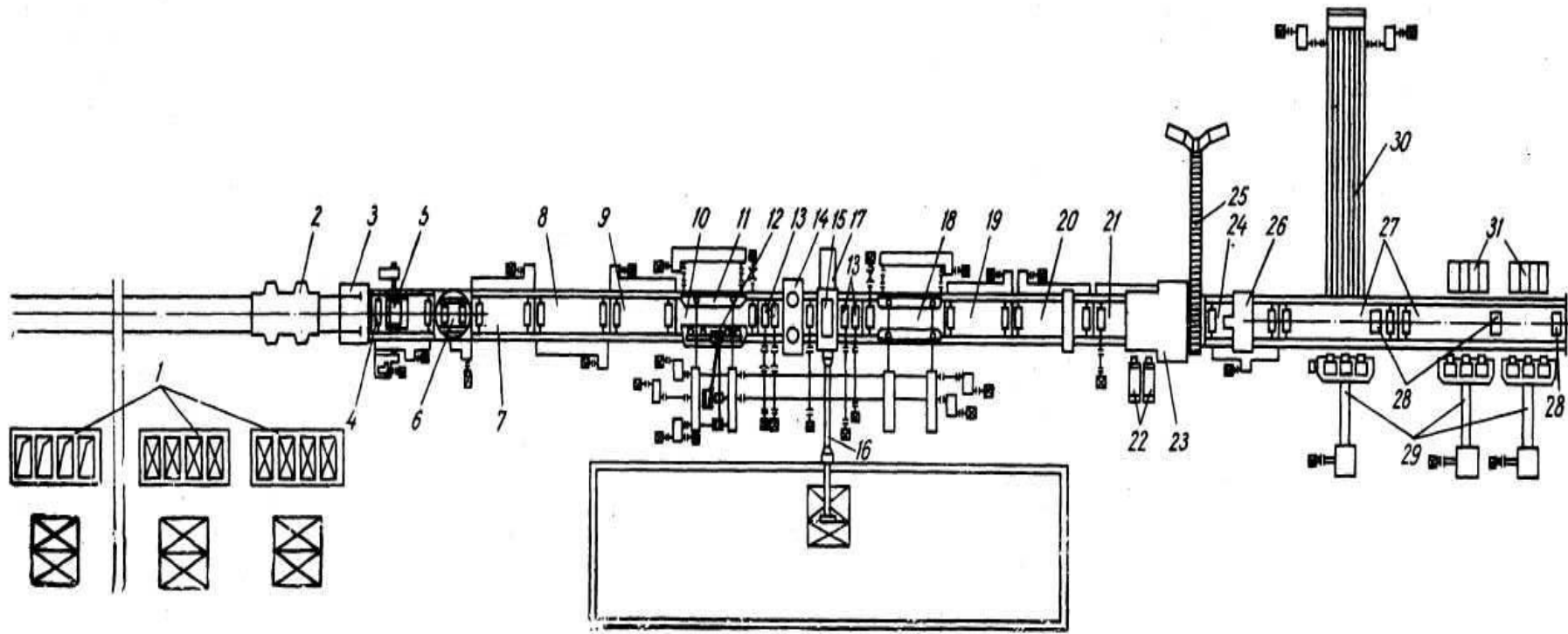
Слябінги призначені для обтиснення гарячих зливків в сляби різних розмірів (табл. 1.1).

Схеми розташування механічного обладнання слябінгів показані на рис. 1.2.

На стані з однорядним розташуванням нагрівальних колодязів (рис. 1.2) нагріті зливки виймають з колодязів 1 за допомогою кліщових кранів і встановлюють в люльку зливковоза 2, яка при підході зливковоза до упору 3 укладає зливки на приймальний рольганг 4. Зливки, що виймаються з поблизу розташованих до стану колодязів, встановлюють за допомогою крана в люльку стаціонарного перекидача 5 для передачі їх на приймальний рольганг. З приймального рольганга зливки надходять на поворотний стіл 6, на якому вони розвертаються в горизонтальній площині на 180°. Таким чином, зливки задають в кліть вузьким кінцем, що ослабляє удар зливків об робочі валки і забезпечує краще захоплення їх валками. Потім зливки по рольгангам 7, 8, 9 прямують до універсальної робочої кліті з вертикальними 14 і горизонтальними валками 15.

Обтиснення зливків в універсальній робочій кліті ведеться за допомогою робочих рольгангів 10, 18, розташованих перед і за кліттю, маніпулятора 11 і кантувальника 12.

Після обтиснення на стані розкат по рольгангам 19, 20 подається на рольганг 21 перед ножицями, центрується направляючими лінійками цього рольганга по осі ножиць, клеймиться клеймачами 22 в бічну грань і задається в ножиці 23 для обрізання переднього кінця, різки на мірні довжини і обрізання заднього кінця. Відрізаний задній кінець розкату зіштовхується з ножиць черговим розкатом.



1 – нагрівальні колодязі; 2 – зливковоз; 3 – упор зливковоза; 4 – приймальний рольганг; 5 – стаціонарний перекидач; 6 – поворотний стіл; 7, 8, 20, 27 – транспортні рольганги; 9, 19 – розкатні рольганги; 10, 18 – робочі рольганги; 11 – маніпулятор; 12 – кантувач; 13 – станинні ролики; 14 – робоча кліть с вертикальними валками; 15 – робоча кліть с горизонтальними валками; 16 – шпіндельний пристрій робочої кліті з горизонтальними валками; 17 – механізм для заміни горизонтальних валків; 21 – рольганг перед ножицями; 22 – клеймич слябів; 23 – ножиці; 24 – коливальний стіл за ножицями; 25 – конвейер уборки обрізі; 26 – пересувний упор біля ножиць; 28 – опускні упори; 29 – зіштовхувач слябів; 30 – транспортер слябів; 31 – штабелюючі столи

Рисунок 1.2 – Схема розміщення механічного обладнання слябінгу 1150 з однорядним розміщенням нагрівальних колодязів

Таблиця 1.1 - Типи злиwkів

Перетин зливка	Виливниця		Зливки КПиПС		Зливки СП		Прокатувана ширина, мм
	Висота, мм	Вага, т	Висота, мм	Вага т	Висота мм	Вага т	
2	3	4	5	6	7	8	9
640x1480	2200	15,0	2000	12,5	2900	16,6	1420-1300
640x1600	2200	16,1	2000	14,3	2900	17,8	1520-1430
780x1000	2400	15,1	2200	11,2	3100	14,8	940 - 730
780x1170	2400	18,1	2200	13,2	3100	17,6	1110-950
780x1330	2400	20,5	2200	15,1	3100	19,9	1270- 1120
780x1500	2400	21,2	2200	16,9	-	-	1520- 1430

Обрізь від ножиць забирається за допомогою транспортера коливального столу 24 і конвеєром 25 передається в скраповий проліт, де скидається в спеціальні ями і охолоджується водою. Затім обрізь виймається за допомогою електромагнітного крана і вантажиться на залізничні вагони.

Різання розкату на мірні довжини забезпечується пересувним упором 26. Готові сляби по рольгангу столу, що коливається, 24 і рольгангу 27 забираються від ножиць і подаються або безпосередньо без проміжного нагріву до тонколистового стану, розташованого за слябінгом в одну лінію, або до ланцюгового транспортера слябів 30 і штабелюючим столам 31, на яких вони подаються зіштовхувачами 29. Зупинка слябів біля транспортера або потрібного штабелюючого столу здійснюється упорами, що опускаються, 28. З транспортера і штабелюючих столів сляби забираються за допомогою кранів і укладаються в штабеля в прольотах складу готової продукції або подаються на рольганг, що підводить до нагрівальних печей тонколистового стану.

1.3 Вантажопотоки цеху

Схему вантажопотоків цеху наведено на рисунку 1.2.

Метал зі сталеплавильних цехів у прокатні надходить у вигляді зливків, відлитих у виливниці.



Рисунок 1.3 – Вантажопотоки цеху

У сталеплавильному цеху рідку сталь із ковша ємністю 150–200 т розливають у виливниці, установлені на піддонах на спеціальні (низькі, відкриті) залізничні платформи. Состав таких платформ (візків) зі зливками у

виливницях подається в стриперне відділення цього цеху, розташоване перед цехом слябінга.

У стриперному відділенні передбачено кілька мостових стриперних кранів, призначених для зняття виливниць із гарячих (1000—1100°C) зливків.

Состав візків з гарячими («роздягненими») зливками подається у відділення нагрівальних колодязів цеху слябінга. При цьому кожний візок зі зливками зважується на залізничних вагах; таким чином, фіксується маса металу (зливків), що надходить у прокатний цех. Зливки для прокатки слябів нагрівають у нагрівальних колодязях.

Нагрівання металу в обтискному цеху здійснюється в регенеративних колодязях.

Камера являє собою самостійну нагрівальну піч, що має регенератори для підігріву газу й повітря, причому найближчий до робочого простору регенератор обов'язково газовий. Колодязі опалюють доменним газом або сумішшю доменного й коксового газів. Істотним недоліком колодязів є неоднакове розташування зливків щодо потоку тепла, а, отже, неоднакове їхнє нагрівання.

Для економії палива необхідно в колодязі завантажувати зливки з температурою 800–900°C. Для додаткового підігріву їх до температури 1260–1360°C й витримки (томління) при цій температурі буде потрібно 2,5—3,5 год. Якщо ж у колодязі завантажувати холодні зливки (з температурою 200—300°C), то для нагрівання їх буде потрібно час в 2–2,5 рази більше.

Робоча кліть має горизонтальні валки діаметром 1150 мм і довжиною бочки 2000 мм; кожний валок приводиться в обертання від індивідуального електродвигуна постійного струму. Вертикальні валки діаметром 700 мм і довжиною бочки 1150 мм розташовані перед горизонтальними (по ходу прокатки).

По обидві сторони робочої кліті встановлені робочі й розкатні рольганги з діаметром роликів 600 мм і кроком 900–950 і 800 мм відповідно, що забезпечують швидкістю прокатки до 5 м/с. Привод всіх роликів

рольгангів здійснюється від індивідуального електродвигуна через зубчасту муфту.

Маніпулятор постачений чотирма лінійками зі сталевого лиття, розташованими перед робочою кліттю й за нею. Кожна із чотирьох лінійок має дві штанги, які опираються з боку рольганга на опорні ролики, а з іншого боку – на бандажі шестирень привода. Синхронізація лінійок перед і за кліттю механічна, за допомогою проміжного вала із зубчастими муфтами. Зазор лінійок становить 750–1800 мм, а швидкість пересування їх 0,6–1,2 м/с.

Кантувач установлений тільки за горизонтальною кліттю й призначений для кантування зливка на 90° навколо його поздовжньої осі за допомогою чотирьох гаків, вмонтованих у лінійку маніпулятора.

Розкат по рольгангу надходить до ножиців гарячого різання, на яких обрізають кінці розкатів, а також здійснюють різання розкату на мірні сляби. Ножиці обладнані зіштовхувачем обрізі; рольгангом, що відсувається; скребковим похилим конвеєром для збирання обрізі довжиною до 700 мм, масою до 2 т (швидкість транспортування до 0,1 м/с); пересувним упором, установленим за ножицями й призначеним для зупинки розкату, що переміщається зі швидкістю 0,5 м/с, при порізці його на мірні довжини (2500–10500мм).

За ножицями сляби таврують у його передню торцеву грань як із зупинкою, так і без зупинки сляба. Пристрій складається із двох клеймачів, розташованих на загальній площадці над рольгангом. Число таврувань 10 у хв; максимальне число клейм у комплекті 12. Зміна клейм ручна.

Після таврування готові сляби зважують на важільних вагах верхнього виконання вантажопідйомністю 40 т (число зважувань до 300 у годину) і передають по рольгангу до збиральних пристроїв, де сляби зіштовхувачем з рольганга зіштовхують на стіл, що штабелює, для укладання слябів у пакет.

Сляби по рольгангу можуть транспортуватися (без проміжного підігріву) і безпосередньо до чорнових клітей тонколистового стана.

На слябінгу передбачені засоби для збирання скрапу й окалини. Стан обладнаний також системами змащення й охолодження механізмів і машин, гідро– і пневмопристроями, електроприводами й системами комплексної автоматизації по окремих ділянках.

1.4 Короткі відомості щодо устаткування цеху

Механічне устаткування цеху містить у собі основне й допоміжне устаткування.

В ЦГП відделення виробництва слябів основним устаткуванням є робоча кліть. Усе інше устаткування цеху є допоміжним.

Допоміжне устаткування можна розділити так само по групах:

- транспортує устаткування;
- устаткування для різання та маркування;
- нагрівальне устаткування;
- кантувальне, розворотні механізми;
- підйомно – транспортне устаткування.

Рольганги, прийомний і хитний рольганг, робочі рольганги, волокуші, конвеєри для збирання окалини й обрізків, зливковоз і зливковозний візок відносяться до транспортуючих механізмів.

До нагрівального устаткування відносяться нагрівальні колодязі (14 груп).

Стаціонарний перекидач, поворотний і підйомний – поворотні столи, штабелючі столи, а так само зіштовхувач, відносяться до кантуючи механізмам.

Підйомно – транспортне устаткування містить у собі електромостових кранів, у тому числі колодязні, магнітні й грейферні. Слід сказати, що колодязні крани безпосередньо беруть участь у технологічному процесі виробництва слябів.

2.1 Технічний опис поворотного стола

Поворотний стіл призначений для повороту подаваних до стану зливків на 180° у горизонтальній площині.

Технічна характеристика:

Діаметр стола	$D = 3370$ мм
Найбільша довжина зливка, що повертається,	$L = 2400$ мм
Найбільша вага зливка	$G = 20000$ кг
Крок роликів	$t_p = 748$ мм
Діаметр бочки ролика	$d_p = 600$ мм
Довжина бочки ролика	$l_{б,p} = 1200$ мм
Окружна швидкість обертання роликів	$v_p = 1,303$ м/с
Число обертів стола	$n_{n.c} = 6,2 \text{ хв}^{-1}$
Загальне передаточне число привода роликів рольганга	$U_{сп,p} = 23,375$
Загальне передаточне число привода обертання стола	$U_{сп,c} = 116,2$

Електродвигун механізму обертання роликів:

Тип	МТF412-6
Потужність	$P = 30$ кВт
Частота обертання	$n = 970 \text{ хв}^{-1}$

Електродвигун механізму обертання стола:

Тип	МТ 42-8
Потужність	$P = 16$ кВт
Частота обертання	$n = 720 \text{ хв}^{-1}$.

Поворотний стіл 1 (рис. 1) змонтовано на рамі 3, установленій на фундаменті, має рольганг із чотирьох роликів 28 і може повертатися навколо своєї осі на будь-який кут, опираючись на котки 13.

Поворот стола здійснюється від електродвигуна 5 через циліндричний редуктор 7, вали 23, 21 і конічна шестірня 17 з конічним вінцем 14.

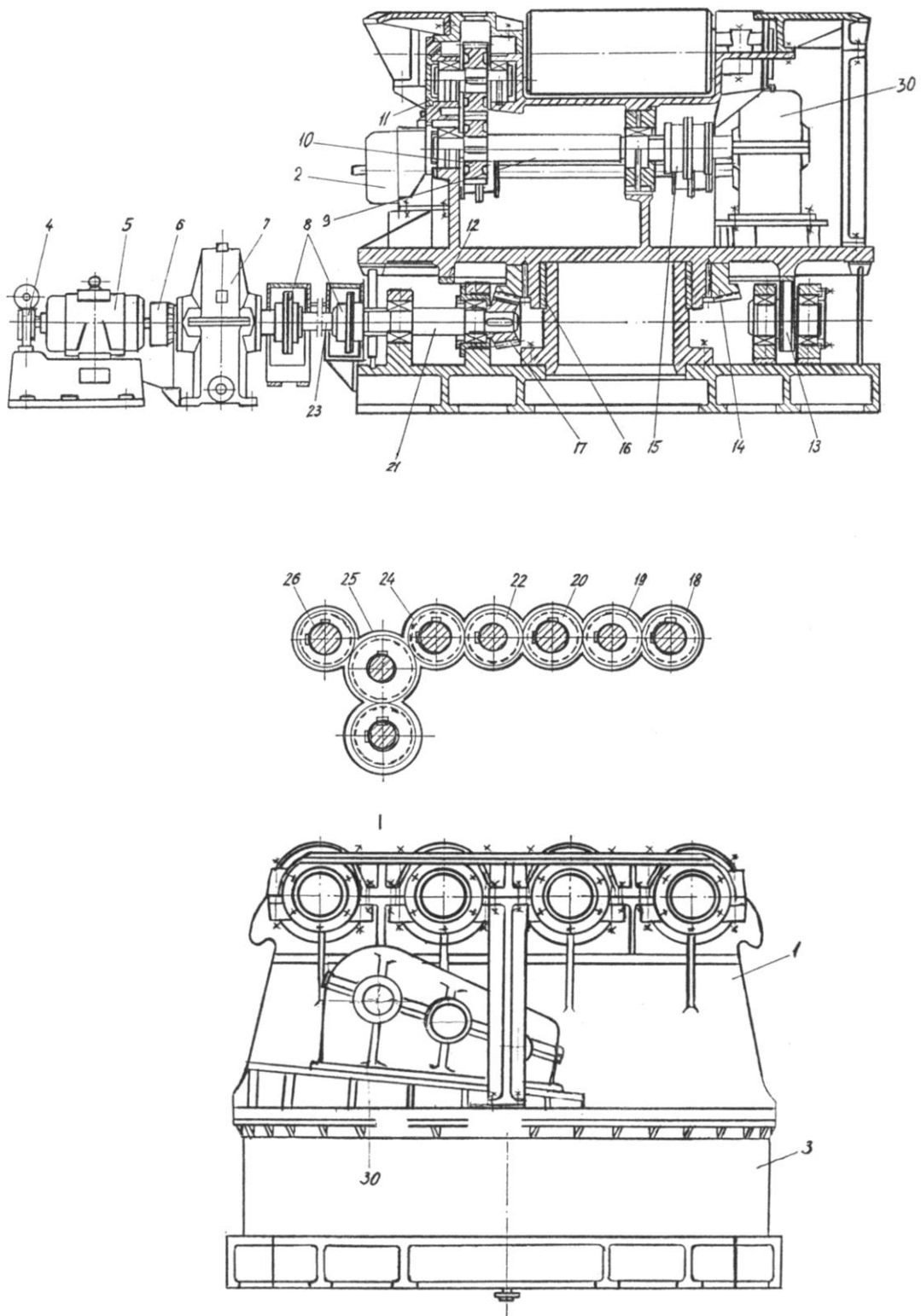


Рисунок 2.1 - Підйомно-поворотний стіл (позиції за текстом)

Ролики 28 приводяться в обертання від електродвигуна 2 через циліндричний редуктор 30, вал 9 із шестірнею 10 і шестеренну передачу, що полягає з паразитних шестірень 25, 22, 19 і шестірень 26, 24, 20 і 18, установлених на осях роликів 28.

Усі опори поворотного стола виконані на підшипниках кочення; вузли приводів з'єднані між собою зубчастими муфтами; механізм привода повороту стола обладнаний гальмом 4.

Змазування зубчатих коліс і підшипників кочення механізмів здійснюється від місцевої циркуляційної системи рідкого змащення, редукторів – заливанням мастила у картер.

2.2 Характерні види відмов деталей і вузлів поворотного столу

До характерних видів відмов роботи механізму обертання роликів відносять:

- а) зношування болтів на швидкохідному промвалі;
- б) погіршення змазування редуктора через влучення води;
- в) руйнування осьової фіксації підшипників електродвигуна;
- г) зношування циліндричного зачеплення редуктора;
- д) руйнування кріплення підшипника швидкохідного вала циліндричного редуктора внаслідок осьових навантажень із боку проміжного вала;
- е) вихід з ладу тихохідного вала циліндричного редуктора внаслідок руйнування зубчастої втулки;
- ж) вихід з ладу вузла малої паразитної шестірні через руйнування одного з підшипників;
- з) вихід з ладу підшипника ролика (частіше приводного ролика).

Ролики рольганга поворотного стола зі зношеними бочками наплавають, за умови, що немає глибоких тріщин.

2.3 Система змащення й мастильні матеріали деталей механізму обертання роликів

Основним призначенням змащення є зниження втрат на тертя й запобігання або зменшення зношування тертьових поверхонь; змащення також використовується для відводу тепла, запобігання деталей від корозії й видалення продуктів зношування. Для змащення вузлів устаткування застосовують три види мастильних матеріалів:

- рідкі (мінеральні мастила);
- консистентні (пластичні змащення);
- тверді (сухі).

У механізмі обертання роликів використовується картерна система змащення, централізована система пластичного змащення, а також закладна.

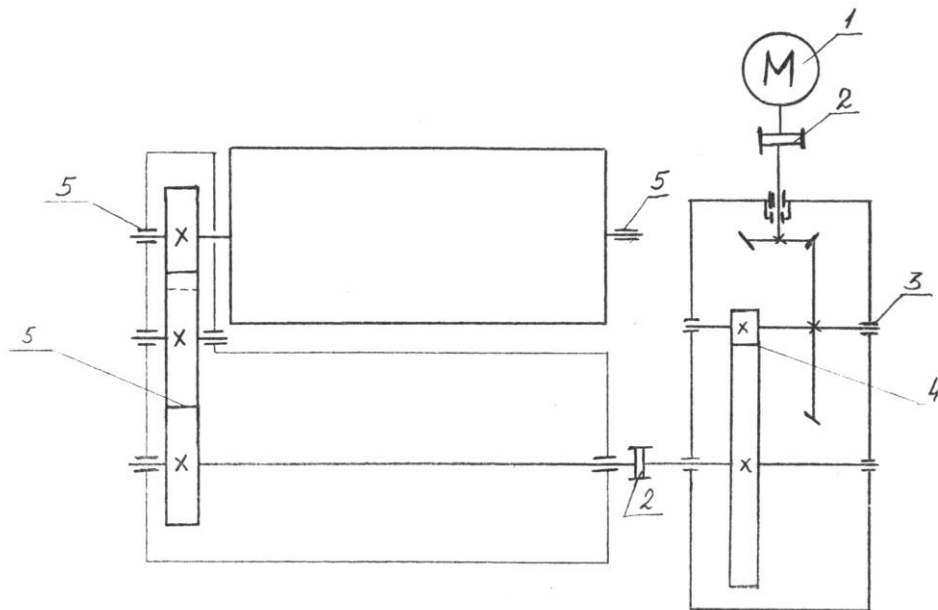


Рисунок 2.2 – Схема точок змащення поворотного стола

Карта змащення – це документ, яким керуються при експлуатації машин, у ній вказуються найменування крапок, що змазуються, їх кількість, вид матеріалу, що змазується, система змащення, витрата змащення за 8

годин, режим змазування й необхідна кількість використовуваного змащення, обсяг змащення, що перебуває у вузлі змазування.

Таблиця 2.1 – Карта змащення поворотного стола

№ п/п	Найменування точок змащення	Кіл.	Система змащення	Маст. матеріал	Витрата змащення за 8 год. у гр.	Режим змазування	Картер	
							Ємність у кг.	Термін служби в днях
1	Підшипники ел.двигуна	2	ЦСПЗ	УНІОЛ-2М	30 x 2	2 р/зміну	1,2	360
2	Муфта зубчаста	2	Ручная	УС-1	80+150	1 раз/20 діб	-	-
3	Підшипники редуктора КЦ 1-500	6	Ручная	УНІОЛ-2М	40 x 6	2 р/зміну	-	-
4	Зачеплення редуктора КЦ1-500	1	Картерна	I-25А	50	Безперерв.	27	360
5	Підшипники паразитного редуктора, зачеплення й підшипники роликів	19	ЦСПЗ	УНІОЛ-2М	50 x 19	3 р/зміну	165	360

2.4 Аналіз недоліків поворотного столу і пропозиції щодо їх усунення

Механізм обертання роликів має наступні недоліки:

а) Проміжний вал, що з'єднує електродвигун з редуктором, розташований у корпусі поворотної платформи у важкодоступному місці, вийшов з ладу через послаблення кріплення зубчастих муфт або зношування зубчастих муфт. Заміна проміжного вала займає 4-6 годин, тому що для того щоб демонтувати вузол проміжного вала необхідно спочатку демонтувати електродвигун, після чого завести в корпус поворотної платформи новий вузол проміжного вала, далі виставити й змонтувати електродвигун. Для усунення цього недоліку необхідно замінити циліндричний редуктор на конічно-циліндричний, що дозволить забрати проміжний вал і встановити

електродвигун і редуктор з однієї сторони поворотної платформи; це дозволить виключити даний недолік і зробити доступної для технічного обслуговування моторну зубчасту муфту.

б) Вихід з ладу підшипника ролика рольганга з холостої сторони внаслідок впливу ударних навантажень від зливка, що транспортується. Для усунення цього недоліку необхідно замінити, використовуваний підшипник, на більш стійкий підшипник до впливу ударних навантажень який не визиватиме заклинювання ролика рольганга у випадку виходу з ладу. Доцільно встановити підшипник №2097144, цей підшипник установлений із приводної сторони ролика рольганга, таким чином, даний підшипник є взаємозамінним для приводний і холостий сторін ролика.

в) важкі умови роботи при підвищеній температурі, а також складна конструкція паразитного редуктора викликають прискорене зношування і як наслідок вихід з ладу деталей і вузлів паразитного редуктора. Заходами усунення недоліку є: збільшення обсягу прокачування через централізовану систему змащення до вузлів тертя, у випадку відсутності подавання змащення, необхідно його негайно усунути.

в) сильні удари зливка, що транспортується, по роликах поворотного стола, викликають руйнування підшипників роликів, а також високі короточасні навантаження на весь привод обертання роликів. Для усунення цього недоліку необхідно ролики прийомного рольганга виставляти вище на 5 – 20 мм роликів рольганга поворотного стола.

3 Дослідження параметрів роботи поворотного столу

3.1 Мета та необхідність проведення експериментальних досліджень та технічної діагностики металургійного устаткування

Експериментальні дослідження є надзвичайно важливою складовою в сфері наукової діяльності суспільства. Експерименти, що поставлені на моделях чи діючому обладнанні, дозволяють отримати необхідні дані для проектування більш сучасного і надійного обладнання та модернізації існуючого. Тільки за допомогою експериментів можливо створити метали і сплави з високими механічними і фізичними властивостями, відпрацювати найбільш оптимальні конструктивні параметри деталей машин і механізмів.

Технічний прогрес приводить не тільки до ускладнення об'єктів дослідження, але й викликає підвищення вимог до глибини експерименту, а також до точності вимірів реєстрованих параметрів. В зв'язку з цим питанням постановці, проведенню і опрацюванню експеримента має приділятися велика увага.

Процес експериментальних досліджень вимагає від дослідника не тільки належного володіння математичним апаратом, а й відповідного знання фізики об'єкту та умінню працювати з дослідницькою апаратурою.

Тому безпосередньо перед проведенням експерименту (дослідду), перш за все, необхідно досконально вивчити об'єкт дослідження та визначитись з тим, які параметри необхідно досліджувати і яким чином їх реєструвати, а також передбачити надійну форму розшифрування записів.

Наступним етапом є підбір необхідної апаратури, відповідно до технічної і економічної доцільності. Тобто, необхідно врівноважити необхідні характеристики апаратури з її вартістю, бо чим більші можливості вона має, тим її вартість вище.

Тому при проведенні практичних дослідів необхідно оволодіти найбільш важливими правилами постановки і проведення експерименту, оброблення і аналізу результатів дослідів, а також ознайомитись з методологією планування

експериментів стосовно оптимізації досліджуваних параметрів для найбільш повного та якісного розкриття поставленої задачі.

Експериментальні дослідження напряму пов'язані з технічною діагностикою.

Мета діагностування – підвищити надійність металургійного устаткування, аналітичним або практичним шляхом, визначити найбільш навантажені місця обладнання, причини відмов обладнання та внесення пропозицій щодо покращення роботи цього обладнання. Відмови машин і механізмів спричиняють важкі наслідки, наприклад, втрати обсягів виробництва, підвищену витрату запасних частин, матеріалів, енергії, трудових ресурсів. Методи технічної діагностування дозволяють без розбирання вузлів виявити дефекти й механічні ушкодження, вивчити динаміку їхнього розвитку, вчасно підготувати й реалізувати технічні рішення, що попереджають відмови. Таким чином, технічна діагностика дає можливість організувати експлуатацію металургійних машин й агрегатів по їхньому фактичному стану, а не на основі нормативів, як це передбачено в директивних матеріалах.

3.2 Вибір моделі технічної діагностики металургійного устаткування

Як було сказано в попередньому пункті, для підвищення надійності металургійного устаткування необхідно встановити найбільш навантажені місця обладнання, причини його можливих відмов та внести пропозиції щодо покращення роботи цього обладнання. З цією метою широко використовуються методи технічного діагностування, які дозволяють аналітичним шляхом визначити причинно-наслідкові залежності працездатного стану устаткування та причини його відмови. В результаті чого можливо більш точно вказати на необхідність та доцільність модернізації того або іншого узла обладнання.

Один з методів технічного діагностування аналітичним шляхом – побудова логічних моделей роботи устаткування.

3.3 Характеристика системи технічного діагностування металургійного устаткування

Діагноз стану устаткування встановлюється за допомогою засобів технічної діагностики, які разом з об'єктом дослідження утворюють систему технічного діагностування. По характеру взаємодії між об'єктом і засобами діагностування розрізняють тестові й функціональні системи діагностування.

Відмінна риса перших полягає у подачі на невикористовуваний по прямому призначенню об'єкт спеціально організованих впливів засобами діагностування. Другі застосовують, коли об'єкт використовується по призначенню. Такі системи придатні для унікального й тяжконавантаженого металургійного устаткування.

Процес визначення технічного стану складаються з окремих операцій, кожна з яких характеризується технологічним впливом і відповіддю об'єкта, що реєструється. Такі операції називаються елементарними перевірками, а формальний опис процесу (алгоритм діагностування) являє собою послідовність елементарних перевірок і правил аналізу результатів.

Ефективність технічного діагностування залежить від ряду факторів, але найбільш істотний з них - якість алгоритмів засобів діагностування.

Різноманітність алгоритмів пояснюється наступними обставинами. Число елементарних перевірок, достатніх для розв'язку конкретного завдання, як правило, менше числа всіх припустимих (фізично можливих і реалізованих) перевірок даного об'єкта. Різні елементарні перевірки вимагають неоднакових витрат часу на їхню реалізацію й подають ідентичну інформацію про стан устаткування. Можуть бути й різні послідовності виконання перевірок. При розробці оптимальних алгоритмів використовуються критерії оптимізації, вибір яких не повинен знижувати вірогідність інформації про технічний стан устаткування. Тому при проектуванні систем діагностування виникає необхідність розробки формальних методів побудови алгоритмів діагностування, що виключають

вплив суб'єктивних факторів, що й дозволяють автоматизувати процеси визначень технічних станів машин за допомогою обчислювальної техніки.

Ефективність діагностування залежить і від якості засобів, використовуваних для виміру параметрів машин і механізмів. Засоби діагностування бувають зовнішніми або вбудованими, ручними або автоматизованими, апаратними або програмними, спеціалізованими або універсальними. У цей час металургійне устаткування проектується без розробки засобів і методів технічної діагностики. Тому наявність статистичних даних про ймовірності виникнення відмов розширює можливості організації ефективних процесів визначення технічного стану об'єктів діагностування, тому що зводить до мінімуму вплив суб'єктивних факторів.

Відповіді вузлів і деталей на технологічні впливи надходять на засоби технічної діагностики з основних виходів машин, необхідних для їхнього застосування по призначенню, або з додаткових виходів, що організуються спеціально для діагностування. Сукупність основних і додаткових виходів називається контрольними точками.

Для оцінки технічного стану устаткування значення сигналів у контрольних точках необхідно представити в зручній формі, наприклад, "об'єкт справний" або "об'єкт несправний". Знання стану устаткування використовується для розв'язку різних завдань технічного обслуговування.

3.4 Математичні моделі об'єкта діагностування – поворотного столу

3.4.1 Загальні відомості про математичні моделі

Математична модель об'єкта діагностування – це формальний опис об'єкта і його поведінки в працездатному й непрацездатному станах.

Будь-яку машину можна розглядати як перетворювач вхідних (технологічних) впливів величин x у вихідні z .

Це перетворення можна записати як:

$$z(t)=A \cdot x(t), \quad (3.1)$$

де t – час;

A – оператор, що характеризує перетворення вхідних параметрів у вихідні.

Якщо в об'єкті дефектів немає, то система (2.1) є математичною моделлю працездатного стану.

Позначимо символом S безліч із усіх можливих відмов машин і будемо вважати що система перебуває в i -му неробочому стані.

Тоді для цього випадку можна записати, що:

$$z(t)=A \cdot x_i(t), \quad (3.2)$$

І це буде математичною моделлю i -го непрацездатного стану об'єкта.

Таким чином система (3.1) і сукупність систем (3.2) для всіх можливих відмов утворюють явну математичну модель об'єкта діагностування.

Для металургійного устаткування в явному вигляді задають лише модель у працездатних станах, а поведінку в i -х неробочих станах представляють побічно через безліч можливих відмов. У цьому випадку одержують неявну математичну модель устаткування.

При експлуатації устаткування треба вирішувати різні завдання, найважливіше з яких, визначення фактичного залишкового ресурсу деталей і вузлів і вибір початку ремонтних впливів.

Можливі різні шляхи розв'язку:

- можна спробувати знайти явний або неявний аналітичний опис об'єкта й одержати уточнене значення наробітки на відмову. Цей шлях не можна практично реалізувати при створенні математичної моделі, тому що невідомі закони змін умов експлуатації, закони зміни механічних властивостей матеріалів, закони зміни технології виготовлення деталі і т.д.;

- на підставі змін вхідних і супутніх параметрів (тональність, температура, число обертів, потужність і т.д.) робиться висновок про працездатність об'єкта (допускові оцінки).

Для опису станів машин такими оцінками використовують моделі логічного типу, для побудови яких досить знати причинно-наслідкові залежності, між діагностичними ознаками й параметрами.

3.4.2 Принципи побудови логічних моделей

Формальна процедура побудови логічної моделі полягає в наступному.

Будемо вважати, що об'єкт технічного діагностування (металургійна машина, агрегат) складається з N зв'язаних між собою компонентів (вузлів, блоків, складових частин). Склад компонентів, зв'язки між ними й зовнішні зв'язки утворюють структуру об'єкта. З погляду діагностування при розчленовуванні об'єкта слід урахувувати такі показники, як змінність компонентів, їх контролепридатність, методи ремонту та ін.

3.4.3 Побудова логічної моделі роботи поворотного столу у формальному виді

Будемо вважати, що вузол роликів, що подають, складається з N зв'язаних між собою компонентів до складу яких входять:

— зв'язки між ними й зовнішні зв'язки, що утворюють структуру об'єкта.

Позначимо :

- x_{i1}, x_{i2}, x_{in} – вхідні сигнали блоку P_i , які являються зовнішніми вхідними сигналами вузла роликів, що подають;
- y_{i1}, y_{i2}, y_{in} – вхідні сигнали блоку P_i , які являються вихідними сигналами інших блоків;
- z_{i1}, z_{i2}, z_{in} – вихідні сигнали блоку P_i .

Кожний сигнал може характеризуватися одним або декількома фізичними параметрами.

Сигнали на схемах позначаються стрілками, кількість яких відповідає числу сигналів, що характеризують ці параметри.

Відповідно до складу вузла роликів, що подають, а також принципу його дії опишемо вхідні й вихідні сигнали.

У вузла роликів, що подають, два вхідних сигнала й три контрольовані параметри: перший – тиск у гідроциліндрі (зусилля притиску ролика); другий – швидкість обертання роликів (частота обертання); третій – крутний момент на приводному ролику.

Відмовою поворотного столу, вважаємо якщо:

1 – швидкість обертання столу не відповідає заданій величині $V_C \neq V_{НОМ}$;

2 – швидкість обертання роликів не відповідає заданій величині $V_P \neq V_{НОМ}$;

3 – величина крутного моменту на роликах поворотного столу не відповідає заданій величині $M_{КР} \neq M_{НОМ}$.

Позначивши через H – норма, запишемо наступні причини відмови поворотного столу:

$V_C \neq V_{НОМ}$ - швидкість обертання столу не відповідає заданій величині;

$V_P \neq V_{НОМ}$ - швидкість обертання роликів не відповідає заданій величині;

$M_{КР} \neq H$ - величина крутного моменту на роликах поворотного столу не відповідає заданій величині;

$E_{П}$ - поломка електродвигуна механізму повороту столу;

P_C - поломка редуктора механізму повороту столу;

M_1 - поломка муфти механізму повороту столу;

P_K - поломка конічної зубчастої пари механізму повороту столу;

Π_1 - вихід з ладу підшипників опорного ролика механізму повороту столу;

E_p - поломка електродвигуна механізму приводу обертання роликів;

P_p - поломка редуктора механізму приводу обертання роликів;

M_2 - поломка муфти механізму приводу обертання роликів;

Π_B - поломка проміжного валу приводу обертання роликів;

P_2 – поломка розданого редуктора приводу обертання роликів;

Π_2 - вихід з ладу підшипників роликів;

Відповідно до прийнятих умовностей будемо логічну модель роботи поворотного столу у формальному виді, яка наведено на рисунку 3.1.

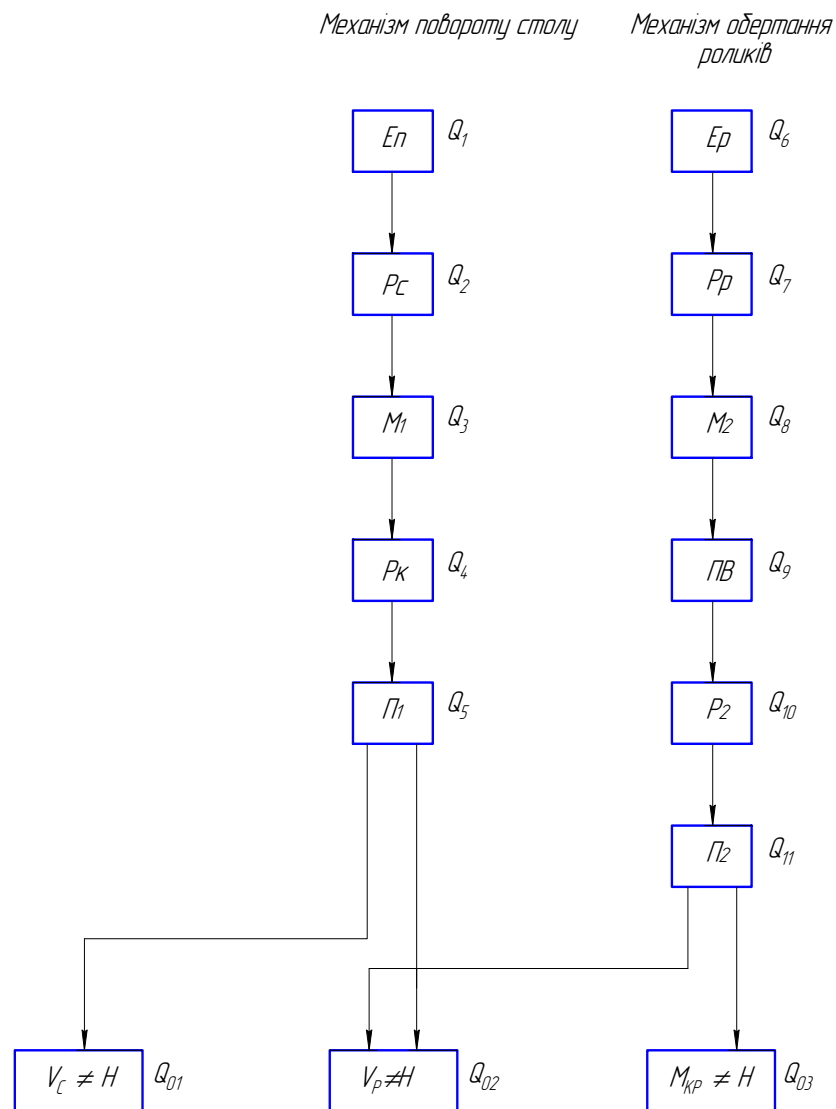


Рисунок 3.1 – Логічна модель роботи поворотного столу у формальному виді

3.4.4 Побудова явної математичної моделі роботи поворотного столу

Явна математична модель являє собою сукупність усіх працездатних і непрацездатних станів об'єкта діагностування.

Використовуючи логічну модель можна побудувати таблицю, рядки якої відповідають припустимим елементарним перевіркам, а стовпці – технічним станам об'єкта:

- e – працездатний стан;
- i – непрацездатний стан.

Математична модель представлена у вигляді такої таблиці називається таблицею функцій несправності об'єкта й застосовується для розробки алгоритмів діагностування. Будемо вважати, що в металургійних машинах виникають тільки одиночні несправності й функції умови роботи кожного блоку дорівнюють результату логічного множення вхідних зовнішніх і внутрішніх сигналів:

$$F_i = (x_{i1} \dots x_{in}) \cdot (y_{i1} \dots y_{in})$$

Так задають глибину діагностування.

Фактичне значення вихідного сигналу z_i будь-якого блоку Q_i залежить від значення функції F_i і від того працездатний блок чи ні.

При працездатному блоці $Q_i=1$, непрацездатному – $Q_i=0$.

Таблиця 3.1 – Можливі набори двійкових змінних

F_i	Q_i	z_i
1	1	1
0	1	1
1	0	0
0	0	0

де F_i – вхідні та вихідні сигнали;

Q_i – фактичний стан блоку;

z_i – вихідний сигнал.

Із цієї таблиці випливає що z_i – результат логічного множення $F_i \times Q_i$.

Фізично це означає, що вихідний сигнал z_i блоку Q_i допустим тоді, коли всі його вхідні сигнали ($F_i=1$) припустимі й блок ($Q_i=1$) працездатний.

Інформацію про технічний стан об'єкта знімають із виходів блоків його логічної моделі. Максимум інформації буде отримано при контролі виходів усіх блоків. У цьому випадку добуток $z_i=1$:

$$\prod_{i=1}^n z_i = 1, \quad (3.3)$$

де n – число блоків, що входять у математичну модель.

При технічній діагностиці немає необхідності контролювати виходи всіх блоків, тут прагнуть користуючись логічними моделями одержати мінімальну кількість елементарних перевірок, використовуючи два правила:

- якщо вихід блоку Q_i з'єднаний тільки із входом іншого блоку Q_j , то вихід блоку Q_i включається в мінімальний алгоритм;

- для пошуку несправностей обов'язкові зовнішні виходи логічної моделі, які утворюють мінімальну сукупність, що перевіряється.

Згідно із усіма цими теоретичними положеннями будуємо модель роботи поворотного столу.

Запишемо функції умов роботи логічної моделі:

$$F_1=x_1; F_6=x_6 - \text{зовнішні сигнали};$$

Складемо рівняння:

$$F_2=z_1; F_3=z_2; F_4=z_3; F_5=z_4;$$

$$F_7=z_6; F_8=z_7; F_9=z_8; F_{10}=z_9; F_{11}=z_{10};$$

$$F_{01}=z_5; F_{02}=z_5 \cdot z_{11}; F_{03}=z_{11}.$$

Відповідно до отриманих рівностей логічна модель роботи поворотного столу у формальному виді (наведена на рис. 3.1), прийме наступний вид (рис. 3.2).

Використовуючи отриману логічну модель будуюмо явну математичну модель у табличній формі (таблиця 3.2)

Таблиця 3.2 – Явна математична модель роботи поворотного столу

R	e	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁	Q ₀₁	Q ₀₂	Q ₀₃
Z ₁	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z ₂	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z ₃	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z ₄	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z ₅	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z ₆	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Z ₇	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Z ₈	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
Z ₉	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Z ₁₀	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Z ₁₁	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Z ₀₁	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Z ₀₂	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Z ₀₃	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Механізм повороту столу

Механізм обертання
роликів

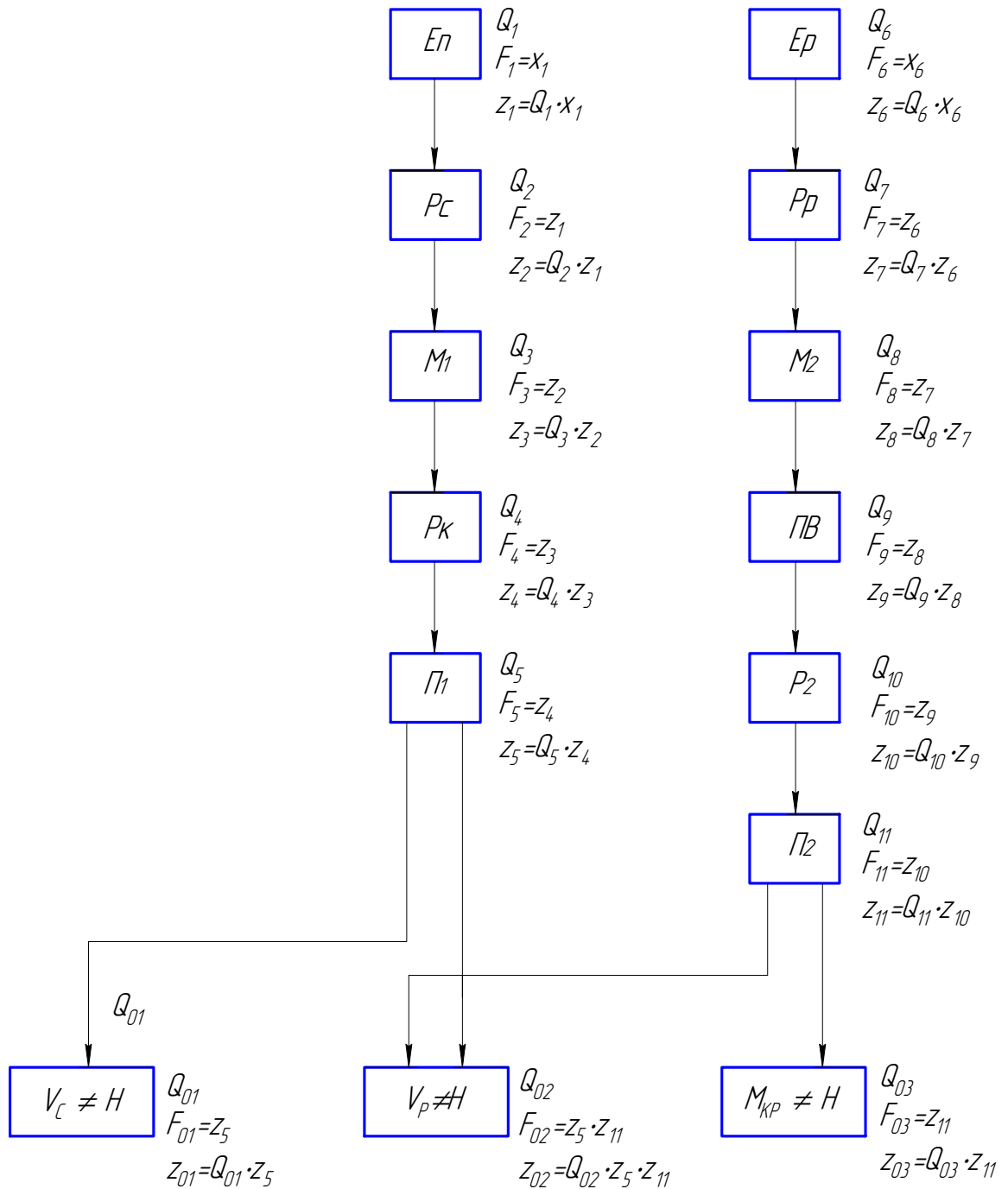


Рисунок 3.2 – Логічна модель роботи поворотного столу у формальному виді

Висновок: у результаті діагностування працездатності устаткування була побудована математична модель роботи поворотного столу стана 1150, яка вказує на те що нерозрізненим залишилася несправність блоку Q_{02} (рис. 3.2), на логічній моделі видно, що несправність необхідно шукати або на виході сигналів z_5 або на виході z_{11} . Також для пошуку одиночних відмов потрібно контролювати загальний стан поворотного столу, стан металоконструкції та вузли кріплення агрегату до фундаменту.

Іншими словами можна сказати, що для якісної роботи столу, необхідно мати працездатні елементи (вузли) та придатні до роботи підшипникові вузли, що створює підґрунтя для проведення дослідження роботи підшипникових вузлів, та як наслідок - можливу їх модернізацію (для підвищення надійності роботи роликів можливо замінити існуючі підшипники типу 7144, які встановлені на них, на підшипники типу 7144Л1, 7144М або на 6-7144МУС23, що мають кращі технічні характеристики).

3.5 Сучасний погляд на методику розрахунків моменту тертя підшипників кочення

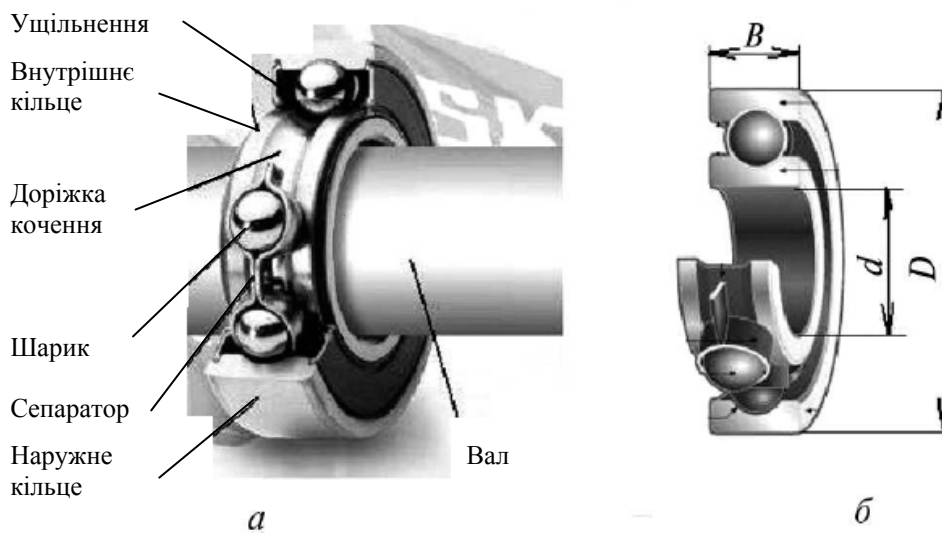
3.5.1 Конструкція та призначення підшипників кочення

Підшипники кочення служать для кріплення валів і осей у корпусах машин. Їх використовують у побутових приладах, автомобілях, аерокосмічних системах. Від якості підшипників залежить працездатність машин: продуктивність, точність, безшумність, довговічність і ін. В 2007 р. у фірмах, що випускають, підшипники, працювало більш 92 000 співробітників, а обсяг продажів становив 37 млрд. дол. До 2030 р. ця сума повинна перевершити 96 млрд. дол.[25]. Підшипники кочення постійно модернізуються: поліпшується їх конструкція, технологія й експлуатація.

Основною робочою характеристикою підшипника є коефіцієнт корисної дії (ККД). Як складова частина загального ККД машини він використовується при розрахунках потужності привода. Значення ККД пов'язане з опором обер-

танню підшипника, яке залежить від конструкції, точності й чистоти поверхонь деталей, навантаження, типу змащення й ін. Заміна тертя ковзання тертям кочення дозволяє зменшити опір у підшипниках при середніх частотах обертання в 3-6 раз і в 10-15 раз при пуску.

Підшипник складається із зовнішнього й внутрішнього кілець, кульок і сепаратора для рівномірного розподілу їх по колу між кільцями (рис. 2.3). На поверхні кілець є доріжки кочення, по яких перекочуються тіла кочення при обертанні одного з кілець.



а - з ущільненнями ГОСТ 8882-75; б - без ущільнень ГОСТ 8338-75

Рисунок 3.3 – Конструкція підшипників кочення

У технічній літературі [16] момент опору обертанню визначається по спрощеній формулі при деяких умовах: навантаження на підшипник $P \approx 0,1 C$; гарне змащування; нормальні умови експлуатації:

$$M_{\text{під}} = F_E \cdot f \cdot \frac{d}{2}, \quad (3.4)$$

де F_E - наведене навантаження;
 f - наведений коефіцієнт тертя;
 d - внутрішній діаметр підшипника.

При необхідності більш точних розрахунків виникають труднощі, обумовлені особливостями роботи підшипника. Наприклад, на величину опору обертанню підшипника може впливати невеликий перекис кілець. Це приводить до зсуву кульок (шариків) і нерівномірності їх обертання, що викликає проковзування точок контакту щодо бігових доріжок і гнізд сепаратора. Можливі також автоколивання кульок через похибки їх діаметрів або биттю доріжок кочення, бічних і радіальних [16]. Ці й інші явища, властиві роботі підшипників, носять випадковий характер і перешкоджають точному аналітичному розв'язку.

Існує також уточнений розрахунок моменту тертя підшипника кочення, який полягає в тому, що момент тертя ділиться на незалежний від навантаження момент M_0 і залежний від навантаження момент M_1 , які потім складаються й дають сумарний момент:

$$M_{\text{під}} = M_0 + M_1, \quad (3.5)$$

де M_0 - незалежний від навантаження момент;

M_1 - залежний від навантаження момент.

3.5.2 Методика розрахунків моменту тертя підшипників кочення

Однак на сучасному етапі розвитку технологій багато міжнародних виробників підшипникових вузлів: шведська компанія SKF, німецька компанія Schaeffler, японські компанії KSM, GMB Corporation Japan, NSK, американська компанія Timken, французька компанія SNR Group (виробник підшипників №1 для автомобілебудування в Європі) і багато інших світових лідерів з виробництва підшипникових вузлів і обертових опор, використовують більш передові методики розрахунків моменту тертя підшипників кочення.

Точність розрахунків можна підвищити, якщо в основу вточнюючого розрахунку моменту тертя підшипника кочення покласти не залежність від наван-

таження, а тип джерела тертя. По суті, до M_0 можна віднести додаткові зовнішні джерела тертя разом з «гідродинамічним» компонентом тертя кочення, який також має залежну від навантаження складову.

Цей новий підхід виявляє джерела тертя в кожному контакті, що виникає в підшипнику, і їх комбінації; крім того, з метою прогнозування загального моменту тертя в міру додавання ущільнень і додаткових зовнішніх джерел тертя до загальної суми можна додавати нові доданки. Оскільки ця модель ураховує всі контакти без винятку (включаючи доріжки кочення та борти), є можливість внесення виправлень, що відбивають конструктивні зміни й поліпшення поверхонь підшипників.

Нова модель, розроблена SKF, забезпечує більш точний розрахунок моменту тертя, що виникає в підшипниках кочення. Нова модель SKF була введена з більш складних обчислювальних моделей SKF і забезпечує обчислення приблизних номінальних величин для наступних робочих умов:

- змазування пластичним змащенням або з використання таких традиційних способів змащування мастилом, як масляна ванна, крапкове змащення й упорскування мастила;

- для спарених підшипників потрібно здійснити розрахунок моменту тертя для кожного підшипника окремо, а потім скласти отримані величини; радіальне навантаження ділиться нарівно між двома підшипниками; осьове навантаження ділиться залежно від типу підшипникового вузла;

- величина навантаження рівна або перевищує величину рекомендованого мінімального навантаження;

- постійні навантаження по величині й напрямку;

- нормальний робочий зазор у підшипнику.

Для точного розрахунків моменту тертя в підшипнику кочення повинні бути враховано чотири різні джерела:

$$M = M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag} \quad (3.6)$$

де M - загальний момент тертя;
 M_{gr} - момент тертя кочення;
 M_{sl} - момент тертя ковзання;
 M_{seal} - момент тертя ущільнень;
 M_{drag} - момент тертя за рахунок опору змащення, збовтування, розбрикування та ін..

Розпишемо складові моменту тертя в підшипнику.

Момент тертя кочення

Розрахунки моменту тертя кочення здійснюються по формулі:

$$M_{gr} = G_{gr} \cdot (v \cdot n)^{0,6}, \quad (3.7)$$

де M_{gr} - момент тертя катання;
 G_{gr} - змінна, що залежить від

- типу підшипника;
- середнього діаметра підшипника $d_m = 0,5 (d + D)$;
- радіального навантаження F_r ;
- осьового навантаження F_a ;

n - частота обертання;
 n - кінематична в'язкість мастильного матеріалу при робочій температурі,
(для пластичного змащення величина в'язкості базового мастила).

Момент тертя ковзання

Розрахунки моменту тертя ковзання проводиться по формулі:

$$M_{sl} = G_{sl} \cdot \mu_{sl} \quad (3.8)$$

де M_{sl} - момент тертя ковзання;
 G_{sl} - змінна, що залежить від

- типу підшипника
- середнього діаметра підшипника $d_m = 0,5 (d + D)$;
- радіального навантаження F_r ;
- радіального навантаження F_a ;

m_{sl} - коефіцієнт тертя ковзання, в умовах утворення повноцінної мастильної плівки, тобто $k \geq 2$, може бути встановлена:

- 0,05 для змазування мінеральними мастилами;
- 0,04 для змазування синтетичними мастилами;
- 0,1 для змазування трансмісійними рідинами.

Для циліндричних або конічних роликопідшипників замість вищевказаних слід використовувати наступні величини:

- 0,02 для циліндричних роликопідшипників;
- 0,002 для конічних роликопідшипників.

Момент тертя ущільнень

Якщо підшипники постачені контактними ущільненнями, втрати на тертя ущільнень можуть перевищувати втрати на тертя в підшипнику. Момент тертя ущільнень підшипників з ущільненнями на обох сторонах можна приблизно розрахувати за допомогою наступного емпіричного рівняння:

$$M_{seal} = K_{S1} \cdot d_s^\beta + K_{S2} \quad (3.9)$$

де M_{seal} - момент тертя ущільнень;

K_{S1} - константа, що залежить від типу підшипника;

K_{S2} - константа, що залежить від типу підшипника й ущільнення;

d_s - діаметр сполученої поверхні ущільнення;

β - показник, що залежить від типу підшипника й ущільнення;

M_{seal} – момент тертя, що виникає за рахунок двох ущільнень. Якщо встановлене тільки одне ущільнення момент тертя, що виникає, буде рівний $0,5 M_{seal}$.

Для ущільнень типу RSL, призначених для радіальних шарикопідшипників із зовнішнім діаметром понад 25 мм, слід використовувати розрахункову величину M_{seal} незалежно від кількості встановлених ущільнень.

Додаткові фактори, що впливають на моменти тертя в підшипниках

Щоб більш уважно розглянути поведінку підшипника в реальних умовах і в тих випадках, коли потрібна підвищена точність розрахунків, нова модель SKF дозволяє вводити в рівняння додаткові величини, відповідні до додаткових факторів, що впливають на моменти тертя. Ці додаткові фактори включають:

- зменшення в'язкості за рахунок нагрівання мастильного матеріалу;
- ефект кінематичного мастильного голодування в умовах крапкового змазування (у т.ч. маслороздушного), змазування упоркуванням мастила, змащування пластичним змащенням і зниженого рівня мастила в масляній ванні;
- опір руху при змащуванні масляною ванною;
- режим змішаного тертя для малих швидкостей і/або в'язкостей і мастильних матеріалів.

З обліком цих додаткових джерел кінцеве рівняння загального моменту тертя підшипника має такий вигляд:

$$M = \phi_{\text{ish}} \cdot \phi_{\text{rs}} \cdot M_{\text{rr}} + M_{\text{sl}} + M_{\text{seal}} + M_{\text{drag}}, \quad (3.10)$$

де M - загальний момент тертя;

M_{rr} - момент тертя катання;

M_{sl} - момент тертя ковзання;

M_{seal} - момент тертя ущільнень;

M_{drag} - момент тертя за рахунок опору змащення, збовтування, розбрикування та ін.;

ϕ_{ish} - коефіцієнт зменшення за рахунок нагрівання мастильного матеріалу;

ϕ_{rs} - коефіцієнт зменшення в режимі кінематичного мастильного голодування.

Коефіцієнти ϕ_{ish} й ϕ_{rs} вводяться в нову модель тертя SKF для обліку ефекту зменшення в'язкості за рахунок нагрівання при зрушенні в зоні входу й мастильного голодування при високих швидкостях відповідно. Величина коефіцієнта тертя ковзання m_{sl} зростає для малих швидкостей ковзання й/або малої в'язкості в режимі змішаного тертя.

Коефіцієнт зменшення за рахунок нагрівання мастильного матеріалу

При достатньому постачанні підшипника мастильним матеріалом не вся його кількість може пройти через контакти; лише мізерно мала кількість використовується для формування мастильної плівки. Через це деяка кількість мастила що перебуває поблизу входу у контакт, відкидається й утворює зворотний потік (рис. 3.4). Цей зворотний потік здійснює зрушення мастильного матеріалу з утвором тепла, що знижує в'язкість мастила й зменшує товщину мастильної плівки й величину компоненти тертя катання.

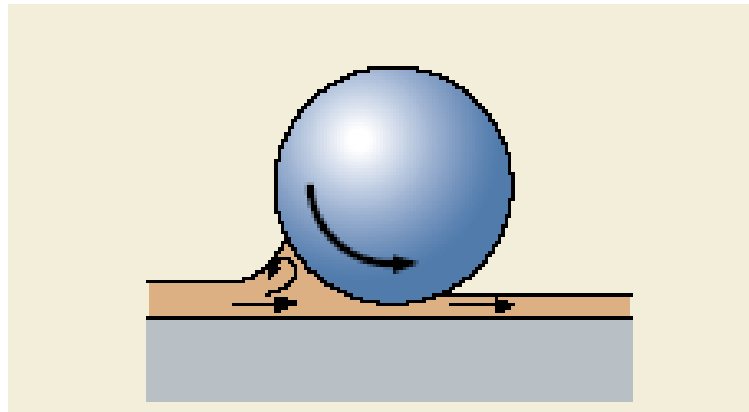


Рисунок 3.4 – Схема змащування контакту кочення з утвором зворотного потоку мастильного матеріалу

Для обліку вищевказаного ефекту коефіцієнт зменшення в'язкості за рахунок нагрівання можна приблизно розрахувати по формулі:

$$\phi_{\text{ish}} = \frac{1}{1 + 1,84 \cdot 10^{-9} \cdot (n \cdot d_m)^{1,28} \cdot \nu^{0,64}}, \quad (3.11)$$

де ϕ_{ish} - коефіцієнт зменшення за рахунок нагрівання мастильного матеріалу;

n - частота обертання;

d_m - середній діаметр підшипника;

ν - кінематична в'язкість мастильного матеріалу при робочій температурі, (для змащування пластичним змащенням величина в'язкості базового мастила).

Величини коефіцієнта зменшення в'язкості за рахунок нагрівання при зрушенні в зоні входу f_{ish} можуть бути отримані з рисунка 3.5 як залежність комбінованого параметра $(n \cdot d_m)^{1,28} \cdot \nu^{0,64}$.

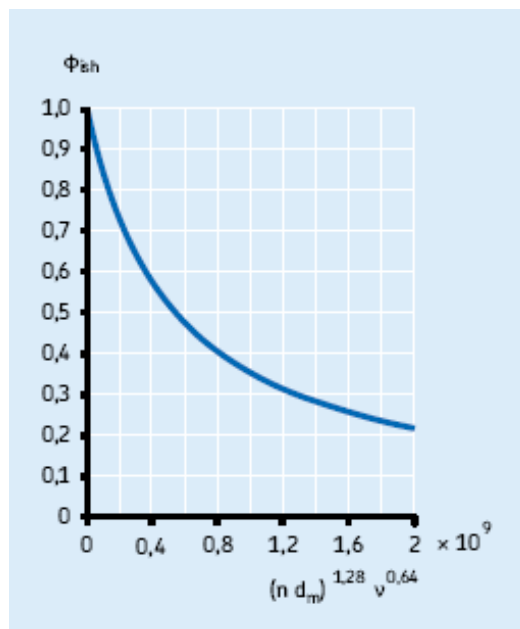


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта зменшення за рахунок нагрівання мастильного матеріалу f_{ish} залежно від залежності комбінованого параметра

$$(n \cdot d_m)^{1,28} \cdot \nu^{0,64}$$

Коефіцієнт зменшення в режимі кінематичного мастильного голодування в умовах крапкового змащування (у т.ч. маслоповітряного), змащування упорскуванням мастила й зниженого рівня мастила в масляній ванні (рівень мастила нижче центру самого нижнього тіла кочення), а також змащування пластичним змащенням у результаті процесу кочення надлишки мастильного матеріалу виштовхуються із зони контакту. При цьому внаслідок високої швидкості або високої в'язкості мастильного матеріалу заповнення змащення на периферії контакту кочення не відбувається. Цей ефект називається «кінематичним мастильним голодуванням» і викликає зменшення товщини мастильної плівки й моменту тертя кочення.

Для вищевказаних умов змащування коефіцієнт зменшення можна приблизно визначити по формулі:

$$\phi_{rs} = \frac{1}{e^{K_{rs} \cdot v \cdot n \cdot (d+D)} \cdot \sqrt{\frac{K_z}{2 \cdot (D-d)}}}, \quad (3.12)$$

де ϕ_{rs} - коефіцієнт зменшення в режимі кінематичного мастильного голодування;

e - основа натурального логарифма, $e \approx 2,718$;

K_{rs} - константа мастильного голодування: 3×10^{-8} для зниженого рівня мастила масляної ванни й упорскування мастила, 6×10^{-8} для пластичного змащення й крапкового змащування;

K_z - константа, що залежить від типу підшипника;

v - кінематична в'язкість мастильного матеріалу при робочій температурі;

n - частота обертання;

d - діаметр отвору підшипника;

D - зовнішній діаметр підшипника.

Втрати на опір в умовах змащування масляною ванною

Тому що втрати на опір і перемішування (так званий «барботаж») мастильного матеріалу є найважливішими додатковими джерелами тертя, усі вони виражаються одним компонентом втрат M_{drag} .

В умовах змащування масляною ванною підшипник перебуває в стані часткового або, в особливих випадках, повного занурення. У цих умовах поряд з розміром і геометрією масляної ванни рівень мастила може значно впливати на момент тертя підшипника. Для великої масляної ванни, незалежно від розмірів резервуарів і впливу інших механічних елементів, що працюють у безпосередній близькості від підшипника, наприклад, зовнішнього перемішування мастила зубчастими колесами або кулачками, втрати на опір руху в підшипнику можуть бути приблизно оцінені змінною V_M , відображеної на рисунку 3.6 залежно від співвідношення між рівнем мастила H (рис. 3.7) і середнім діаметром підшипника $d_m = 0,5(d+D)$.

Рисунок 2.6 може застосовуватися для частот обертання підшипника, що не перевищують номінальну. При більш високих частотах обертання й рівнях мастила результати можуть бути зовсім іншими через вплив інших ефектів.

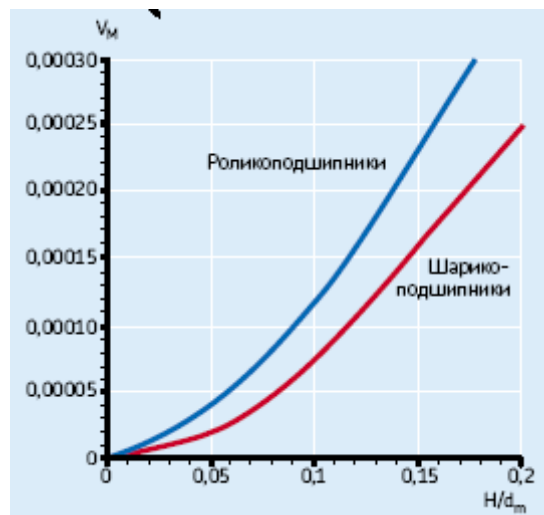


Рисунок 3.6 – Діаграма залежності змінної V_M залежно від співвідношення між рівнем мастила H і середнім діаметром підшипника d_m

Залежність між моментом тертя за рахунок втрат на опір і змінної V_M на рисунку 3.6, для шарикопідшипників виражається у вигляді:

$$M_{\text{drag}} = V_M \cdot K_{\text{ball}} \cdot d_m^5 \cdot n^2, \quad (3.13)$$

для роликотпідшипників:

$$M_{\text{drag}} = 10 \cdot V_M \cdot K_{\text{roll}} \cdot B \cdot d_m^4 \cdot n^2, \quad (3.14)$$

де M_{drag} - момент тертя за рахунок втрат на опір;

V_M - змінна як функція рівня мастила по рис.3.6;

K_{ball} - константа для шарикотпідшипників;

K_{roll} - константа для роликотпідшипників;

d_m - середній діаметр підшипника;

B - ширина внутрішнього кільця підшипника;

n - частота обертання.

Величини змінної V_M можна визначити по рис.3.6, де червона крива відповідає шарикотпідшипникам, а синя – роликотпідшипникам.

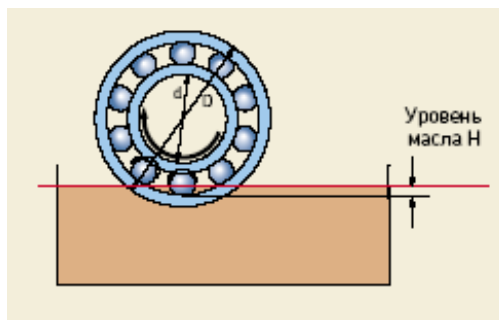
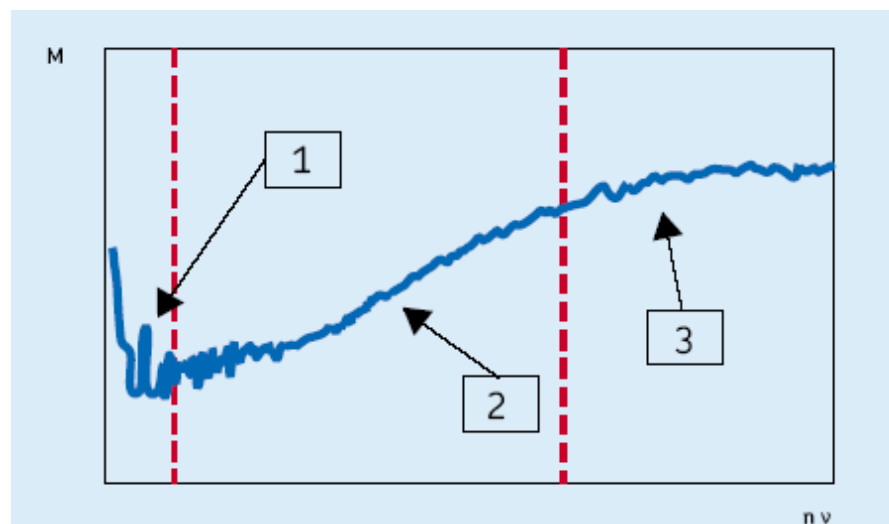


Рисунок 3.7 – Схема до визначення рівня мастила в масляній ванні

Режим змішаного тертя для малих швидкостей та в'язкості

В умовах, що характеризуються малими величинами k (≤ 2), підшипник перебуває в режимі змішаного тертя, де іноді може мати місце контакт «метал-метал», що приводить до збільшення тертя. На рисунку 3.8 представлена типо-

ва залежність моменту тертя підшипника від частоти обертання й в'язкості мастильного матеріалу. У період запуску з ростом швидкості або в'язкості величина моменту тертя зменшується, тому що з'являється мастильна плівка, що розділяє тіла й доріжки кочення й підшипник переходить до еластогідродинамічного режиму змащування. З подальшим зростанням швидкості або в'язкості тертя збільшується за рахунок збільшення товщини мастильної плівки до настання ефекту мастильного голодування, викликуваного високою швидкістю й нагріванням і ведучого до зменшення тертя.



зона 1 - режим змішаного тертя; зона 2 - режим еластогідродинамічного змащування (EHL); зона 3 - режим EHL + ефект мастильного голодування

Рисунок 3.8 - Залежність моменту тертя підшипника від швидкості та в'язкості

Коефіцієнт тертя ковзання можна обчислити по наступній формулі:

$$\mu_{sl} = \phi_{bl} \cdot \mu_{bl} + (1 - \phi_{bl}) \cdot \mu_{EHL}, \quad (3.15)$$

де μ_{sl} - коефіцієнт тертя ковзання;

ϕ_{bl} - коефіцієнт режиму змішаного тертя;

μ_{bl} - коефіцієнт, що залежить від змісту добавок у мастильному матеріалі, зразкова величина – 0,15;

$\mu_{ЕНЛ}$ - коефіцієнт тертя в умовах утвору мастильної плівки:
 0,05 для змащування мінеральними мастилами;
 0,04 для змащування синтетичними мастилами;
 0,1 для змащування трансмісійними рідинами.

Вплив величин зазору й перекоосу на тертя

Зміна величини зазору/перекоосу підшипників приводить до зміни моменту тертя. Вищеописана модель слухна для умов нормального зазору й відсутності перекоосу в підшипнику. Однак в умовах високих робочих температур підшипника або високих швидкостей внутрішній зазор підшипника може зменшуватися, а тертя відповідно зростати. При наявності перекоосу тертя, як правило, зростає, однак, у випадку самоустановлювальних шарикопідшипників, сферичних роликотпідшипників, тороідальних роликотпідшипників CARB і сферичних упорних роликотпідшипників ріст тертя залежно від величини перекоосу мізерно малий.

Вплив пластичного змащення на тертя

При використанні пластичного змащення й заповненні (або повторному змащуванні) підшипника рекомендованою кількістю змащення протягом перших годин або днів роботи (залежно від швидкості) тертя в підшипнику може значно перевищувати величини, що передбачалися раніше. Це пояснюється тим, що пластичному змащенню потрібен час щоб перерозподілитися у вільному просторі підшипника.

Для зразкової оцінки цього ефекту потрібно помножити розрахункову величину початкового моменту тертя ковзання на два для підшипників легких серій і на чотири для підшипників важких серій. Після цього періоду «приробляння» тертя в підшипнику падає до рівня тертя підшипників, що змащуються мастилом, а в деяких випадках навіть нижче. Перевищення рекомендованих об-

сягів заповнення пластичним змащенням приводить до підвищеного тертя в підшипнику.

Фрикційні характеристики гібридних підшипників

Завдяки більш високим величинам модуля пружності кераміки гібридні підшипники мають зменшені зони контакту, що сприяє зменшенню компонентів тертя кочення й ковзання. Крім цього, більш низька щільність кераміки в порівнянні зі сталлю зменшує відцентрові сили, що також може знижувати тертя на високих швидкостях.

Високошвидкісна конструкція вузлів з гібридними радіальними шарико-підшипниками на практиці означає, що підшипниковий вузол повинен мати осьовий преднатяг. У таких умовах поведінка радіальних шарикопідшипників нічим не відрізняється від поведінки радіальноупорних шарикопідшипників, зокрема, відносно зменшення тертя на високих частотах обертання.

Пусковий крутний момент

Пусковий крутний момент підшипника кочення визначається як момент тертя, який необхідно подолати для того, щоб підшипник, що перебуває в нерухливому стані, почав обертатися. При нормальній температурі навколишнього середовища від +20 до +30 °С, при запуску при нульовій швидкості й $\mu_{sl} = \mu_{bl}$ пусковий крутний момент можна розрахувати як суму тільки моменту тертя ковзання й моменту тертя ущільнень, якщо такі є.

Таким чином,

$$M_{start} = M_{sl} + M_{seal}, \quad (3.16)$$

де M_{start} - пусковий момент тертя;

M_{sl} - момент тертя ковзання;

M_{seal} - момент тертя ущільнень.

Однак, пусковий момент тертя для конічних роликотідшипників з більшим кутом контакту може бути майже в чотири рази вище розрахункового й майже у вісім раз більше для упорних сферичних роликотідшипників.

3.6 Мета проведення експерименту

Мета проведення експерименту - визначення моменту опору обертанню залежно від двох факторів: швидкості обертання внутрішнього кільця підшипника й навантаження. У технічній літературі звичайно не визначають взаємний вплив швидкості обертання підшипника й навантаження на величину моменту опору обертанню, тобто не враховують взаємодію цих факторів.

Ставилося завдання дослідити вплив 2-х вищевикладених факторів на приведений коефіцієнт тертя та момент опору. Одночасно визначалася відносна значимість факторів і їх взаємодій. Оцінювався ступінь мінливості моменту опору обертанню підшипника від контрольованих факторів і від випадкових помилок, викликаних похибками вимірів, коливаннями швидкості, навантаження й ін.

Для застосування на практиці результатів дослідження необхідно було підтвердити обґрунтування заміни підшипників типу 7144, установлених на роликах, на підшипники типу 7144Л1, 7144М або на 6-7144МУС23, які мають кращі технічні характеристики в порівнянні з попередніми.

3.7 Призначення, конструкція та характеристика приладу ДП11А

Прибор типу ДП11А призначен для проведення лабораторних і дослідницьких робіт з метою визначення момента тертя в підшипниках кочення.

Робота приладу заснована на виникненні моменту сил тертя, що з'являються в підшипнику кочення при обертанні вала.

Момент сил тертя, впливаючи на плоску вимірювальну пружину, створює певний прогин на її кінці. Величина прогину пропорційна величині моменту, що змінює величину світлового потоку на фотодіод, величина фотоструму, який реєструється мікроамперметром і характеризує величину моменту сил тертя.

На приладі можна визначати залежності моменту тертя в підшипниках від швидкості обертання вала, величини й напрямку навантаження, що діє на підшипник, яке створюється змінними вантажами й залежить від нахилу осі обертання, а також від розмірів випробуваних підшипників.

Основні вузла приладу (рис. 3.9 і 3.10) установлені на вертикальній платі (4), яка змонтована на литій стійці (2), що закріплена на основі приладу (1).

Органи керування й мікроамперметр розташовані на передній панелі (12).

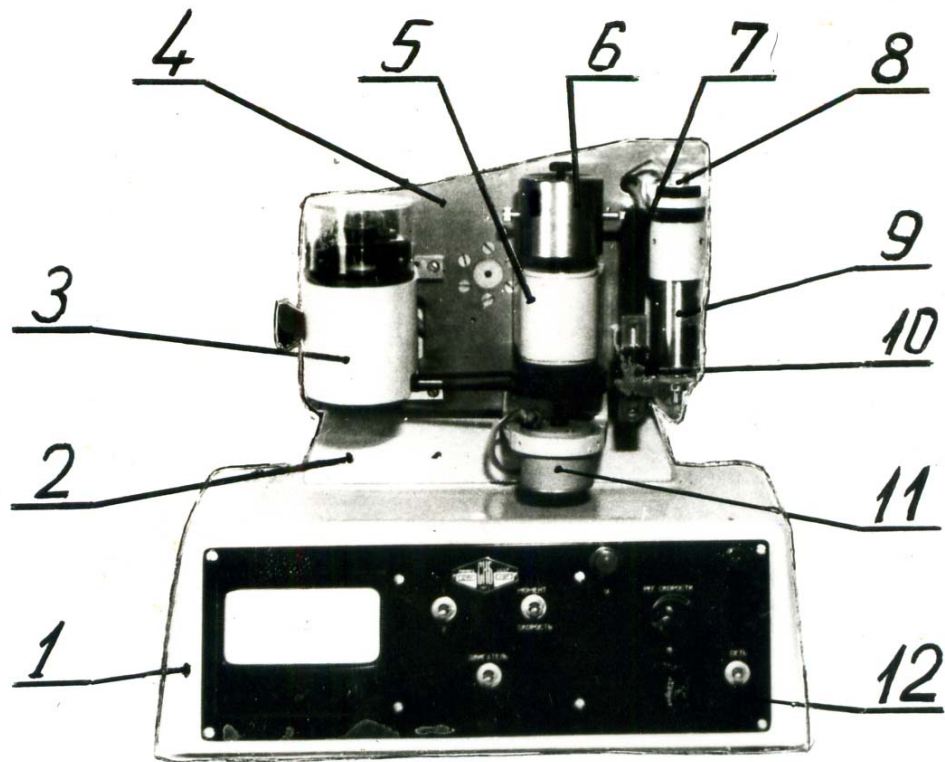
Електродвигун змонтований у спеціальному корпусі (3) постаченому амортизаторами для зменшення вібрації.

Обертання на робочий валик передається за допомогою пасової передачі. Регулювання натягу передачі здійснюється переміщенням корпуса в горизонтальній площині.

Робочий валик приладу змонтований на двох шарикопідшипниках у шпindelі (5). Верхня частина валика має різьбовий отвір, у який угвинчується вузол випробуваного підшипника (6).

У комплект приладу входять шість змінних вузлів з різними підшипниками, внутрішній діаметр яких 5; 7, 8 і 10,12,14 мм.

При роботі на вузли встановлюють і закріплюють гвинтами вантажі, що створюють навантаження 0,5; 1 і 2 кг. На вантажах є повідці, які входять у сидловину плоскої вимірювальної пружини (7).



1 – основа приладу; 2 - літа стійка; 3 – корпус для електродвигуна; 4 - вертикальна плата; 5 – шпindelь; 6 - дослідний підшипник; 7 - плоска вимірвальна пружина; 8 – фотодіод; 9 – освітлювач; 10 - хомут із затискною рукояткою; 11 - тахогенератор; 12 – панель керування

Рисунок 3.9 – Фото приладу ДП11А

Тахогенератор (11) пов'язаний з робочим валіком і служить для визначення його швидкості обертання. Струм у ланцюзі тахогенератора вимірюється мікроамперметром.

Вимір моменту роблять вимірвальним пристроєм, змонтованим на основі, яка кріпиться до плити гвинтом. Величина світлового потоку, створюваного освітлювачем (9) вимірюється фотодіодом (8) і залежить від положення шторки, укріпленої на кінці пружини, що деформується. Для регулювання жорсткості вимірвальної пружини передбачено хомут (10) із затискною рукояткою.

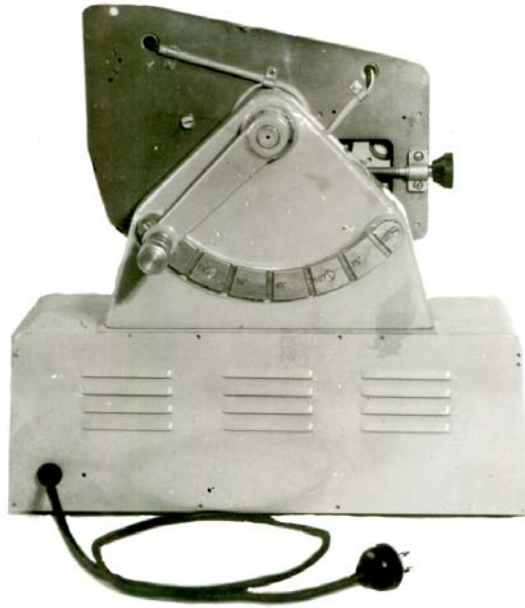


Рисунок 3.10 – Фото приладу з поворотною шкалою (вид позаду)

Конструкція приладу забезпечує поворот плити із установленими на ній механізмами на кут 90° у вертикальній площині (рис.3.10), чим досягається зміна співвідношення радіального й аксіального навантаження. Поворот плити здійснюється рукояткою із пружинним фіксатором. Із протилежної сторони стійки змонтований сектор з пазами, що дозволяють фіксувати положення плити через кожні 15° .

Електрична схема приладу наведено на рисунку 3.11.

Регулювання числа обертів двигуна здійснюється потенціометром R4. Бареттер Л1 призначений для стабілізації струму через освітлювальну лампу Л2. Потенціометри R1, R2 і R5 призначені для регулювання показань вимірювального приладу – мікроамперметра ИП у процесі регулювання приладу. На лицьовій панелі приладу розміщені мікроамперметр ИП, ручка потенціометра R4 для безступінчастого числа обертів, запобіжник Пр, сигнальна лампочка Л3 і чотири тумблери керування приладом.

Тумблер В1 – «Мережа» - призначений для включення приладу в мережу постійного струму 110 В.

Тумблер В2 – «1-2» - призначений для виміру чутливості вимірювального приладу – мікроамперметра.

Тумблер В3 – «Двигун» - призначений для включення електродвигуна М2 приладу.

Тумблер В4 – «Швидкість-Момент» - призначений для перемикання мікроамперметра з виміру струму тахогенератора М1 (вимір швидкості обертання робочого валика) на вимір фотоструму від фотодіода Д2.

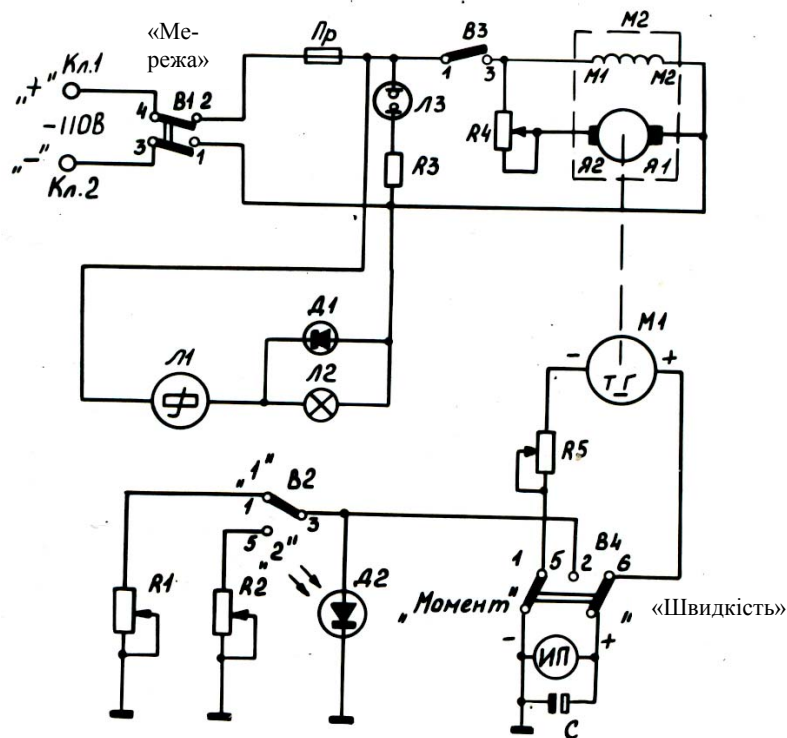


Рисунок 3.11 – Електрична схема приладу ДП11А

Фотографія приладу ДП11А представлено на рисунку 3.12, а технічна характеристика в табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика приладу ДП11А

№	Найменування	Величина
1	Габарні розміри прибору, мм	300x445x430
2	Вага прибору, кг	32
3	Внутрішній діаметр дослідних підшипників, мм	5 8 12
4	Вага змінних вантажів, кг	0,5 1,0 2,0
5	Крок змінення напрямлення навантаження від аксіального до радіального, град.	15
6	Передатне відношення пасової передачі	1,5
7	Спосіб вимірювання моменту	За допомогою фотодіода та мікроамперметра
8	Спосіб вимірювання числа обертів вихідного валу шпинделя	За допомогою тахогенератора
9	Електродвигун СЛ-261 - потужність, Вт - частота обертання, хв ⁻¹ - род току - номінальний момент на валу	20 3600-4600 постійний 0,066 Нм

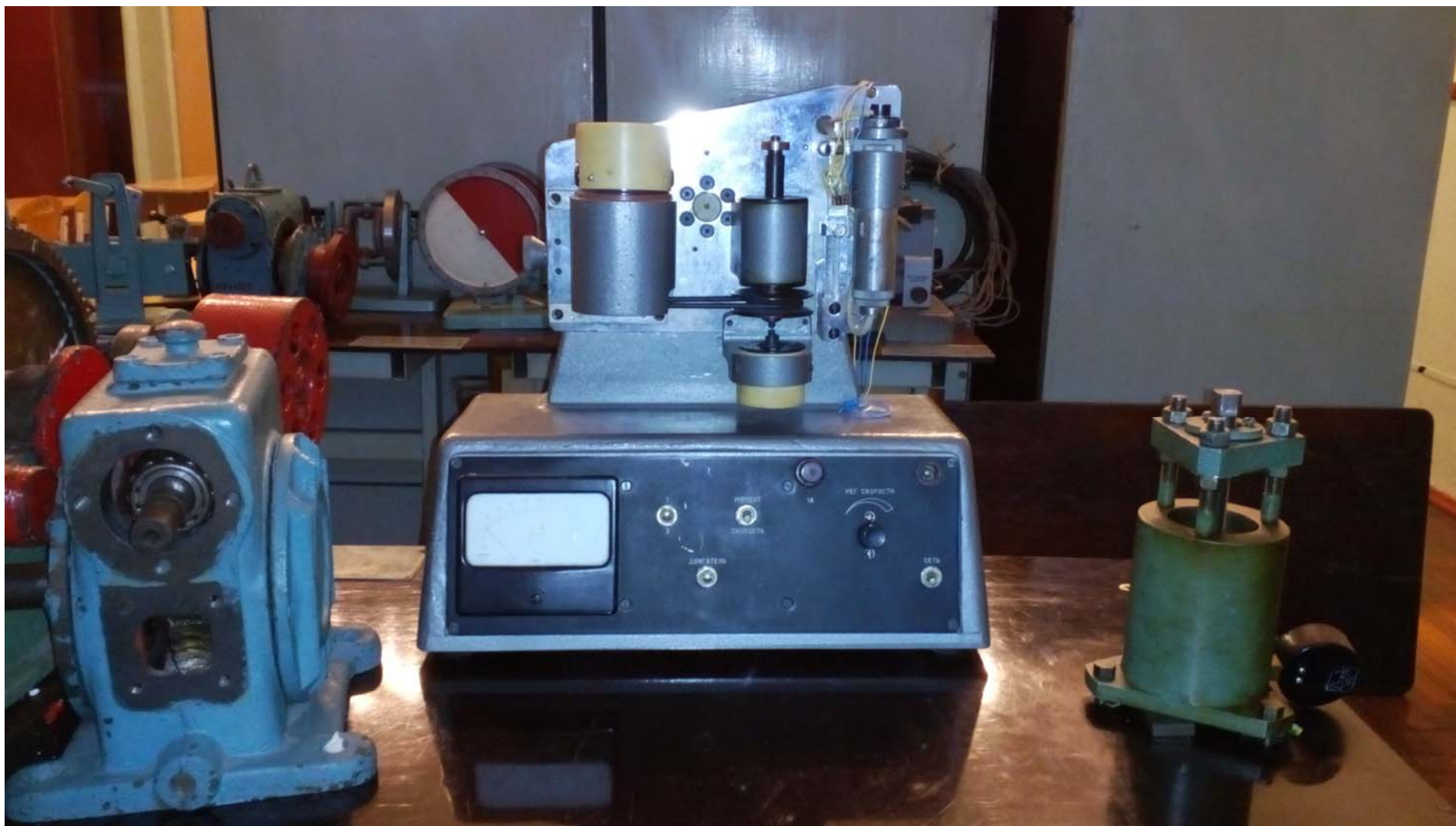


Рисунок 3.12 – Фото експериментальної установки ДП11А

3.8 Алгоритм проведення експеримента

Порядок дій при проведенні дослідження моменту тертя на приборі ДП11А.

1. Підготувати дослідні зразки підшипників до експерименту та записати їх параметри.

2. Підготувати прибор до роботи.

3. З'єднати з підсилювачем вимірювальні мости із дрововими датчиками, що служать для визначення крутних моментів, перевірити й підключити їх вимірювальні мости до обчислювально-вимірювального комплексу МС-212.

4. Налаштувати обчислювально-вимірювальний комплекс МС-212 та програму Recorder-3.0.5.17b на одночасний запис по двом каналам.

5. Вибрати відповідно до навантажень необхідні ступені посилення тензOMETричного підсилювача, збалансувати вимірювальні мости й налаштувати обчислювально-вимірювальний комплекс МС-212 та програму Recorder-3.0.5.17b на одночасний запис по двом каналам частоти обертання підшипника й крутних моментів.

6. Зробити зовнішній огляд установки, переконавшись в її справності, подати напругу на пульт керування (загорілася сигнальна лампочка – пульт включений).

7. Провести тарування прибору та прокодувати обчислювально-вимірювальний комплекс МС-212.

8. Включити прибор й записати діаграму навантажень при роботі прибору з дослідними зразками.

9. Відключити прибор.

10. Обробити осцилограми навантажень визначивши величини крутного моменту та приведенного коефіцієнта тертя.

3.9 Вимірювальна апаратура та програмні комплекси

3.9.1 Будова тензометричних датчиків

Для дослідження напружень і навантажень у деталях та вузлах металургійних машин і механізмів широко використовуються тензометричні датчики опору.

Сутність тензометрування полягає в тому що на об'єкт, в якому потрібно визначити навантаження, кріпляться сприймаючі елементи з кількох тензодатчиків, зібраних у місткову схему з подачею на неї електроживлення. Разом з деформацією піддослідного об'єкту деформуються і тензодатчики, змінюючи свій опір. В результаті чого на виході моста виникає електричний сигнал розбалансу, пропорційний величини деформації (напруження, навантаження).

Використовують дровові та фольгові тензодатчики (рисунок 3.13).

Дротяний тензодатчик (рисунок 3.13, а) складається з тонкого дроту діаметром 0,012...0,05 мм з великим омичним опором (200 Ом), зигзагоподібно розташованих поміж двох шарів паперу або плівки. Фольгові тензодатчики (рисунок 3.13, б), на відміну від дровяних, мають спіраль, виготовлену із фольги значно меншої товщини методом фототравлення. Як ізолююча підстилка використовується лакостійка плівка. Матеріалом для тензодатчиків є константан, манганін та ніхром. Тензодатчики на паперовій підстилці скріплюються з деталлю за допомогою клею БФ-2, а тензодатчики на плівочній підстилці – лаком ВЛ-4 або ВЛ-7. Для більш надійної роботи тензодатчиків вони після наклейки можуть бути захищені від впливу вологи спеціальними покриттями (фуріловою смолою Ф-10, клеєм Р-88, перхлорвініловою емаллю ХЗ-13 та ін.). Наклейку тензодатчиків здійснюють так, щоб їх осьова лінія суворо збігалась з лінією впливу головних напружень. В такому разі тензодатчик сприймає суто деформації розтягнення або стиску. При розтягненні опір тензодатчиків збільшується, при стиску – зменшується.

Зміна опору тензодатчика підкоряється лінійному закону. Як відомо, опір провідника, Ом :

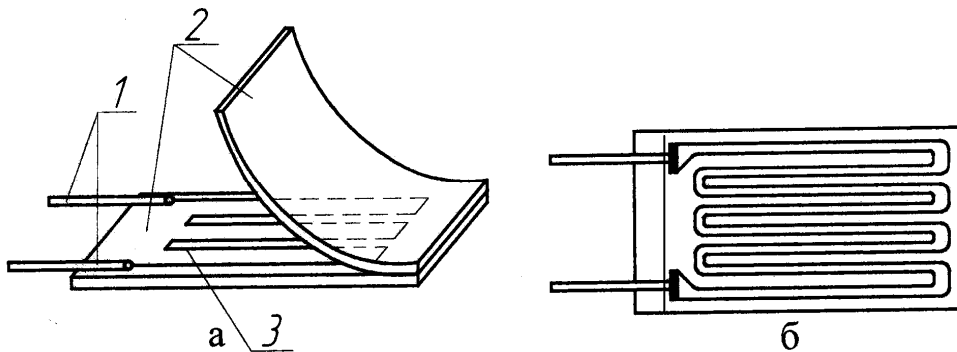
$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3.16)$$

де ρ – опір провідника, Ом·м;
 l – довжина провідника, м;
 S – площа поперечного перерізу, м².

Тому, що коефіцієнт Пуассона малий, S змінюється незначно. При постійних ρ і S опір прямо пропорційний l . Однак опір тензодатчика змінюється і при зміні температури навколишнього середовища, Ом :

$$R_t = \rho \cdot l \cdot \frac{1 + a \cdot (t_1 - t_0)}{S}, \quad (3.17)$$

де a - коефіцієнт лінійного подовження;
 $t_1 - t_0$ - перепад температур.



1 – виводи; 2 – ізоляційна підстилка; 3 – спіраль

Рисунок 3.13 – Пристрій дротяного (а) і фольгового (б) тензодатчиків

Тому один датчик здебільше не застосовують, а використовують спеціальні схеми їх з'єднання, виключаючи вплив температури навколишнього середовища.

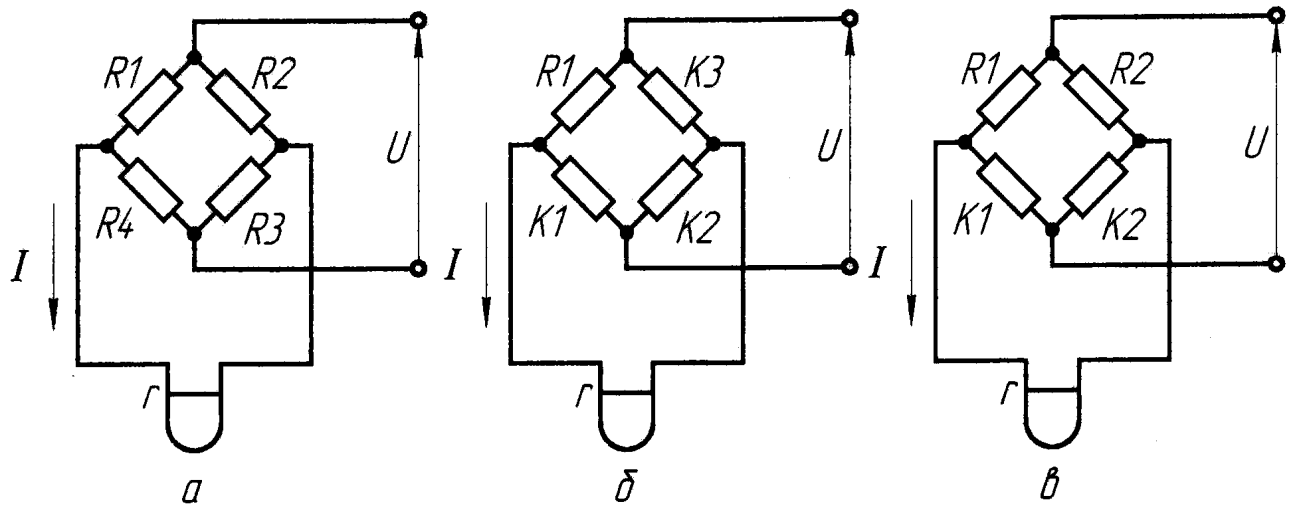
3.9.2 Спосіб з'єднання тензодатчиків

Для того, щоб виключити похибки від температурного впливу, отримати подвійну або збільшену в четверо чутливість тензодатчиків в порівнянні з одним, тензодатчики з'єднують по містковій схемі. На рисунку 3.14, а показана схема одинарного мосту Уїтстона, який дає можливість компенсувати температурний вплив на показання тензодатчиків та підвищити їх чутливість.

Тензодатчики з'єднують так, щоб отримати найбільшу різницю у виразі для знаходження сили струму. Дійсно, що найбільше значення струму буде отримано, якщо тензодатчики R_1 , R_3 будуть сприймати деформацію розтягнення, збільшуючи свій опір, а тензодатчики R_2 , R_4 – деформацію стиснення, зменшуючи свій опір. Але у цьому випадку необхідно розглянути схему із її можливості компенсувати дію температурного впливу. Якщо при зміні температури деталі, що досліджується, усі датчики моста сприймають деформацію одного знаку, то така схема буде компенсувати температурний вплив. У випадку, коли датчики мають різні деформації, необхідно використовувати місткову схему з компенсаційними датчиками (рисунок 3.14, б), які не повинні сприймати активних деформацій. Їх наклеюють на пластини, розташованих поряд з піддослідною деталлю, або перпендикулярно до лінії дії головних напружень.

Відповідно в містковій схемі (рисунок 3.14, б) робочі датчики R_1, R_2 повинні мати один вид деформації (розтяг або стиск), так як в протилежному випадку сигнал на виході мосту буде рівний нулю.

Якщо робочі датчики мають деформації зворотних знаків (у випадку виміру напруження вигину у балці при наклеюванні з нижньої та верхньої сторін), схема включення мосту буде мати вигляд, показаний на рисунку 3.14 в. Ця схема використовується при вимірах крутних моментів, при цьому компенсаційні датчики розташовують на окремій пластині.



R – робочі (активні) датчики; K – компенсаційні датчики

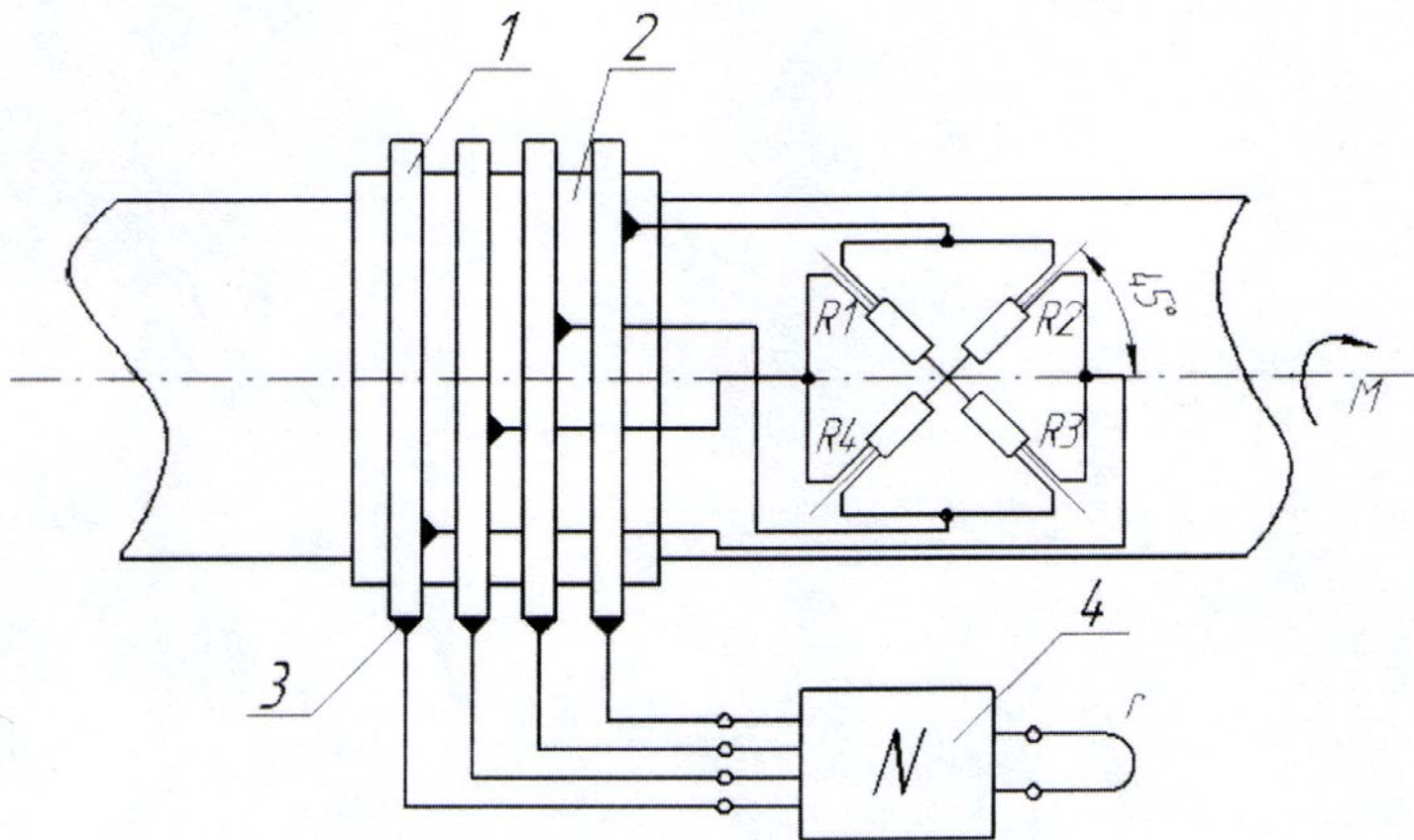
Рисунок 3.14 – Схеми з'єднання тензодатчиків:

3.9.3 Вимірювання крутних моментів

При вимірюванні дотичних напружень і крутних моментів робочі датчики наклеюють на вал під кутом 45° до осі та під кутом 90° один до одного. Вони одержують різні по знаку напруження: один датчик працює на стиск, другий – на розтягнення. Міст може бути складений з двох або чотирьох робочих датчиків. Схема розміщення тензодатчиків на валу показана на рисунку 3.15.

Для точного наклеювання тензодатчиків на вал по осям найбільших деформацій використовують трафарети з паперу або картону, котрі наклеюють на підготовлену поверхню.

При наклеїці тензодатчиків на валу, який досліджується, тарування крутних моментів виконують, як правило, непрямим способом, так як вал механізму важко навантажувати тарувальними приладами.



1 – струмознімальні кільця; 2 – ізолююча втулка; 3 – контактні щітки; 4 – реєструюча апаратура

Рисунок 3.15 – Схема розташування тензодатчиків на валу

3.9.4 Модуль для роботи з тензометричними датчиками МС-212

Призначення й область застосування

Модуль МС-212 призначений для роботи із мостовими, полумостовими тензодатчиками й одиночними тензорезисторами опірком 100...1000 Ом при проведенні статичних і динамічних вимірів.

Основні області застосування:

- вимір механічних навантажень;
- вимір зусиль (тяга, вага);
- високоточний вимір лінійних переміщень;
- вимір тисків.

Керування модулями, вимір і реєстрація сигналів здійснюється засобами програми Recorder. Для відображення, обробки, детального аналізу зареєстрованих сигналів і виводу на друк результатів служить програма WinПОС.

Особливості

1. Модуль здійснює живлення датчика.
2. Оснащений функціями балансування, сигналізації про перевантаження й перевірки входних ланцюгів кожного каналу на обрив і коротке замикання.
3. Можливість калібрування внутрішнім шунтом.

Убудовані антиаліасні фільтри. Смуга пропускання фільтра автоматично налаштовується на половину заданої частоти дискретизації.

4. Два режими роботи:

- динамічний. Чотирьохканальний режим, призначений для проведення вимірів з максимальною частотою збору даних, що не мають високих вимог по напрузі зсуву нуля.

- статичний. Чотирьохканальний режим, призначений для проведення статичних вимірів з максимальною точністю.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики модуля МС-212

Параметр	Значення
Кількість незалежних каналів	4
Діапазони виміру, мВ/В	0...0,5; ±0,5; 0...2; ±2; 0...4; ±4; 0...8; ±8; 0...16; ±16
Частота дискретизації, Гц: "динамічний" "статичний"	150...7 680 50...1 024
Напруга живлення тензодатчиків (знакозмінний струм), В	2,5; 5
Залишковий зсув нуля (після внутрішнього калібрування), мкВ	2
Температурний дрейф зсуву нуля, мкВ/°С	0,5
Часовий дрейф зсуву нуля, мкВ/1000 год	2,5
Основна наведена (до діапазону виміру) погрішність, %	±0,05
Додаткова погрішність у робочих умовах експлуатації, %	0,05
Часовий дрейф коефіцієнта передачі, ppm/1000 год	10
Інтегральна нелінійність, ppm від повної шкали	15
Смуга пропущення при нерівномірності 0,1 дБ, Гц	0...1 000
Придушення синфазної складової вхідного сигналу, дБ	100
Міжканальне проходження диференціальної складової, дБ	-100
Нерівномірність АЧХ у смузі 0...1 ... 1 000 Гц, дБ	0,1
Доповнення до напівмосту з ряду (опціонально), Ом	120; 200; 350; 700

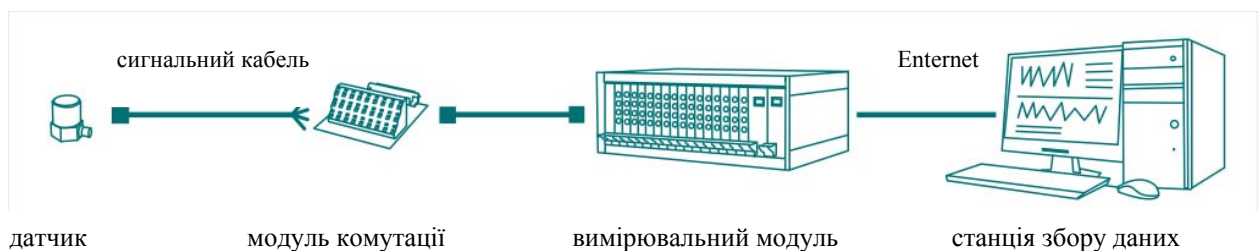


Рисунок 3.16 – Схема під'єднання датчика до станції збору даних

3.9.5 Програмне забезпечення

Recorder – інструмент для створення стендових вимірювальних систем.

Зручне, надійне, універсальне програмне забезпечення для керування роботою вимірювально-обчислювальних комплексів МС на базі різних стандартів (PXI, RXI, МС).

Recorder дозволяє:

- управляти вимірювальними каналами, робити їхнє настроювання, діагностику;
- управляти процесами одержання вимірювальних даних і збереження їх у файли;
- використовувати базу даних градуйованих характеристик, виконувати процедури градуювання, калібрування, перевірки;
- відображати на екрані вимірювані параметри у вигляді таблиць і осцилограм;
- підключати додаткові бібліотеки (програмні модулі) для розширення функціональності.

Особливості

Recorder – відкрите для користувача програмне забезпечення, що дозволяє підключати додаткові програмні модулі, розширюючи функціональні можливості вимірювальної системи.

Склад стандартної поставки пакета набору додаткових модулів дозволяє:

- здійснювати в режимі реального часу компенсацію температури холодного спаю при проведенні вимірів температури за допомогою термопар;
- робити розкладання сигналу в реальному часі в частотний спектр (використовується алгоритм швидкого перетворення Фур'є (БПФ));
- здійснювати запуск реєстрації по тимчасових параметрах.

Функції

- автоматичне визначення конфігурації вимірювального комплексу (ідентифікація встановлених вимірювальних модулів);

- діагностика роботи вимірювальних модулів;
- градуювання, калібрування вимірювальних каналів як комплексу МІС, так і всього вимірювального ланцюжка «датчик – нормалізатор сигналу – вимірювальний модуль»;
- проведення процедури перевірки вимірювальних каналів приладу;
- завдання (настроювання) режимів роботи вимірювального устаткування (діапазон виміру, частота дискретизації й т.д.);
- печатка звіту про настроювання;
- перегляд вимірюваного сигналу в реальному масштабі часу в графічному (графік, осцилограма, гістограма) і цифровому (табличному) поданнях;
- реєстрація вимірювальної інформації;
- статистична обробка результатів вимірів;
- відтворення в режимі симуляції зареєстрованої раніше інформації;
- створення й керування розрахунковими параметрами;
- аварійний контроль параметрів;
- виконання функцій високорівневого інтелектуального драйвера для SCADA систем (OPC сервер);
- створення мнемосхем;
- одержання даних з інших систем (OPC клієнт – можливість інформаційного обміну між LabVIEW[®] і вимірювально-обчислювальними комплексами МІС).

Відображення даних

- можливість створення декількох сторінок формулярів;
- підтримка мнемосхем;
- стандартне відображення даних у вигляді осцилограм, таблиць, трендів.

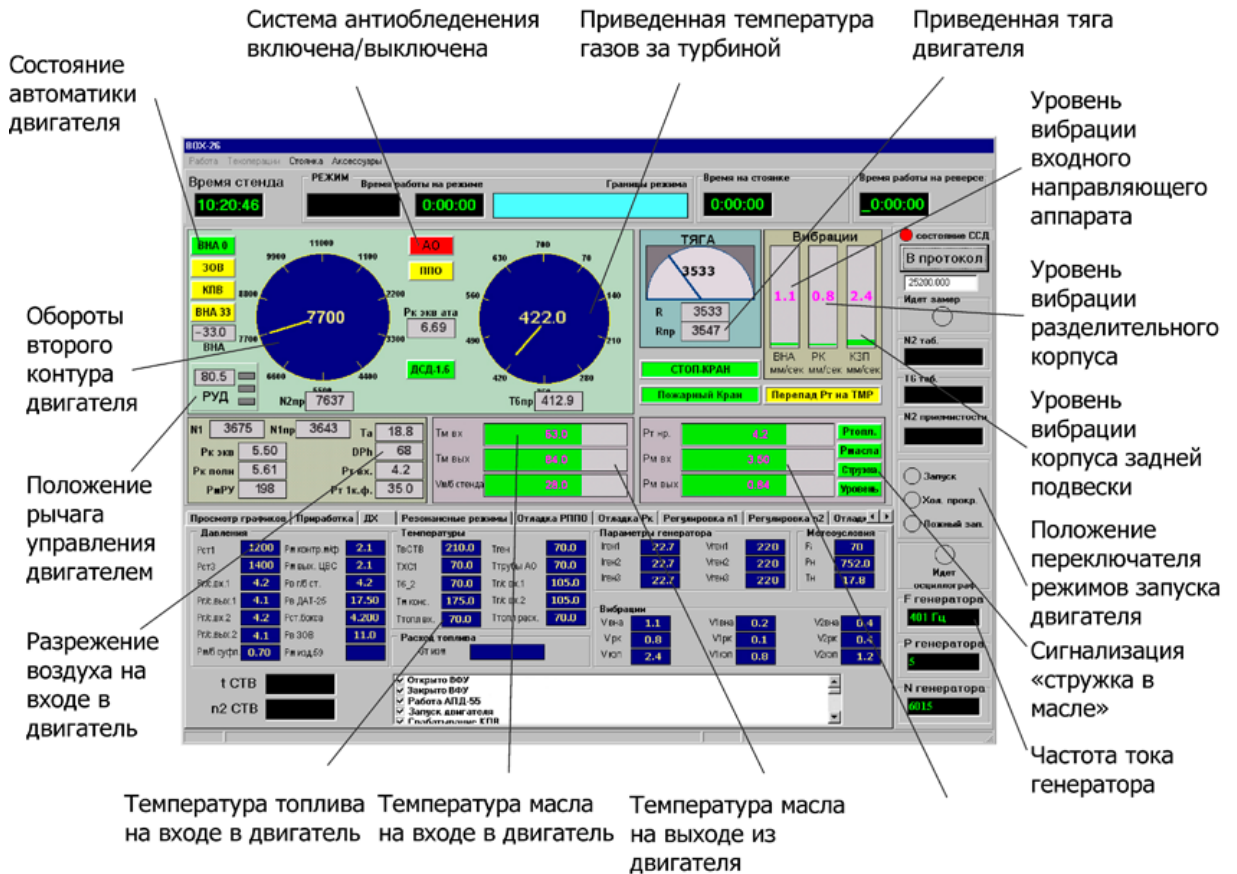


Рисунок 3.17 – Зразок відображення даних

База даних градууювальних характеристик

- керування набором градууювальних характеристик;
- організація у вигляді каталожної структури;
- імпорт/експорт у різних форматах;
- легкий перенос між приладами; графічний перегляд виду градуювальних характеристик;

- підтримка різних типів функцій характеристик.

Розрахункові параметри

- створення користувальницьких параметрів з використанням базових арифметичних операцій;
- не вимагає кваліфікації програміста;
- можливість організації складних багаторівневих умов;

- керування вихідними апаратними каналами за допомогою простих математичних виражень.

Звіт про програму виміру

- формування підготовленого для друку звіту про поточні налаштування системи;
- можливість включення всієї інформації про канали, градуювальних характеристиках і додатковій інформації від користувальницьких модулів;
- повний і скорочений формат.

3.9.6 Пакет післяекспериментальної обробки вимірювальної інформації WinПос

WinПОС – пакет післяекспериментальної обробки вимірювальної інформації.

WinПОС – професійний інструмент для дослідження динамічних і повільно змінних процесів, графічного подання даних і оформлення звітів.

WinПОС надає користувачеві інтерфейси, за допомогою яких можна створювати свої сценарії, що підключаються модулі або додатки, що працюють із даними й алгоритмами WinПОС, практично в будь-якому сучасному середовищі програмування.

WinПОС поставляється у двох редакціях: Professional і Expert.

WinПОС Expert дозволяє зробити аналіз нестационарних, динамічних процесів, у тому числі й вібраційних.

Особливості:

- більше 50 алгоритмів обробки сигналів;
- потужні засоби побудови й оформлення графіків для документування (двомірні, тривимірні, параметричні, графіки в полярних координатах);
- функції експрес-звіту;
- пакетна обробка даних;
- обробка даних WAV і UFF форматів;

- редагування сигналів;
- підтримка сценаріїв (убудований редактор сценаріїв VBScript) і модулів, що підключаються, (інтерфейси, за допомогою яких можна створювати свої модулі, що підключаються, та додатки практично в будь-якому сучасному середовищі програмування);

- можливість створення плагинів імпорту-експорту даних;
- табличний перегляд значень сигналів;
- необмежена довжина сигналів;
- інтеграція з MATLAB™;
- може використовуватися як розподілена «клієнт-сервер» система післяекспериментальної обробки даних;

- підтримка OS Windows XP/Vista/7;
- розгорнута довідкова система.

Керування даними

- Стан WinПОС можна зберігати й відновлювати. Передбачено автоматичне збереження при виході й відновлення останнього сеансу при завантаженні.

- Сигнали з різних джерел можна переглядати в загальній тимчасовій шкалі завдяки обробці інформації системи єдиного часу.

- Інтеграція з базою даних випробувань: завантаження реєстрацій, вибірок, створення записів.

Засоби оформлення графіків для підвищення наочності подання даних і підготовки звітів

- номери ліній;
- печатка значень на лініях сітки;
- легенда;
- підпису, винесення, коментарі;
- копіювання графіків через буфер обміну, наприклад у текст документів;
- емуляція рулонного друку;

- відображення режимів, міток, уставок, пауз, пропусків даних;
- різні значки для виділення значень ліній;
- автоматичний пошук екстремумів сигналів;
- автоматичне розміщення винесень.

Інтеграція з Microsoft Office

Можливість натисканням однієї кнопки

- вставити поточну сторінку графіків у позицію курсору у вікні Word;
- скопіювати сигнали активного графіка в таблицю Excel і побудувати графік в Excel;

- скопіювати значення сигналів під курсором у рядок таблиці Excel.

Інтеграція з пакетом MATLAB

- виклик алгоритмів MATLAB з налаштуваннями у вікнах WinПОС «Авто спектр» і «Вейвлети»;

- простий перенос сигналів в MATLAB.

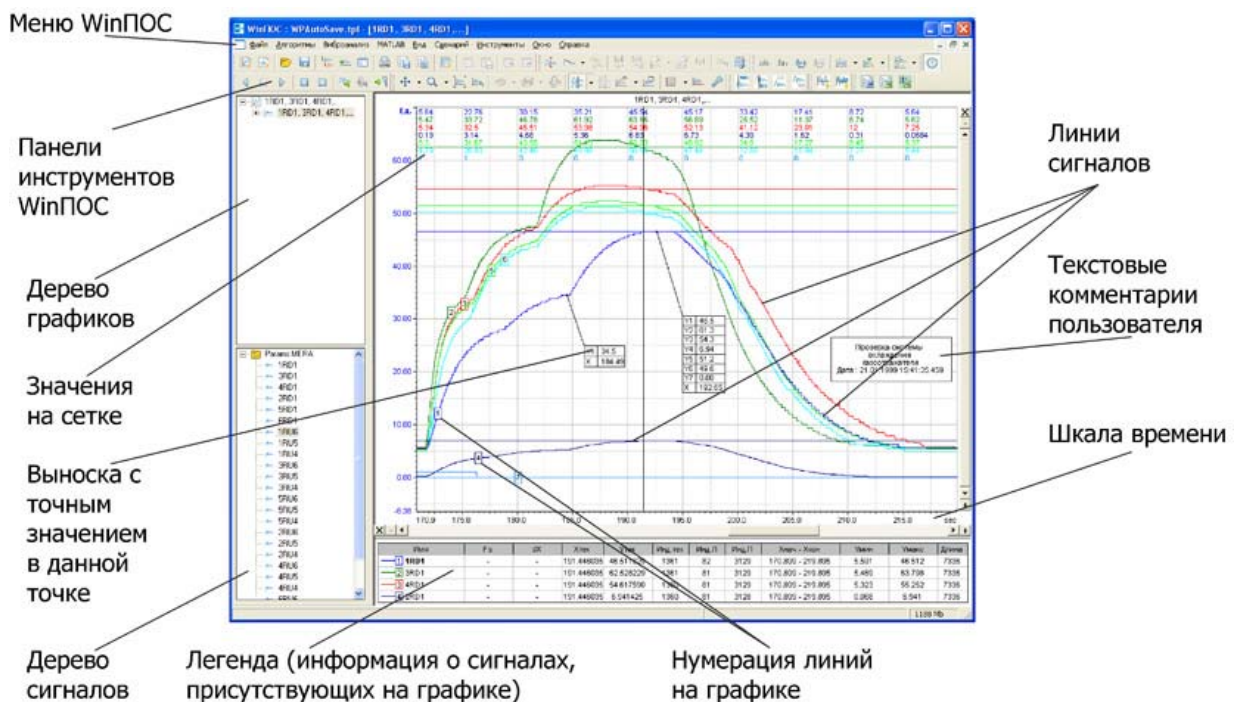


Рисунок 3.18 – Пример оформления двумерного графика

3.9.7 Обробка статистичних результатів експериментальних значень

Для проведення експерименту були підібрані три підшипника кочення шарикові однорядні з наступними характеристиками:

1) підшипник №25

$D=16$ мм;

$d=5$ мм;

$B=5$ мм;

$C=1480$ Н; $C_0=740$ Н;

$m=0,0047$ кг;

2) підшипник №27

$D=22$ мм;

$d=8$ мм;

$B=7$ мм;

$C=3250$ Н; $C_0=1350$ Н;

$m=0,0123$ кг;

3) підшипник №6200RS

$D=30$ мм;

$d=10$ мм;

$B=9$ мм;

$C=5100$ Н; $C_0=2360$ Н;

$m=0,03$ кг.

Значення приведенного коефіцієнту тертя підшипників визначимо відповідно до виразу 3.18.

$$f = \frac{2 \cdot M_{\text{під}}}{F_E \cdot d}, \quad (3.18)$$

де F_E - приведенне навантаження;

f - приведений коефіцієнт тертя;
 d – внутрішній діаметр підшипника.

Еквівалентне навантаження на підшипник визначається [10]:

$$F_E = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_B \cdot K_T, \quad (3.19)$$

де $X=1$ – коефіцієнт радіального навантаження [10];

$V=1$ – коефіцієнт обертання [10];

F_r – радіальне навантаження;

$Y=0$ - коефіцієнт осьового навантаження;

$K_B=1,1$ – коефіцієнт безпеки [10];

$K_T=1,0$ - температурний коефіцієнт [10].

Використовуючи вищенаведену методику, проведемо необхідні розрахунки.

Розрахунок приведенного коефіцієнта тертя підшипника №25.

$F_r=0,5$ кг; $n_{\text{під}}=300$ хв⁻¹;

$F_E = (1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 9,81 + 1 \cdot 0) \cdot 1,1 \cdot 1 = 5,3955$ Н ;

$$f = \frac{2 \cdot 0,000186}{5,3955 \cdot 0,005} = 0,013789.$$

$F_r=1,0$ кг; $n_{\text{під}}=300$ хв⁻¹;

$F_E = (1 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 9,81 + 1 \cdot 0) \cdot 1,1 \cdot 1 = 10,791$ Н ;

$$f = \frac{2 \cdot 0,00024}{10,791 \cdot 0,005} = 0,008896.$$

$F_r=2,0$ кг; $n_{\text{під}}=300$ хв⁻¹;

$F_E = (1 \cdot 1 \cdot 2,0 \cdot 9,81 + 1 \cdot 0) \cdot 1,1 \cdot 1 = 21,582$ Н ;

$$f = \frac{2 \cdot 0,00025}{21,582 \cdot 0,005} = 0,004633.$$

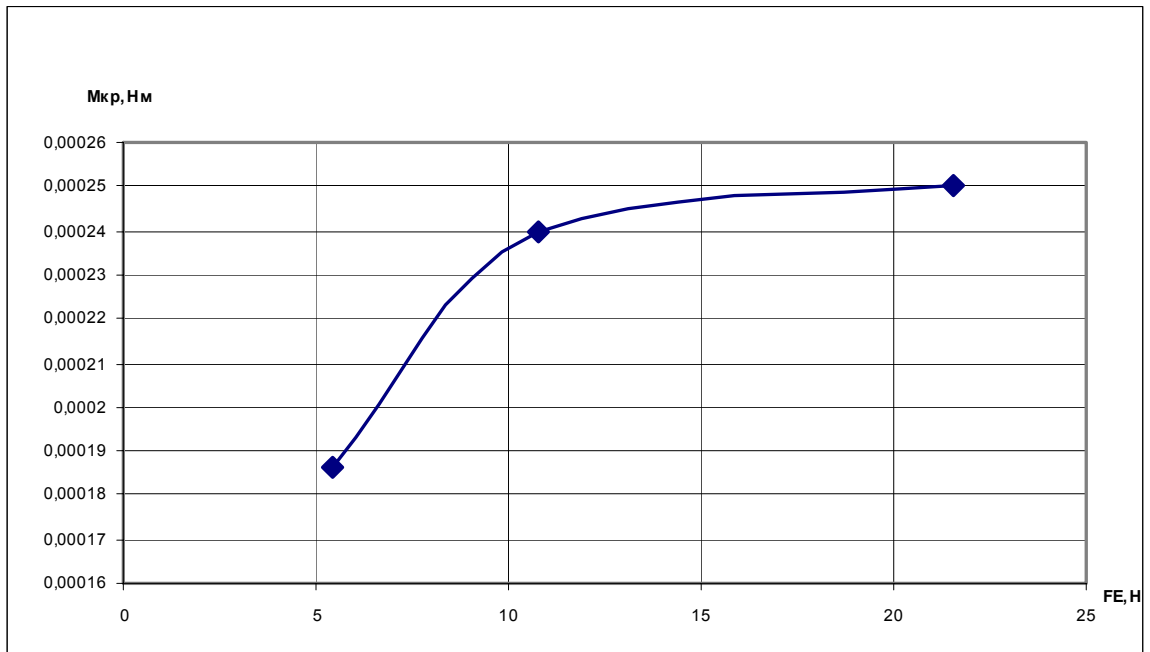


Рисунок 3.19 - Діаграма залежності моменту опору від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$

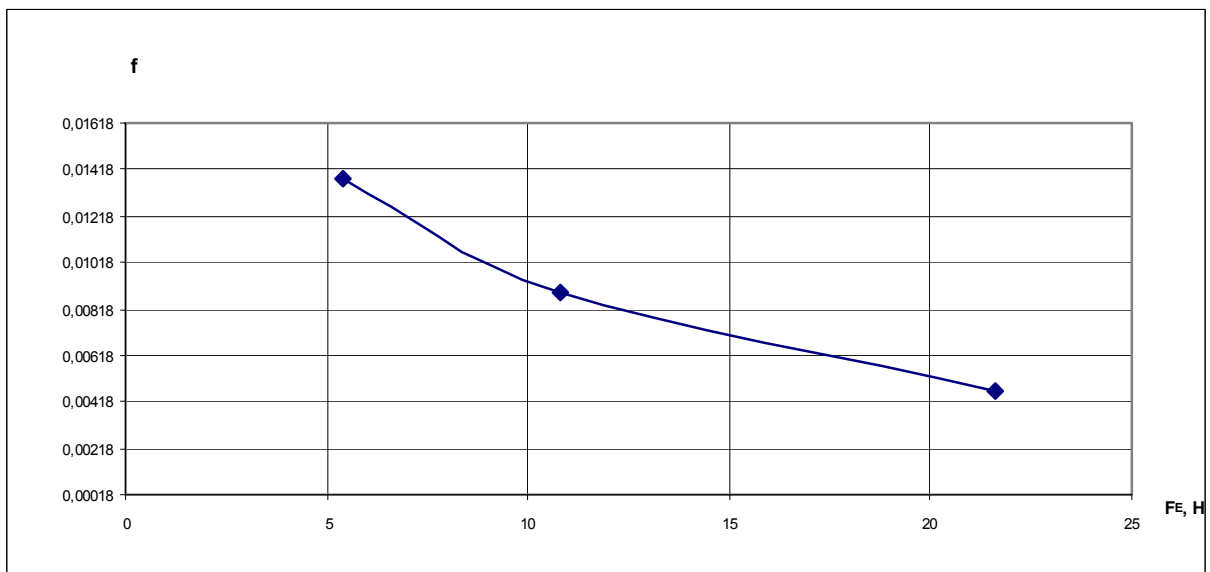


Рисунок 3.20 - Діаграма залежності приведенного коефіцієнту тертя від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$

Використовуючи вищенаведену методику, проведемо необхідні розрахунки для дослідних зразків підшипників №1, №2 та №3.

Для наочності та зручності результати розрахунків буде подано в табличному вигляді.

Таблиця 3.5 - Розрахункові значення моменту опору та приведенного коефіцієнта тертя дослідного зразка №1 (підшипник №25, $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$ та $n_{\text{під}}=1900 \text{ хв}^{-1}$)

№ підшипника	№ досліду	Частота оберт підш, хв^{-1}	Навант., F_r , кг	Еквів навантаження, F_E , Н	Момент опору, $M_{\text{під}}$, Нм (за осцилограмою)	Приведений коеф. тертя, f	Частота оберт підш, хв^{-1}	Навант., F_r , кг	Еквів наван., F_E , Н	Момент опору, $M_{\text{під}}$, Нм (за осцилограмою)	Приведений коеф. тертя, f
№25	1	300	0,5	5,3955	0,000186	0,013789	1900	0,5	5,3955	0,000255	0,018905
	2	300	1	10,791	0,00024	0,008896	1900	1	10,791	0,000425	0,015754
	3	300	2	21,582	0,00025	0,004633	1900	2	21,582	0,000515	0,009545

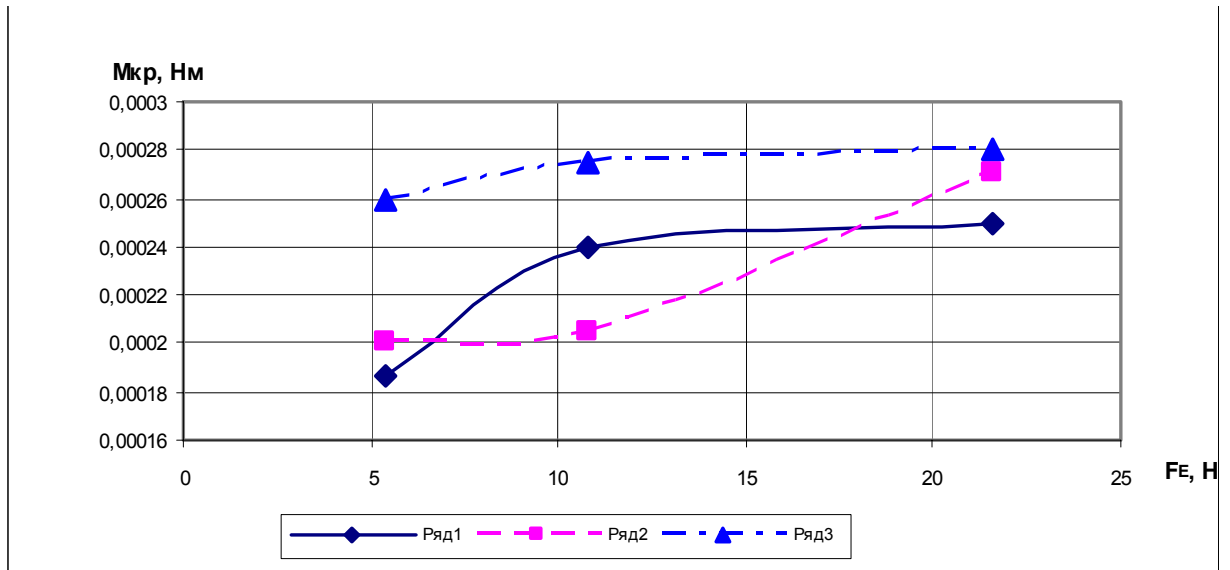
Таблиця 3.6 - Розрахункові значення моменту опору та приведенного коефіцієнта тертя дослідного зразка №2 (підшипник №27, $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$ та $n_{\text{під}}=1900 \text{ хв}^{-1}$)

№ підшипника	№ досліду	Частота оберт підш, хв^{-1}	Навант., F_r , кг	Еквів навантаження, F_E , Н	Момент опору, $M_{\text{під}}$, Нм (за осцилограмою)	Приведений коеф. тертя, f	Частота оберт підш, хв^{-1}	Навант., F_r , кг	Еквів наван., F_E , Н	Момент опору, $M_{\text{під}}$, Нм (за осцилограмою)	Приведений коеф. тертя, f
№27	1	300	0,5	5,3955	0,0002	0,009267	1900	0,5	5,3955	0,00029	0,013437
	2	300	1	10,791	0,000205	0,004749	1900	1	10,791	0,00036	0,00834
	3	300	2	21,582	0,00027	0,003128	1900	2	21,582	0,00055	0,006371

Таблиця 3.7 - Розрахункові значення моменту опору та приведенного коефіцієнта тертя дослідного зразка №3 (підшипник №6200RS $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$ та $n_{\text{під}}=1900 \text{ хв}^{-1}$)

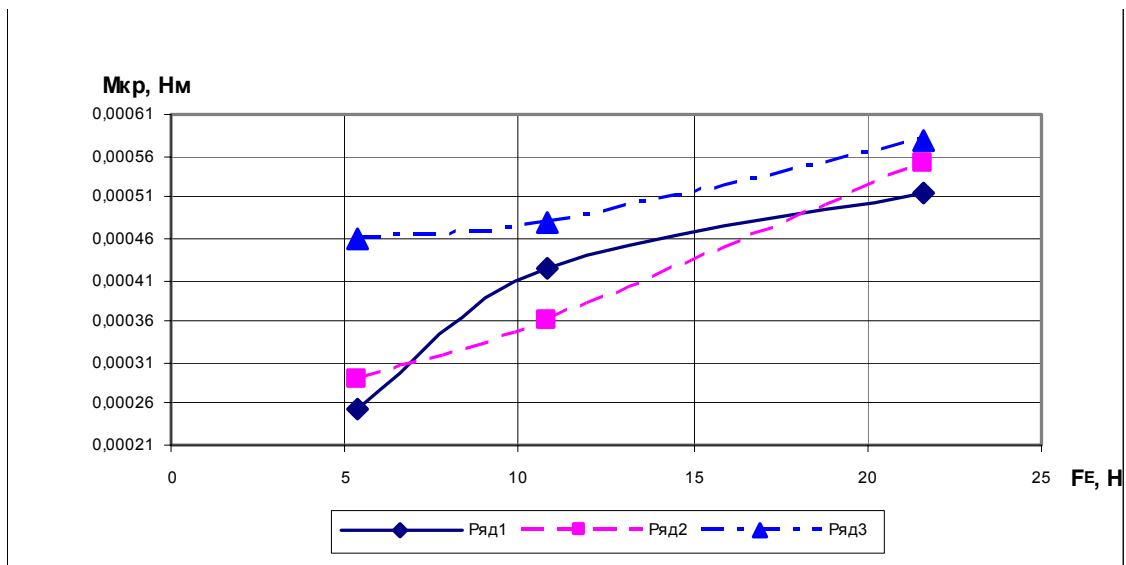
№ підшипника	№ досліду	Частота оберт підш, хв^{-1}	Навант., F_r , кг	Еквів навантаження, F_E , Н	Момент опору, $M_{\text{під}}$, Нм (за осцилограмою)	Приведений коеф. тертя, f	Частота оберт підш, хв^{-1}	Навант., F_r , кг	Еквів наван., F_E , Н	Момент опору, $M_{\text{під}}$, Нм (за осцилограмою)	Приведений коеф. тертя, f
№6200RS	1	300	0,5	5,3955	0,00026	0,009638	1900	0,5	5,3955	0,00046	0,017051
	2	300	1	10,791	0,000275	0,005097	1900	1	10,791	0,00048	0,008896
	3	300	2	21,582	0,00028	0,002595	1900	2	21,582	0,00058	0,005375

За результатами розрахунків будуємо навантажувальні діаграми.



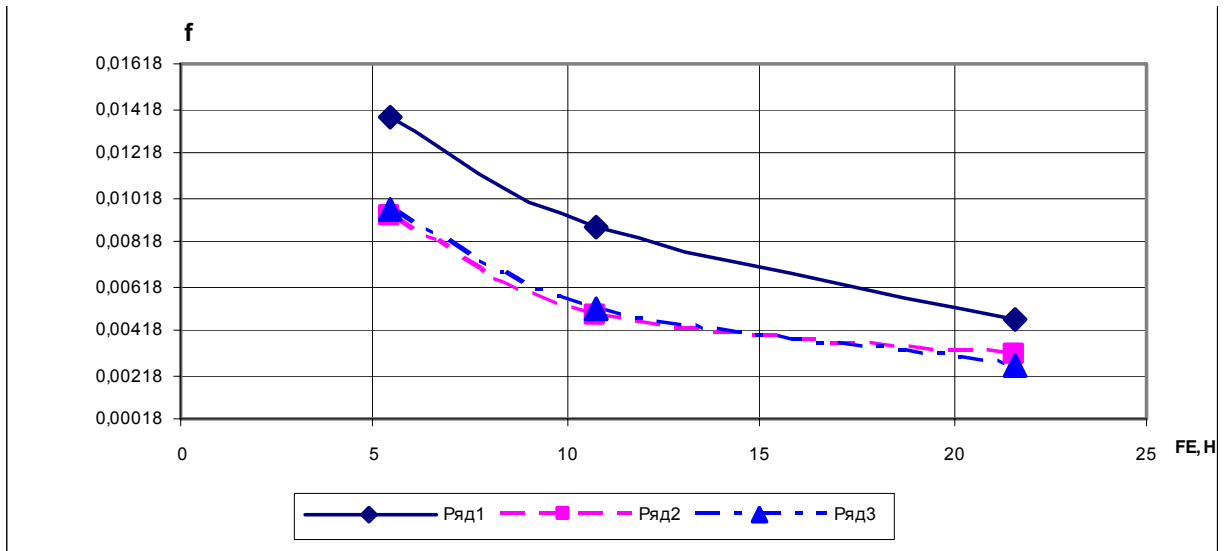
ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

Рисунок 3.21 - Діаграма залежності моменту опору від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$



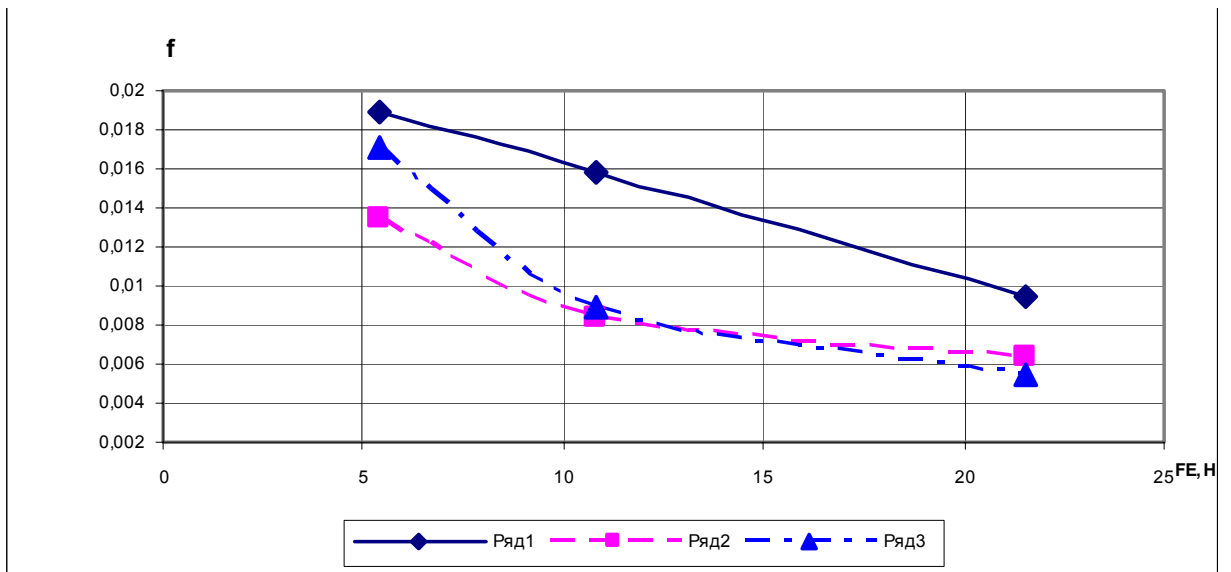
ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

Рисунок 3.22 - Діаграма залежності моменту опору від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=1900 \text{ хв}^{-1}$



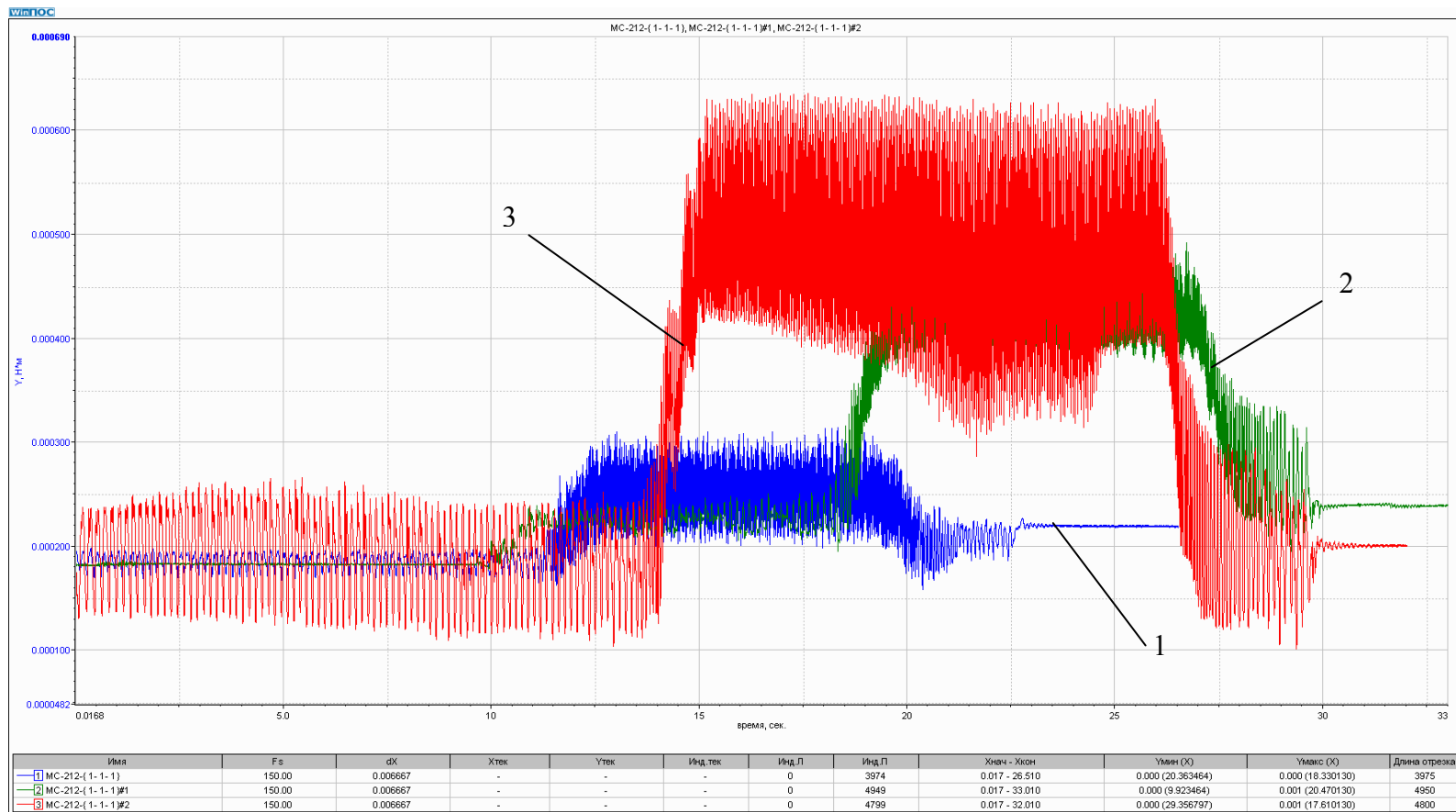
ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

Рисунок 3.23 - Діаграма залежності приведенного коефіцієнту тертя від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$



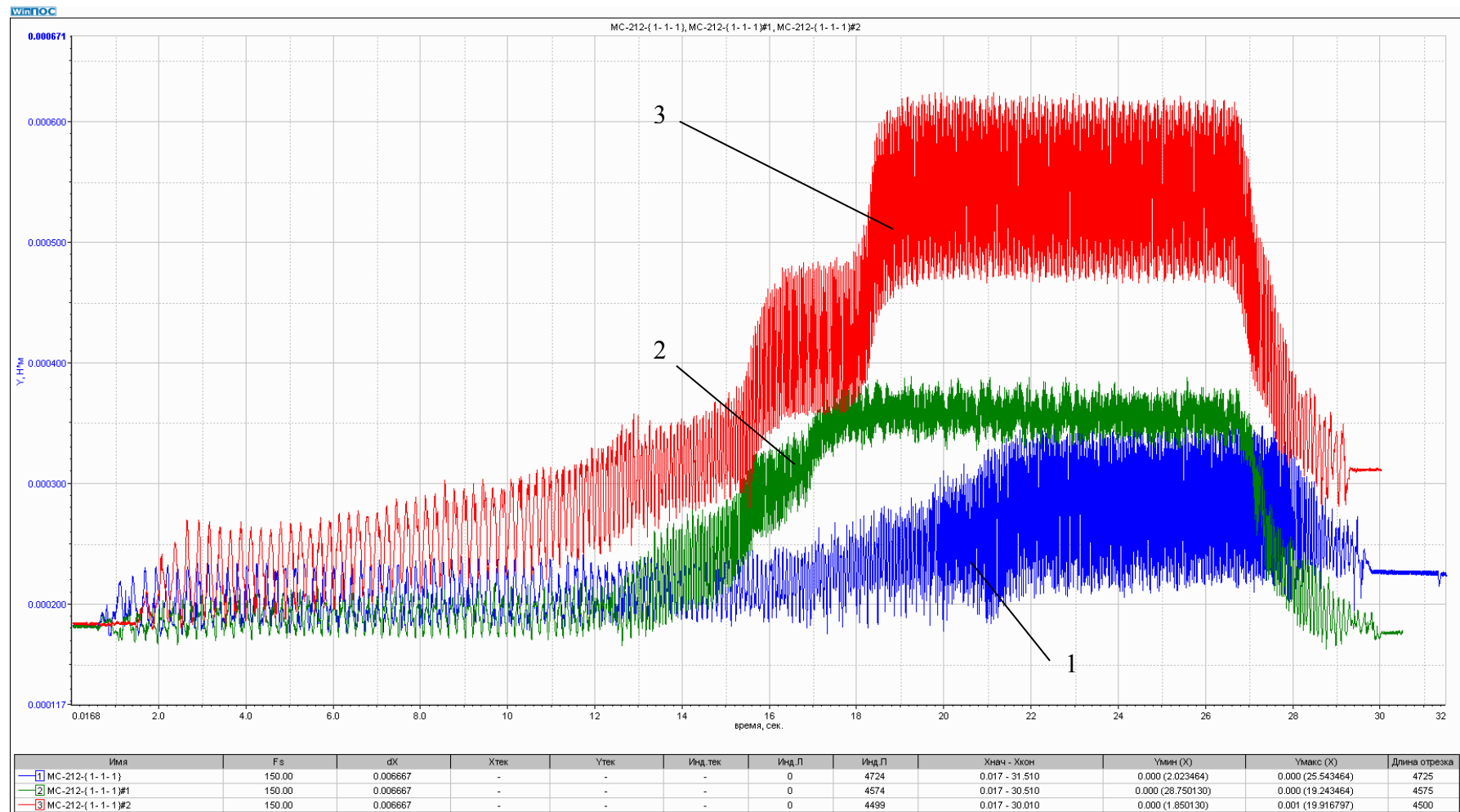
ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

Рисунок 3.24 - Діаграма залежності приведенного коефіцієнту тертя від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=1900 \text{ хв}^{-1}$



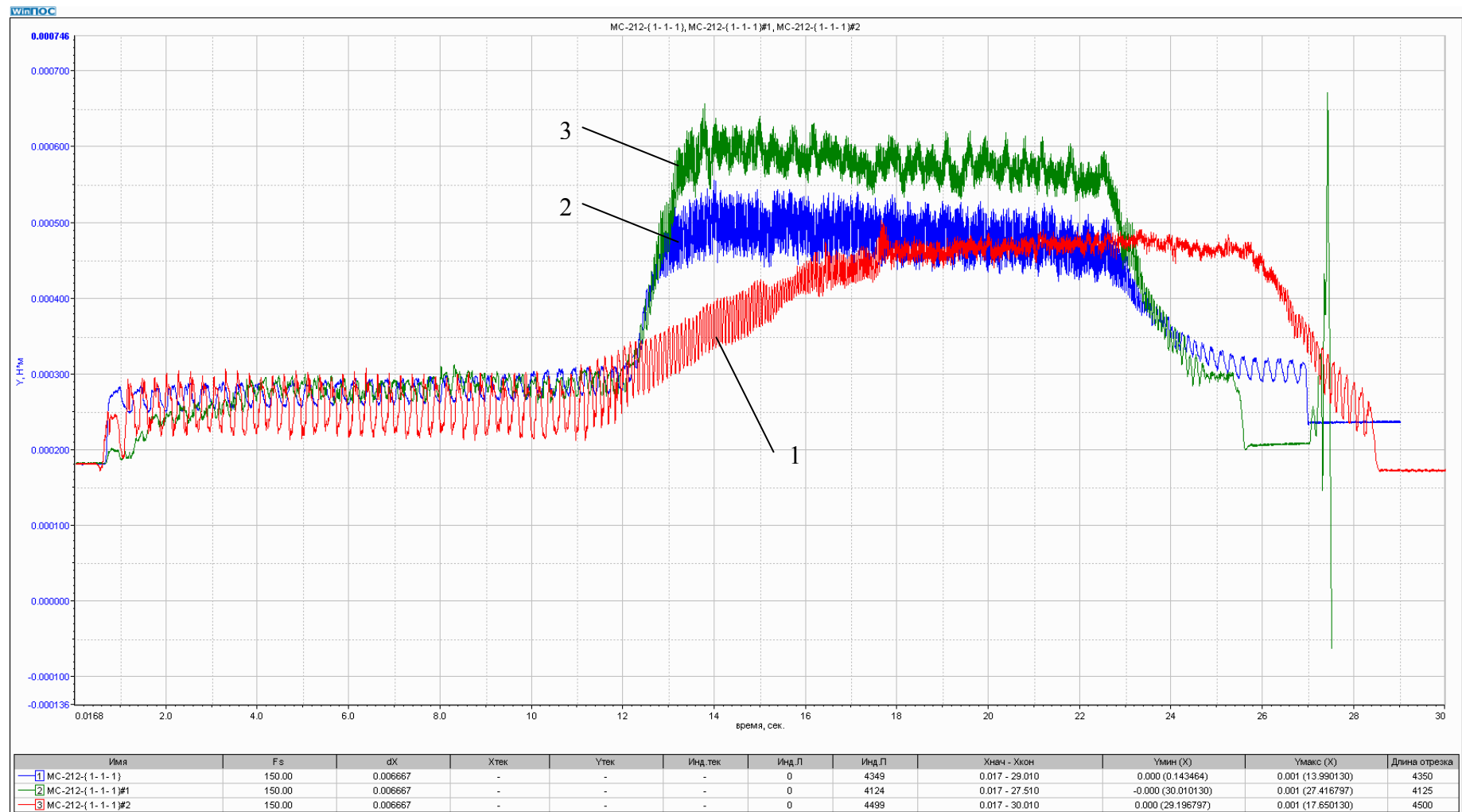
1 – $F_r=0,5$ кг; 2 – $F_r=1,0$ кг; 3 – $F_r=2,0$ кг

Рисунок 3.25 – Комплексна осцилограма моментів опору підшипника №25 в залежності від навантаження



1 – $F_r=0,5$ кг; 2 – $F_r=1,0$ кг; 3 – $F_r=2,0$ кг

Рисунок 3.26 – Комплексна осцилограма моментів опору підшипника №27 в залежності від навантаження



1 – $F_r=0,5$ кг; 2 – $F_r=1,0$ кг; 3 – $F_r=2,0$ кг

Рисунок 3.27 – Комплексна осцилограма моментів опору підшипника №6200RS в залежності від навантаження

Аналізуючи результати експериментальних досліджень підшипників можна зробити висновок, що відтворення досліду відбувся на задовільному рівні, під час проведення експерименту спостерігалось збільшення моменту опіру у підшипників зі зростанням навантаження на них; також підтверджено залежність коефіцієнта опору підшипника від частоти його обертання, зі збільшенням частоти обертання - збільшується приведений коефіцієнт тертя. За результатами експериментів та розрахунків встановлено, що при однакових значеннях навантажень на підшипники при збільшенні їх геометричних розмірів спостерігалось зменшення приведенного коефіцієнту тертя. Дослідження показали досить суттєве розходження експериментальних значень приведенного коефіцієнту тертя з табличними (довідниковими) даними, що пов'язано з виробниками різними підшипників та відповідно їх якістю.

4. Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації

Прокатне виробництво характеризується складністю й різноманітністю механічного устаткування, у зв'язку, із чим у виробничому процесі в основному мають місце небезпечні фізичні фактори; фізико-хімічні фактори є основними тільки при нагріванні металу перед прокаткою й вогневому зачищенню поверхні прокату.

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

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

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

де B - рівень механізації праці, %;

M - сума людино-годин механізованої праці;

R - сума людино-годин ручної праці.

- для слюсаря ремонтника: M=2год., R=6год.

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

Результати розрахунків рівня механізації праці для інших професій наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунок рівня механізації праці

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино-годин у добу			% механізованої праці	% ручної праці
			Вручну	За допомогою машин	Усього		
1	Електрогазозварювальник	1	$6 \cdot 1 = 6$	$2 \cdot 1 = 2$	8	25	75
2	Слюсар ремонтник	4	$6 \cdot 4 = 24$	$2 \cdot 4 = 8$	32	25	75
3	Оператор стану	1	$1 \cdot 1 = 1$	$7 \cdot 1 = 7$	8	87,5	12,5
4	Крановий машиніст	5	$0,5 \cdot 5 = 2,5$	$7,5 \cdot 5 = 37,5$	40	93,75	6,25
5	Стропальник	2	$4 \cdot 2 = 8$	$4 \cdot 2 = 8$	16	50	50

З даних розрахунку рівня механізації можна дати висновок, що в виробництві використовується ручний, механізований та змішаний труд: рівень механізації електрогазозварювальників та слюсарів відноситься до професій ручної праці (<40% механізації); рівень механізації стропальників відноситься до професій змішаної праці (~50% механізації); рівень механізації кранових машиністів та операторів стану – відноситься до професій механізованої праці (>60% механізації).

4.2 Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Основними шкідливими й небезпечними факторами в цеху є: шум, вібрація, надлишкові теплові виділення на ділянках нагрівальних колодязів, робочій клітці стана, ножиців, рольгангів; запиленість і загазованість на деяких робочих ділянках; електробезпечність; імовірність падіння вантажів із кранів.

Подача нагрітих злитків від нагрівальних колодязів до прокатного стана є в основному безпечною операцією. Однак при транспортуванні злитків з не застиглою серцевиною слитковозами можливо виплескування рідкого металу, падіння гарячої окалини, теплові опіки. Ступінь небезпеки виробничого процесу

при гарячій прокатці значно вище, ніж при холодній, що обумовлено високою температурою металу, що прокочують. Додатковими небезпечними факторами при гарячій прокатці є температурний режим нагрівання, режим прокатки, швидкість його охолодження при деформації й т.д. При різанні металу на ножицях небезпечними є локальні зони що рухаються й обертаються частин механізму. Значно підвищує фактор безпеки процесу використання в потоці машин вогневого зачищення металу. При вогневому зачищенні можливий вибух газів. Інші технологічні операції (охолодження, таврування, складування металу) особливого впливу на рівень безпеки технологічного процесу не роблять.

Таблиця 4.2 - Технологічна карта умов праці для чергового й ремонтного слюсаря

Фактори	Нормативне знач., ГДК, ГДР	Фактичне знач.	III клас шкідливих і небезпечних умов. і характер праці			Час дії фактора за зміну, %
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,02	2р			83,1
2 клас безпеки						
Марганцю оксиди	0,3	0,56	1,87р			83,1
3-4 клас безпеки						
Масла мінеральні	5,0	6,5	1,3р			83,1
Азоту діоксид	2,0	4,0	2р			83,1
II. Пил переважно фиброгенної дії, мг/м ³						
Зміст кремнію діоксид – 2,5%	4,0	26,4			6,6р	83,1
III. Шум, дБА	75	97			18	100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °С	27	40,5			13,5	83,1
- швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,5	0,27				83,1
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	794		654		79,8
Важкість праці	IIб					
Напруженість праці	напружений рівень					
Кількість факторів			4	1	3	

Висновок

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

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

Шкідливості й небезпеки відносяться до фізичної групи згідно ДСТУ . До цієї групи ставляться пил, шум, зміни температури усередині цеху.

4.3 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища

У таблиці 4.3 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходи щодо їхнього усунення на прокатній ділянці обтискного стану.

Таблиця 4.3 - Технічні засоби захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисне пристрій	Тип пристрою	Параметри Пристрою	Місце установки
1	Запиленність	Витяжна вентиляція	КСЗ	7800 м ³ /год.	У місцях утворення пилу
2	Запиленність	Респіратор СИЗОД	ШБ-1М	-	Індивідуально
3	Шум	Навушники протипрошумові, беруши		Придатний до 110дБА	Індивідуально
4	Температура Холодний період	Утеплена куртка, ватяні штани, костюм з х/б тканини, черевики	Тн	Згідно розміру працюючого	Індивідуально
	Теплий період року	костюм з х/б тканини, черевики	Ти		
5	Шкідливі хімічні речовини (Ангідрид хромовий, Масла мінеральні та ін..)	Теж що й при запиленності + костюм х/б, рукавиці	Пм	-	Індивідуально

Для захисту органів подиху робітником видаються респіратори протипилові типу ШБ - 1М "СИЗОД" ДСТУ 12.01.029-80.

Для захисту органів слуху противошумові навушники ДСТУ 12.01.029-80 з межею до 110 дБА. Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять: костюм х/б тканини, черевики, у зимовий час видається утеплена куртка й ватяні штани (НПАОП 0.00-3.01-98).

4.4 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

Мікроклімат.

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робочих й обслуговуваних зонах приміщень метеорологічних умов і чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію.

Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи її кількість у повітрі, все встаткування закрито парасолями (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою воздуховодів із пристроями для очищення повітря, що видаляється. Також у прольоті ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і видаляється через щілини вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батареї) у які як теплоносій використовують пару з температурою до 120⁰С. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодозабезпечення.

Дієвим засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 передбачена вентиляція деяких робочих місць. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 4.4.

З аналізу даних допустимих параметрів повітряного середовища, що допускають, у робочій зоні приміщень можна дати висновок, що санітарно-гігієнічні норми параметрів повітряного середовища виконуються (табл. 4.4).

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

Період року	Категорія роботи з по важкості	На постійних робочих місцях			Температура повітря в не- постійних робочих місцях, °С
		темпера- тура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Середньої важкості ІІБ	21/15	75	0,2	15
Холодний	Важка ІІІ	19/13	75	0,3	13
Теплий	Середньої важкості ІІБ	27/16	70	0,4	21
Теплий	Важка ІІІ	26/15	75	0,5	19

Освітлення виробничих приміщень.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення заважає проведенню робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною їх захворювань.

Характеристика приміщення ділянки обробки прокату (для спостереження технологічного процесу, нагляду за устаткуванням та конструкціями):

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

Для ремонту устаткування передбачене штучне освітлення.

На робочих ділянках та в приміщенні цеху освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий ко-

контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків. На ділянці є дугові ртутні лампи типу ДРЛ-400, ДРЛ-100. Серед ламп накаливання є світильники типу: «Універсаль», «Глибоковипромінювач», а також «Астра».

На ділянці використовується природне й штучне освітлення.

Прийнята система природного освітлення - бічна.

Слюсар повинен мати V розряд зорової роботи для виконання поточних ремонтів, наладки устаткування, а також монтажних-демонтажних робіт). При загальній системі освітлення освітленість становить $E = 150$ лк при точності розрізання об'єктів 1-5 мм, при більш точних роботах необхідно використовувати місцеве освітлення.

Природне висвітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО). Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату, тому КПО для нього буде обчислюватися по формулі:

$$\text{КПО}_{\text{in}}^4 = \text{КПО}_{\text{in}}^3 \cdot m \cdot e = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\%, \quad (4.2)$$

де КПО_{in}^3 - значення КПО для 4 поясу світлового клімату;

m - коефіцієнт світлового клімату, $m = 0,9$;

e - коефіцієнт сонячності клімату, $e = 0,85$.

Освітленість повинна бути забезпечена не менш 75% максимуму, що досягається застосуванням комбінованого освітлення.

Виробничий шум.

Шум - це коливання звукової хвилі в звуковому діапазоні, що характеризується змінною частотою і амплітудою, непостійні в часі, які не несуть корисної інформації людині.

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.

Існують такі способи боротьби з шумом механічного походження та вібрацією:

- зменшення шуму та вібрації безпосередньо в джерелах їх виникнення, застосовуючи обладнання, що не утворює шуму, замінюючи ударні технологічні процеси безударними, застосовуючи деталі із незвінких матеріалів (пластмаса, гума, деревина та ін), підшипники ковзання замість кочення, косозубі та шевронні зубчасті передачі замість прямозубих, проводячи своєчасне обслуговування та ремонт елементів, що створюють шум та ін.;

- зменшення шуму та вібрації на шляхах їх розповсюдження заходами звуко- та віброізоляції, а також вібро- та звукопоглинання;

- зменшення шкідливої дії шуму та вібрації, застосовуючи індивідуальні засоби захисту та запроваджуючи раціональні режими праці та відпочинку.

Виробничі випромінювання.

Температурний режим у виробничих приміщеннях або в ізольованих його частинах залежить від величини тепловиділень устаткування, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів і готової продукції, а також від сонячної радіації, що проникає в цех через відкриті й заклені прорізи. Частина тепла, що надійшла у цех, віддається назовні, а інше, надлишкове тепло, нагріває повітря робочих приміщень.

Робітники обтискного цеху постійно або періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані від нього змінюється в широких межах (зливки, сляби, обрізь, устаткування вогневого чищення прокату).

Для поліпшення умов праці в обтискному цеху і захисту працюючих від теплового впливу застосовують наступні способи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджуємих екранів, рам, щитів, завіс й ін.; теплоізоляцію й охолодження робочих місць (постів керування, кабін

машиністів кранів й ін.); природну й механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнених просторів печей, що перебувають у ремонті; спецодяг і індивідуальні захисні пристосування - щитки, екрани, окуляри, світлофільтри; раціональну організацію режиму праці й відпочинку.

Ефективним засобом зниження шкідливого впливу теплових виділень є максимальне скорочення часу знаходження нагрітого металу й шлаків у виробничих приміщеннях.

4.5 Розрахунок звукоізоляційного пульта дистанційного керування

Виробничим шумом називається - шум на робочих місцях, на ділянках або на території підприємств, що виникає під час виробничого процесу.

З метою захисту від шуму обслуговуючого персоналу на виробничих місцях з гучними технологічними процесами або з гучним устаткуванням необхідно встановлювати кабінні спостереження й дистанційного контролю.

Використовуючи звукоізоляційні кабінні, можна забезпечити практично будь-яке необхідне зниження шуму. Кабінні виготовляють із цегли, бетону й інших будівельних матеріалів. Внутрішня поверхня кабінні покрита звуковбирним матеріалом з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в діапазоні (250 - 2000 Гц).

Необхідне зниження шуму кабіною визначається по формулі:

$$R_{\text{каб.}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}} = 97 - 75 = 22 \text{ дБ}, \quad (4.3)$$

де $L_{\text{ш}} = 97 \text{ дБ}$ октавний рівень звукового тиску на робочому місці шумного приміщення на певнім місці установки кабінні (дБ), вимірюється в діючому приміщенні,

$L_{\text{доп}} = 75 \text{ дБ}$ – необхідний рівень звукового тиску на робочих місцях у кабіні [17].

Таблиця 4.5 - Звукоізоляція елементів кабіни, дБ

Конструкція.	Поверхнева щільність, $кг/м^2$	Товщина, мм		Средньгеометрична частота октавної частоти, Гц
		Елемента	Повітряний проміжок	4000
Цегельна кладка, оштукатурена з двох сторін	200	270	-	65
Подвійне вікно із силікатним склом.	-	3 й 3	100	45
Стандартні двері з ущільненням	-	40	-	28
Перекриття	320	20	-	48

Середня ізоляція шуму даної неоднорідної конструкції визначається за формулою:

$$R_{cp} = 10 \cdot \text{Lg} \left(\frac{S_{\text{общ}}}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}} \right) \quad (4.4)$$

де $S_{\text{общ}}$ – загальна площа огороження, $м^2$;

S_i, R_i – площа й звукоізоляція окремого елемента, $м^2, дБА$;

n – кількість елементів.

$$R_{cp} = 10 \cdot \text{Lg} \left(\frac{54}{2,1 \cdot 10^{-0,1 \cdot 28} + 4,14 \cdot 10^{-0,1 \cdot 45} + 35,76 \cdot 10^{-0,1 \cdot 65} + 12 \cdot 10^{-0,1 \cdot 48} +} \right) = 47 дБ .$$

Необхідна звукоізоляційна здатність конструкцій, що обгороджують, вікон і дверей звукоізоляційних кабін визначається за формулою:

$$R_{Hi} = R_{сер} + 10 \cdot \text{Lg} \frac{S_i}{S_{заг}} + 10 \cdot \text{Lg} \cdot n; \quad (4.5)$$

Для цегельної кладки, оштукатуреної із двох сторін:

$$R_{н.к} = 47 + 10 \cdot \text{Lg} \frac{35,76}{54} + 0 = 45,2 \text{ дБ}.$$

Для подвійного вікна із силікатним склом:

$$R_{н.о} = 47 + 10 \cdot \text{Lg} \frac{4,14}{54} + 0 = 35,8 \text{ дБ}.$$

Для стандартних дверей з ущільненням прокладками з пористої гуми:

$$R_{н.д} = 47 + 10 \cdot \text{Lg} \frac{2,1}{54} + 0 = 33 \text{ дБ}.$$

Для перекриття:

$$R_{н.д} = 47 + 10 \cdot \text{Lg} \frac{12}{54} + 0 = 40,5 \text{ дБ}.$$

Проводимо перевірочний розрахунок очікуваного зниження шуму кабіною:

$$R_{каб} = R_{ср} + 10 \text{Lg} B_k - 10 \text{Lg} \sum_{k=1}^n S_i = 47 + 10 \cdot \text{Lg} 1,98 - 10 \cdot \text{Lg} (35,76 + 4,14 + 2,1 + 12) = 32,6 \text{ дБ}.$$

де S_i - площа кожного елемента огороження, м^2 ;

n - загальне число елементів огороження.

Тому що ($R_{ср} = 47 \text{ дБ} > R_{каб} = 32,6$) дБА, то в цьому випадку розрахунок закінчений.

Виходячи з отриманих результатів, елементи кабіни спостереження й дистанційного керування, задовольняють параметрам по звукоізоляції.

4.6 Пожежна безпека

Ділянка має категорію по пожежонебезпеці Г (не горючі речовини розпечені або розплавлені, і горючі речовини спалюються або утилізуються як паливо). Споруда ділянки чистової обробки відноситься до II ступеня вогнестійкості (будівлі з несучими й огорожуючими конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону з застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів).

Вогнетривкість конструкцій:

несучі й сходові клітки - 2 год.; самонесучі - 1 год.; зовнішні несучі - 0,25 год.; внутрішні несучі - 0,25 год.; колони - 2 год.; сходові майданчики, балки, марші сходових кліток - 1 год.; плити, настили й ін. несучі конструкційні перекриття - 0,75 год.

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

4.7 Електробезпека

Електроустаткування ділянки відноситься до установок до 1000В. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захисних пристроїв. Всі струмоведучі частини ізолювані. Як захисна ізоляція застосовують теплостійкі лаки, плівки, емалеві й олійні фарби. На всіх обертових частинах устаткування повинні бути встановлені захисні щити, кожухи. Робота вантажопідійомних машин і пристроїв для транспортування вантажів у момент пусків повинне супроводжуватися звуковими сигналами.

Електромостові крани й вантажозахватні пристрої до пуску в роботу піддають технічному огляду для перевірки їхньої відповідності правилам устрою, безпечній експлуатації й представленій документації. Огляд проводиться адміністрацією підприємства за участю представника Держ-промнагляд. Надалі технічний огляд кранів проводиться не рідше одного разу в 12 місяців. Повний ТО проводиться 1 раз в 3 роки.

Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

До самостійної роботи з обслуговування посудин, що працюють під тиском допускаються особи, не моложе 18 років, що пройшли медичний огляд, вступний інструктаж.

Інтервал перевірки манометрів установлюється відповідно до вимог метрологічної служби. Періодичність технічного огляду ресивера, не підлягаючого реєстрації в органах Держгірпромнагляду, відповідно до затверджених правил наступна (НПАОП 0.00-1.07-94.):

- зовнішній огляд через 5 років;
- пневматичне випробування пробним тиском через 10 років.

4.8 Техногенна безпека

4.8.1 Ймовірність аварії в цеху і заходи по її ліквідації

Будь-яку машину чи механізм можна розглядати як систему, що складається з окремих елементів - деталей. Аварія – результат відмови одного чи декількох елементів.

Ймовірність аварії дорівнює:

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i), \quad (4.3)$$

де Q_i - імовірність відмови кожного елемента.

$$Q_i = \lambda_i \cdot \tau, \quad (4.4)$$

де λ_i - інтенсивність відмови i -го елемента;

τ - загальний час роботи даного елемента за аналізований період часу.

Розрухуємо імовірність аварії привода механізму повороту поворотного столу за один рік. Відомо що $\lambda_i = 7 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$, $\tau=1 \text{ рік}$, отже :

$$Q_i = \lambda_i \cdot \tau = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 7 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1},$$

$$Q = 1 - (1 - 7 \cdot 10^{-4}) = 0,0007 = 0,07\% .$$

Імовірність виникнення аварії не висока, складає 0,07%, застосування захисних засобів для попередження аварії не потрібне.

4.8.2 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

Порядок надання допомоги при ураженні електричним струмом.

- 1) звільнити потерпілого, вживши заходів особистої безпеки; необхідно швидко відключити ту частину установки, якої він торкається, при цьому варто врахувати:
 - а) що при знаходженні потерпілого на висоті варто забезпечити безпеку падіння потерпілого;
 - б) при відключенні в нічний час може відключитися електричне освітлення, тому треба мати наготові інші джерела освітлення;
- 2) встановити ступінь ушкодження й залежно від цього приступити до надання допомоги;
- 3) при місцевих електричних травмах надана допомога залежить від виду травми: при опіках рани обробляються спиртом, розчином марганцівки, у всіх випадках накладається стерильна пов'язка, при переломах – шини, при непритомному стані потерпілого приводять у почуття. У всіх випадках, навіть при відсутності видимих ушкоджень організму, потерпілому необхідно забезпечити спокій, викликати лікаря або відправити потерпілого в лікувальну установу;
- 4) при електротравмах загального характеру необхідно терміново вивести потерпілого зі стану клінічної смерті, якщо припинився подих, а серце працює, варто зробити штучне дихання; якщо ж припинився подих і кровообіг, вжити заходи пооживленню, що включають у себе штучне дихання й масаж серця.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз існуючих технічних даних та технічну літературу базу однозначно встановлено, що поворотний стіл (платформа) призначений для розвороту подаваних до стана злитків на 180° у горизонтальній площині.

Також встановлено, що до характерних видів відмов роботи механізмів поворотного столу відносяться:

- а) зношування болтів на швидкохідному промвалі;
- б) погіршення змазування редуктора через влучення води;
- в) руйнування осьової фіксації підшипників електродвигуна;
- г) зношування циліндричного зачеплення редуктора;
- д) руйнування кріплення підшипника швидкохідного вала циліндричного редуктора внаслідок осьових навантажень із боку проміжного вала;
- е) вихід з ладу тихохідного вала циліндричного редуктора внаслідок руйнування зубчастої втулки;
- ж) вихід з ладу вузла малої паразитної шестірні через руйнування одного з підшипників;
- з) вихід з ладу підшипника ролика (частіше приводного ролика).

2. З метою дослідження параметрів роботи поворотного столу було виконано побудову математичної моделі поворотного столу, надано проаналізовано сучасну методику розрахунків моменту тертя підшипників кочення та проведено експеримент щодо визначення моменту тертя підшипників кочення.

3. Аналізуючи результати експериментальних досліджень підшипників можна зробити висновок, що відтворення досліду відбулося на задовільному рівні, під час проведення експерименту спостерігалось збільшення моменту опору у підшипників зі зростанням навантаження на них; також підтверджено залежність коефіцієнта опору підшипника від частоти його обертання, зі збільшенням частоти обертання - збільшується приведений

коефіцієнт тертя. За результатами експериментів та розрахунків встановлено, що при однакових значеннях навантажень на підшипники при збільшенні їх геометричних розмірів спостерігалось зменшення приведенного коефіцієнту тертя. Дослідження показали досить суттєве розходження експериментальних значень приведенного коефіцієнту тертя з табличними (довідниковими) даними, що пов'язано з виробниками різними підшипників та відповідно їх якістю.

4. Також у роботі надано загальні відомості щодо охорони праці та техногенної безпеки, проведено аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища, наведено заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища, представлено інженерний розрахунок звукоізоляції поста керування.

5. Впровадження запропонованих заходів щодо удосконалення поворотного столу є доцільними та обґрунтованими.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доброносів Ю. К. Конспект лекцій з дисципліни «Механічне обладнання металургійних заводів» для студентів напрямку 133 – «Галузеве машинобудування». Краматорськ: ДДМА, 2019. 82 с.
2. Рижиков В.С., Яковенко М.М. та інші. Проектний аналіз : Навч. посібник. –К.: Центр учбової літератури, 2007. – 152 с.
3. Королев А.А. Механічне устаткування прокатних цехів чорної та кольорової металургії. М.: Металургія, 1976. 544 с.
4. Решетов Д.Н. Деталі машин: Підручник для студентів машинобудівних і механічних спеціальностей вузів. - 4-е вид., перероб. і доп. - М.: Машинобудування, 1989. - 496с.
5. Машини та агрегати металургійних заводів. Т. 3. Машини та агрегати для виробництва та обробки прокату: Підручник для вузів/ А. І. Целіков та ін. М.: Металургія, 1988. - 432 с.
6. Ніколаєв В.О, Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Підручник/ Запоріжжя: ЗДІА,2010 – 320с.
7. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин: Підручник. – Донецьк: ТОВ «Юго-Восток, Лтд», 2008. – 379 с.
8. Іванченко Ф.К. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів НП/ Ф.К, Іванченко, В.М. Гребеник, В.І. Ширяев – Київ: Вища школа, 1995 - 456с.
9. Видрін Н.В., Федосєєнко А.С. Автоматизація прокатного виробництва. - М.: Металургія, 1984. - 472с.
10. Обладнання прокатних цехів Навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форми навчання / Укл.М.Г. Прищип, - Запоріжжя: ЗДІА, 2016. – 116с.
11. Конспект лекцій з дисципліни «Вступ до спеціальності. Розділ «Обробка металів тиском»» для студентів, які навчаються за напрямком підготовки 050401 "Металургія"освітньо-кваліфікаційних рівнів "бакалавр" всіх форм навчання/Укладачі С.В.Єршов. - Дніпродзержинськ, ДДТУ. - 2015.

- 92 с.

12. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Обґрунтування економічної доцільності технічних рішень. Навчальний посібник. – Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2011. – 363 с.

13. Абсадигов Б.Н. Розрахунки потужності приводів роликів нового відвідного рольганга/Б.Н. Абсадигов//Вісник КазАТК. - 2008. - №5(54). - с. 64-71.

14. Організація виробництва, ремонту обладнання та управління операціями: Методичний посібник./ Н.К. Желябіна, А.Г. Беліченко, О.В. Бойко, І.В. Дідовець. – Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2006. – 353 с.

15. Афанас'єв В.Д. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. - М.: Металургія, 1979. - 280с.

16. Підшипники кочення: Довідник-каталог/ Під ред. В.Н. Нарішкіна та Р.В. Коросташевського. - М.: Машинобудування, 1984. - 280с., іл.

17. Козярук А. Е. Методи й засоби підвищення енергоефективності машин і технологій з асинхронними електроприводами/ А.Е.Козярук, Б.Ю.Васильєв.// Вісник Юургу. Серія Енергетика – 2015. - №1. - с. 47 – 53.

18. Байгунчєков Ж.Ж., Машєков С.А., Абсадигов Б.Н. і ін. Розв'язок про видачу попереднього патенту на винахід «Відвідний рольганг широкоштабового стану» за заявкою № 2005/0529.1 від 28.06.2006 г.

19. Т.Ю.Кєпич та ін.Ісажєв В.Г. Охорона праці в гал. Інженерні рішення практичних задач. Х.: 2005.

20. Ярошевська В.М., Чабан В.І. Охорона праці в галузі. К.: ВД «Професіонал» 2004.

21. Ярошевська В.М. та ін. Словник термінів і понять з безпеки життєдіяльності. - К.: НМЦ, 2004. - 255 с.

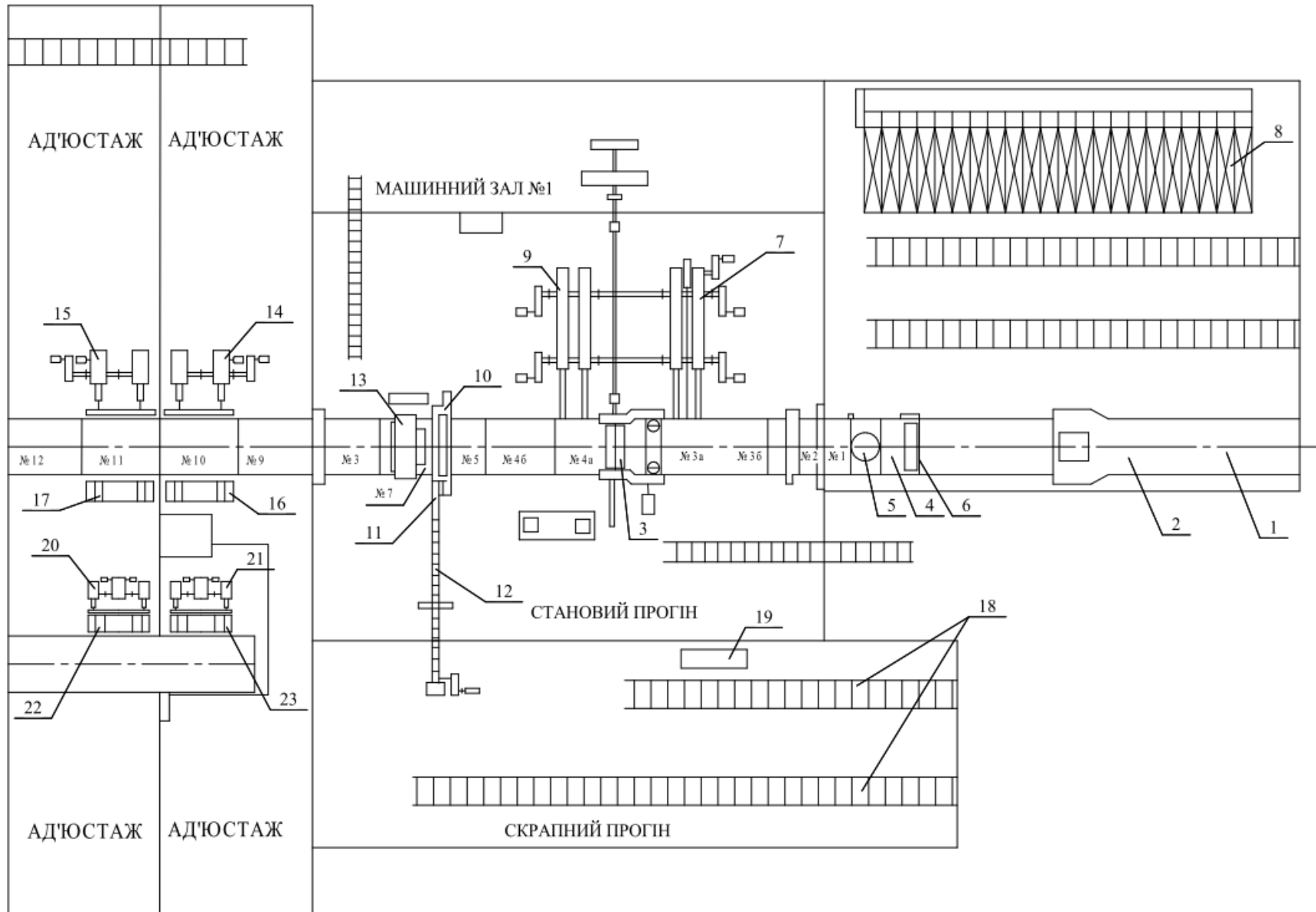
22. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці - Львів: Афіша, 2000 - 350 с.

23. Гєврик Є.О. Охорона праці: Навч. посібник для студентів ВНЗ. – К.: Ельга. Ніка-центр, 2003. – 280 с.

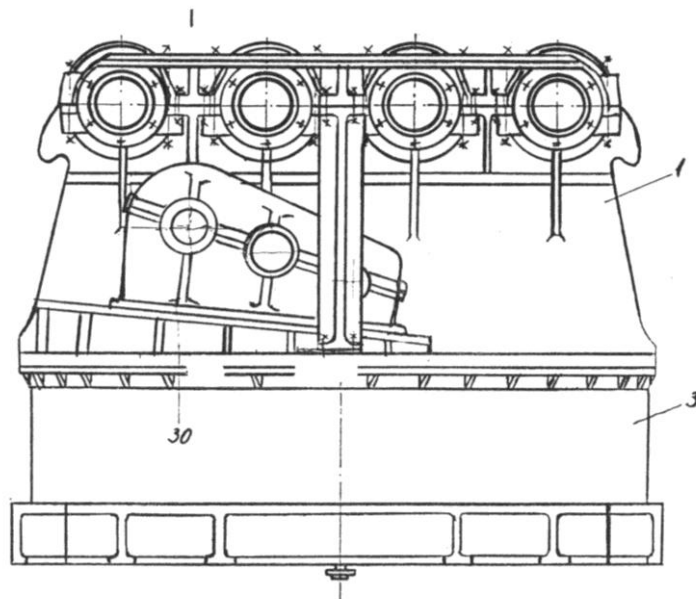
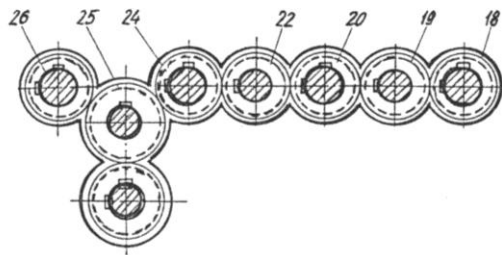
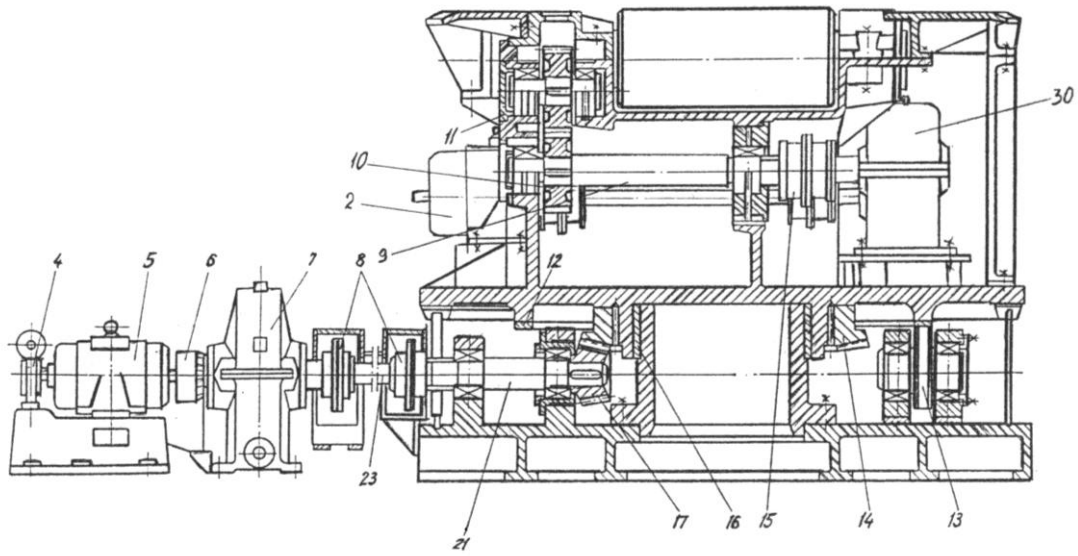
24. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Безпека життєдіяльності (теоретичні основи): Навчальний посібник. - Кам'янець-Подільський: Буйницький О.А., 2008.- 108 с.
25. Васильчук М.В., Медвідь М.В., Сачков Л.С. Збірник нормативних документів з безпеки життєдіяльності. - К.: Фенікс, 2000. - 896 с.
26. Зиньковський М. М. Техніка безпеки й виробнича санітарія. Довідник.- М.: Металургія, 1990.- 196 с.
27. Охорона праці. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту./ Укл.: Румянцев В.Р. та інші. -Запоріжжя, 2011.
28. Гречаний О. М., Шевченко І.О., Лінник Ю.М. Аналіз існуючих типів конвеєрних машин обтискних прокатних станів та їх подальший розвиток// Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». - Запоріжжя: ЗНУ, 2023. - с.5-7.

ДОДАТКИ

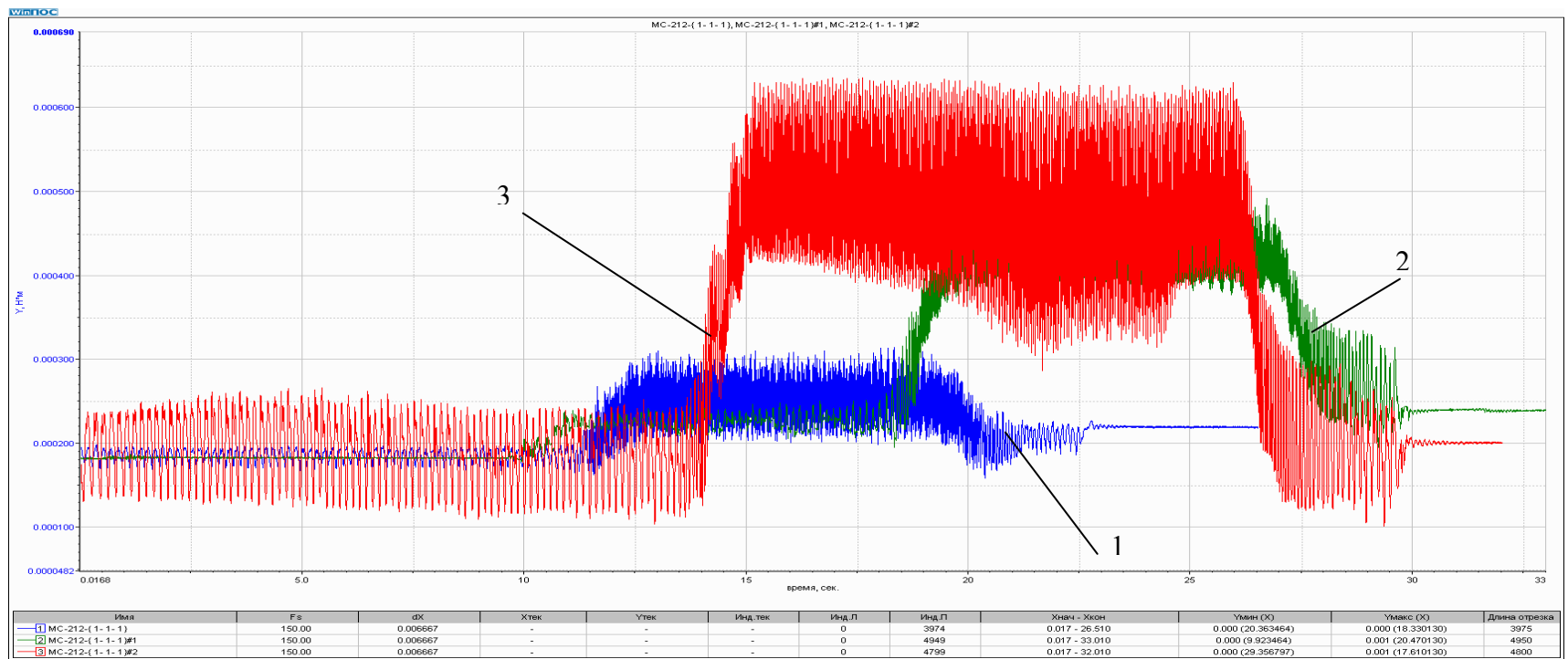
Схема розміщення устаткування ЦГП від. слябів



Підйомно-поворотний стіл стану 1150

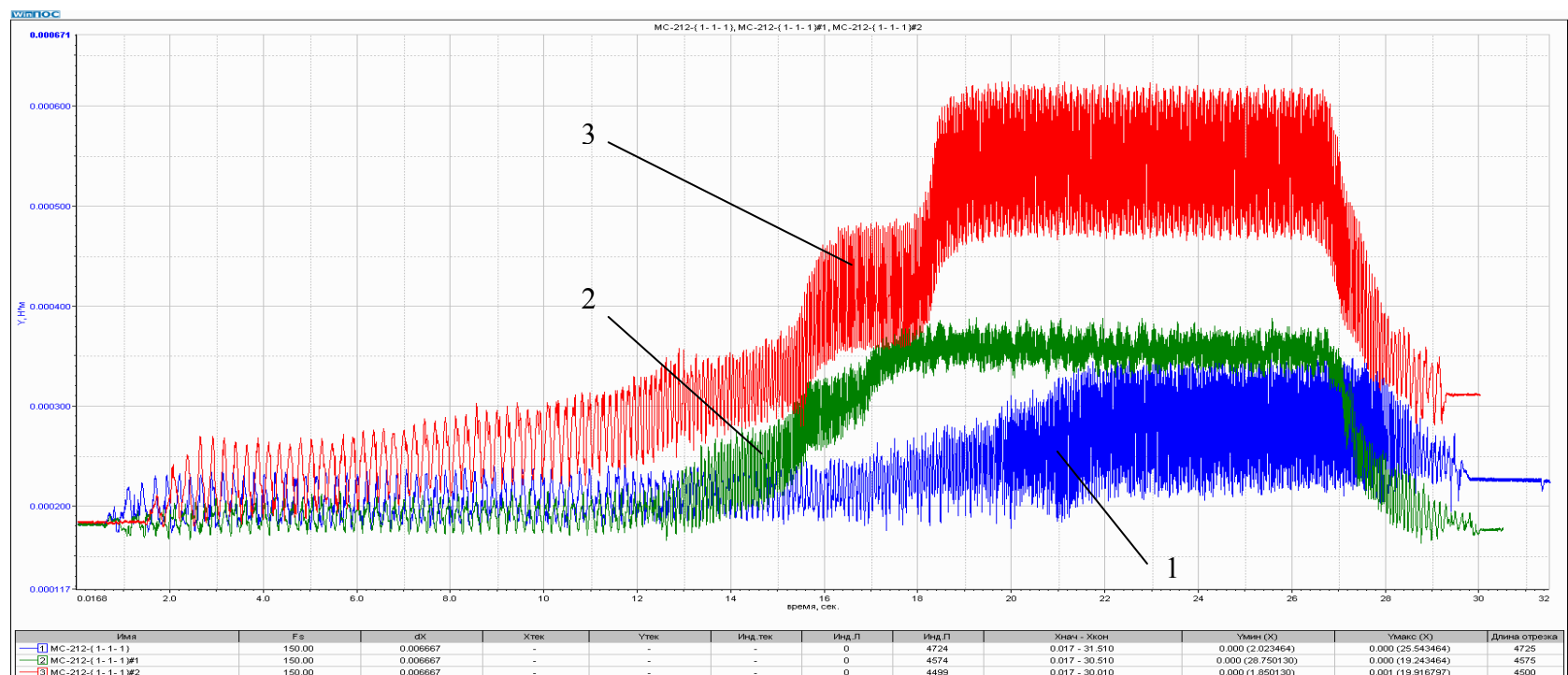


Комплексна осцилограма моментів опору підшипника №25 в залежності від навантаження



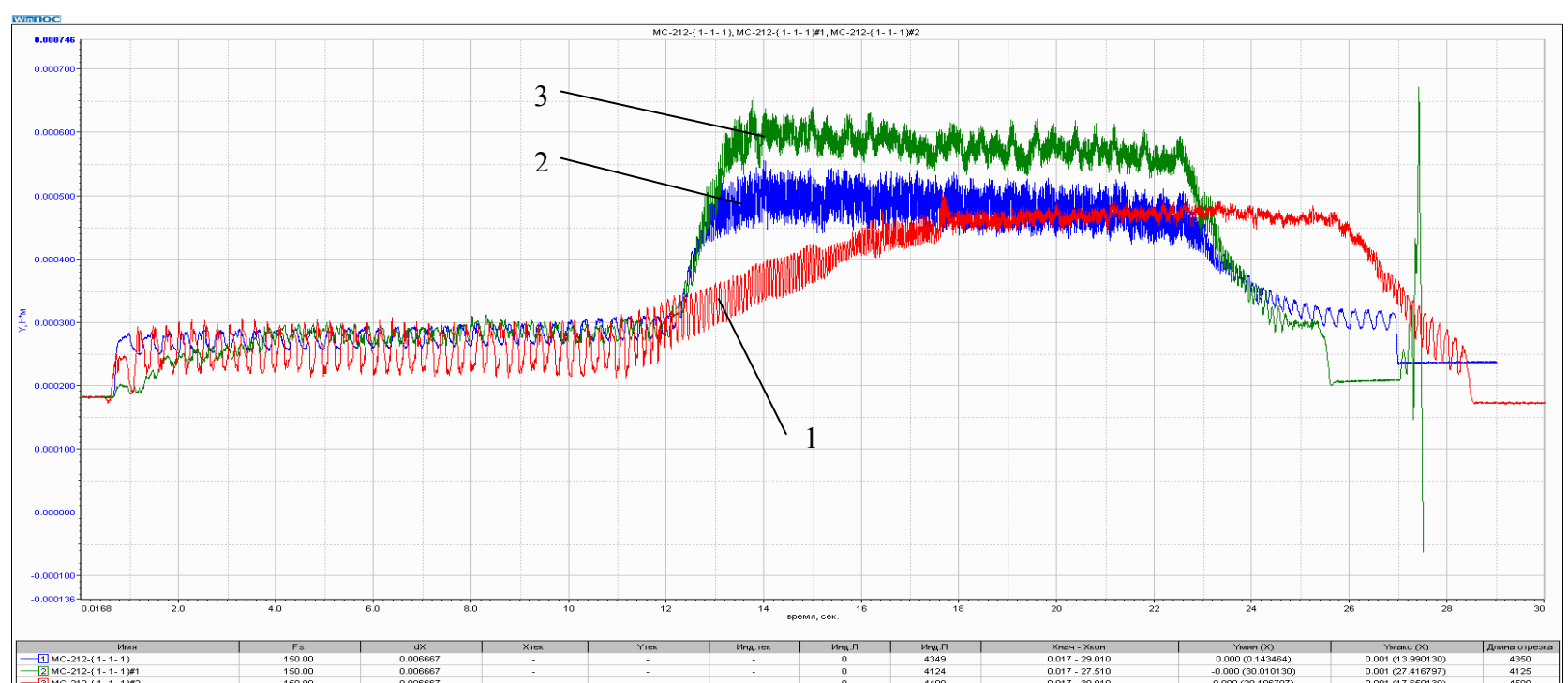
1 – F_r=0,5 кг; 2 – F_r=1,0 кг; 3 – F_r=2,0 кг

Комплексна осцилограма моментів опору підшипника №27 в залежності від навантаження



1 – F_r=0,5 кг; 2 – F_r=1,0 кг; 3 – F_r=2,0 кг

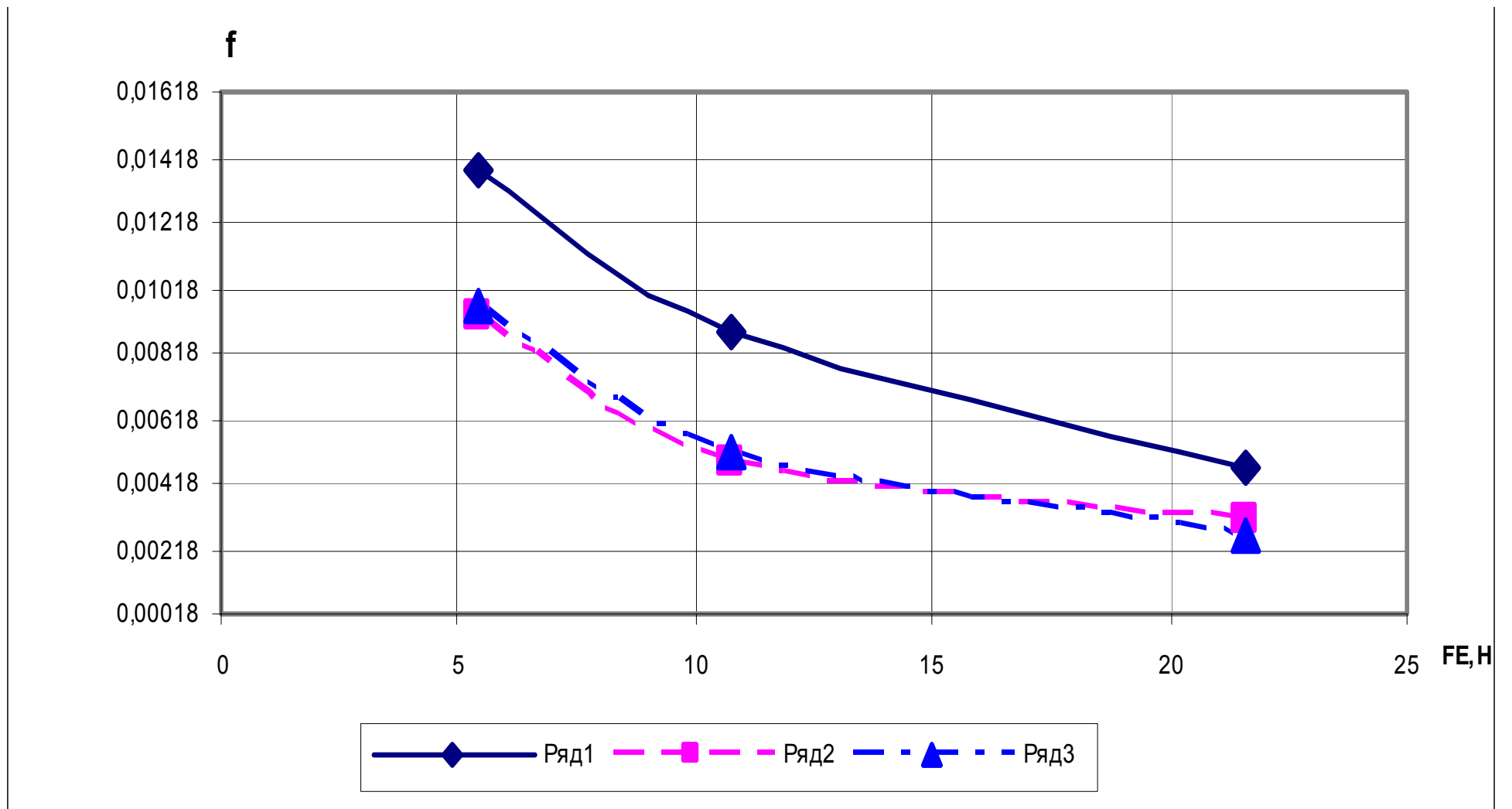
Комплексна осцилограма моментів опору підшипника №6200RS в залежності від навантаження



1 – F_r=0,5 кг; 2 – F_r=1,0 кг; 3 – F_r=2,0 кг

Діаграма залежності приведенного коефіцієнту тертя від навантаження на підшипник

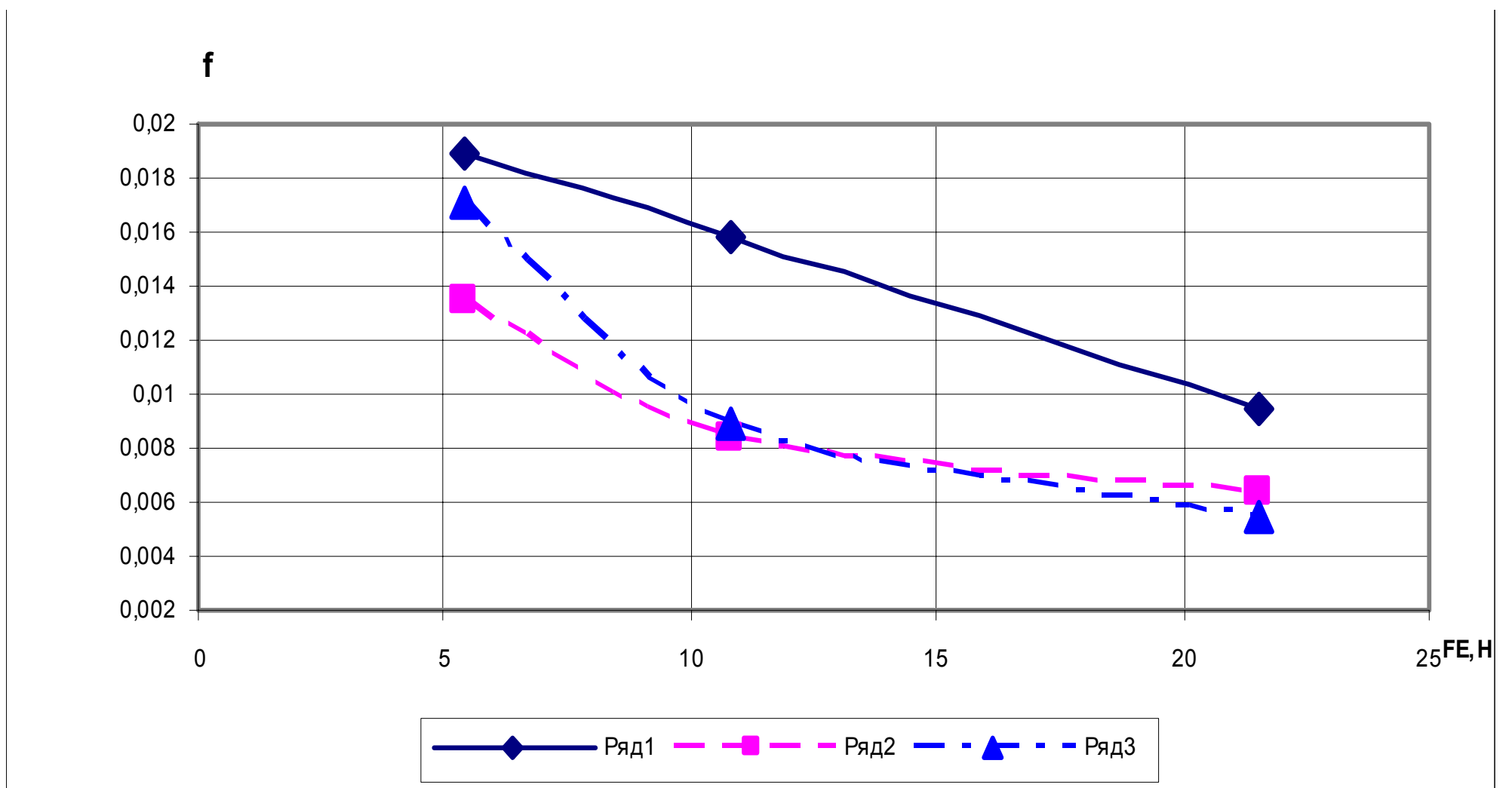
при $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$



ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

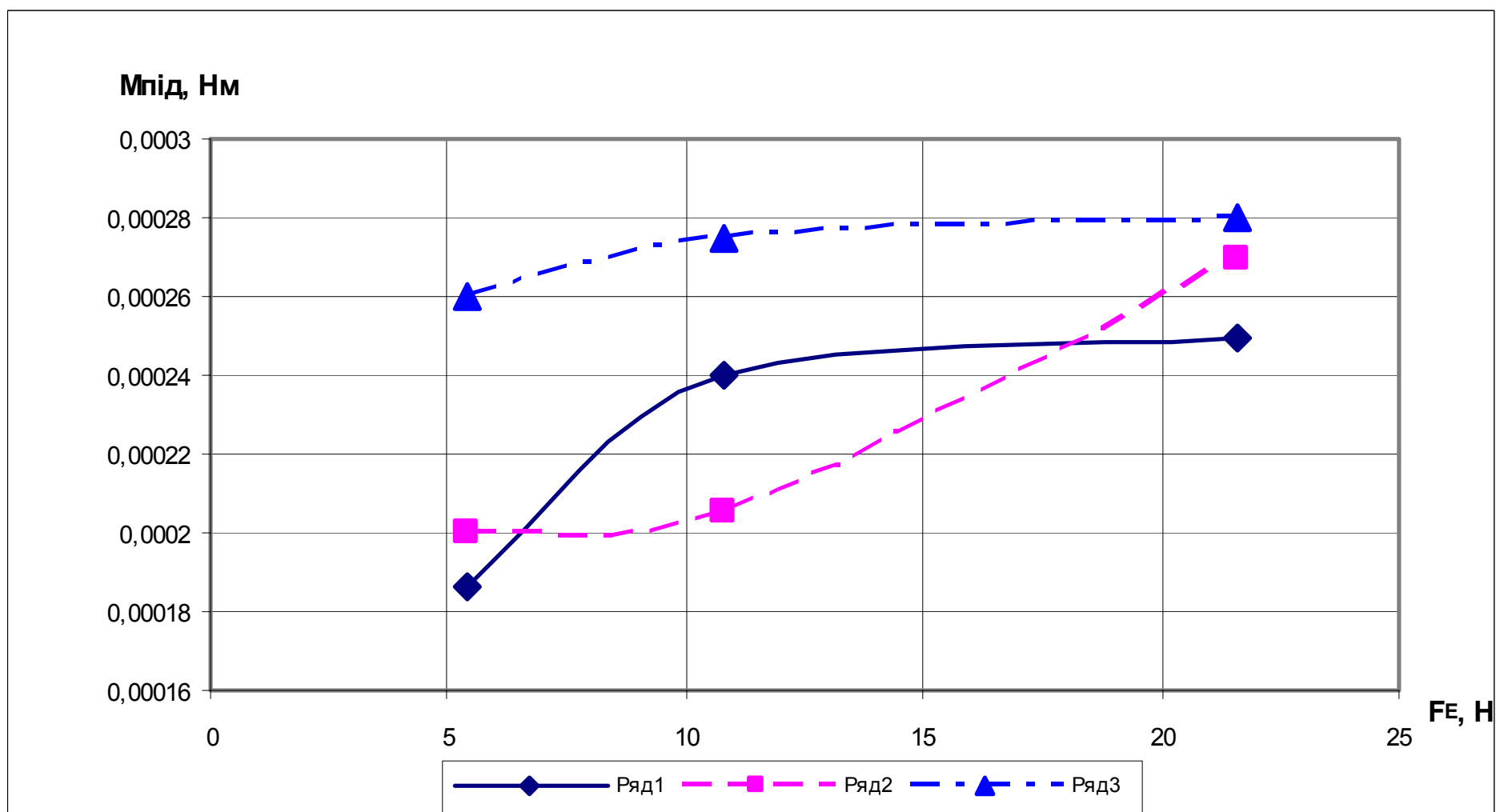
Діаграма залежності приведенного коефіцієнту тертя від навантаження на підшипник

при $n_{\text{під}}=1900 \text{ хв}^{-1}$



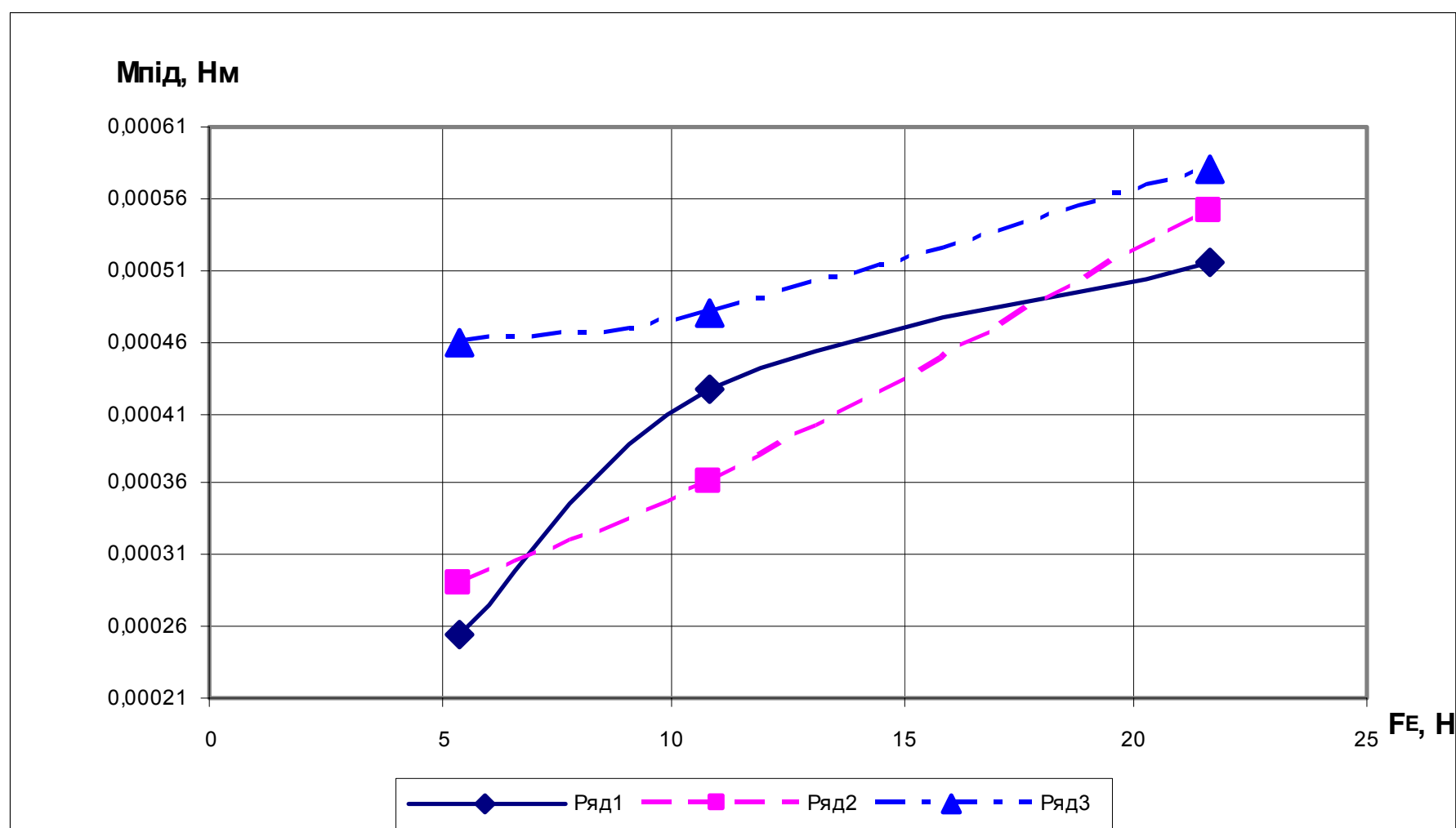
ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

Діаграма залежності моменту опіру від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=300 \text{ хв}^{-1}$



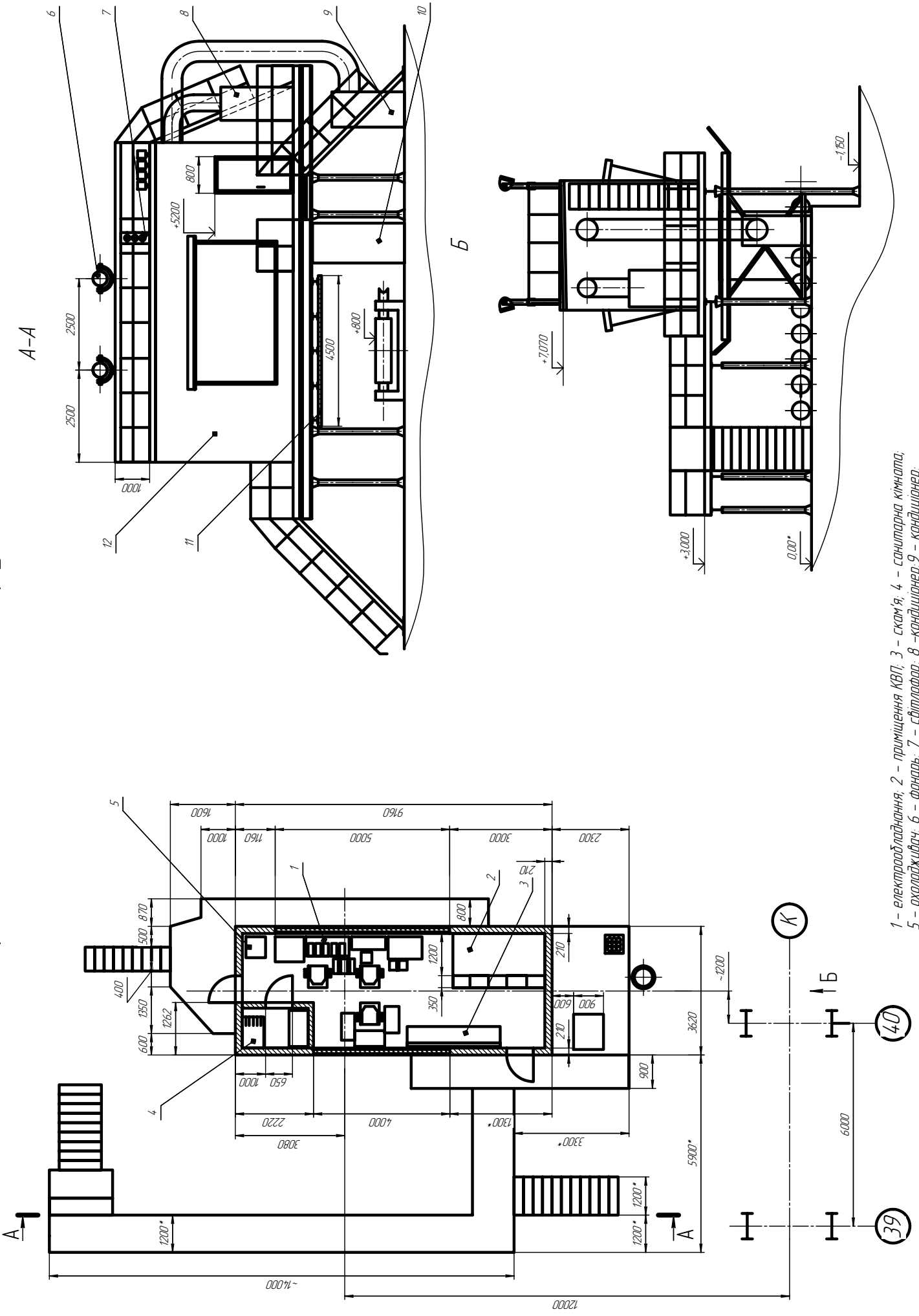
ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

Діаграма залежності моменту опіру від навантаження на підшипник при $n_{\text{під}}=1900 \text{ хв}^{-1}$



ряд 1 – підшипник №25; ряд 2 – підшипник №27; ряд 3 – підшипник №6200RS

План розміщення поста керування ПУ-1



1 – електрообладнання; 2 – приміщення КВП; 3 – скам'я; 4 – санітарна кімната;
 5 – охолоджувач; 6 – фонарь; 7 – світлофор; 8 – кондиціонер; 9 – кондиціонер;
 10 – кафельна шахта; 11 – екран; 12 – пост керування №1