

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 роботи муфтових з'єднань важконавантаженого
металургійного обладнання

Виконав: магістрант групи 8.1332-дн

Дікопавленко Т.Т.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

-

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

Металургійне обладнання

(шифр і назва)

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

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Гречаний О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація -

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А.О. Власов

“ _____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ**ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**Дікопавленко Тимофій Тимофійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Дослідження роботи муфтових з'єднань важконавантаженого металургійного обладнання .

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

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

№ 1581 – с.

2. Термін подання студентом роботи 25.02.2024 року.

3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи мікзера для зберігання чавуна.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд та класифікація муфтових з'єднань важконавантаженого металургійного обладнання. 2. Розрахунок навантажень та силових параметрів. 3. Дослідження компенсуючої здатності муфт з проміжним валом. 4. Охорона праці та техногенна безпеки. Висновки та рекомендації.

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

6. Консультанти розділів магістерської роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____
(підпис)

Дікопавленко Т.Т.
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____
(підпис)

К.В. Таратута
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дікопавленко Т.Т. Дослідження роботи муфтових з'єднань важконавантаженого металургійного обладнання

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

В роботі проведено огляд і класифікація конструкцій муфтових з'єднують металургійного обладнання. Проведено розрахунки навантажень, що діють на елементи муфтових з'єднань на прикладі приводу стаціонарного мікзера для зберігання рідкого чавуну. Досліджено роботу муфт з'єднаних проміжним валом.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРИВОД, МУФТА, ПРОМІЖНИЙ ВАЛ

ABSTRACT

Dikopavlenko T.T. Study of the operation of coupling joints of heavy-duty metallurgical equipment.

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

The work carried out an inspection and classification of the design of couplings with metallurgical properties. A renovation was carried out to ensure that the coupling elements are connected to the drive of the stationary mixer to save rare chavun. The operation of couplings connected by an intermediate shaft has been observed.

KEY WORDS: DRIVE, CLUTCH, INTERMEDIATE SHAFT

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Огляд та класифікація муфтових з'єднань важконавантаженого металургійного обладнання	8
1.1. Класифікація муфтових з'єднань	8
1.2. Центрування валів в приводі металургійних машин	16
1.3 Аналіз з'єднувальних механізмів на прикладі привода міксера	22
2. Розрахунок навантажень та силових параметрів	28
2.1 Розрахунок навантажень, що діють на механізми стаціонарного міксера для зберігання чавуну	28
2.2 Розрахунок зубчастих муфт приводу стаціонарного міксера	35
2.3. Розрахунок привода механізму нахилу стаціонарного міксера	38
3 Дослідження компенсуючої здатності муфт з проміжним валом	55
3.1 Дослідження роботи зубчастих муфт в умовах порушення вимог центрування валів стаціонарного міксера	55
4. Охорона праці та техногенна безпека	66
Висновки	80
Список використаної літератури	81
Додатки	83

ВСТУП

Актуальність теми.

Муфти служать для з'єднання валів і передачі обертаючого моменту. Муфти застосовуються практично у всіх машинах та механізмах. Вони є відповідальними складальними одиницями, що часто визначають надійність усієї машини. Більшість конструкцій приводних пристроїв мають дві муфти. Одна з них з'єднує двигун і редуктор, друга – редуктор та виконавчий механізм. При встановленні двигуна і редуктора на загальній рамі допускається порівняно невелика неспіввісність валів. Так як ця муфта з'єднує порівняно швидкохідні вали, то з метою зменшення пускових та інших динамічних навантажень вона повинна мати малий момент інерції та пружні властивості. Друга муфта з'єднує порівняно тихохідні вали (наприклад, редуктор та приводний вал). До неї можна пред'являти підвищені вимоги щодо високих компенсуючих властивостей. Цим вимогам відповідають зубчасті муфти.

У важконавантаженому металургійному обладнанні вимоги до неспіввісності валів та муфт більш жорсткі. Це пов'язано з значними крутними моментами та складними (реверсивними) умовами роботи муфтових з'єднань.

В роботі розглядається привод, що включає зубчасті муфти з проміжним валом.

Мета та завдання дослідження. Визначення навантажувальної здатності муфт з проміжним валом приводу стаціонарного міксера для зберігання рідкого чавуну.

Для досягнення поставленої у роботі мети визначені такі завдання дослідження:

- огляд та класифікація з'єднань валів нажконавантажувального металургійного обладнання,
- дослідження навантажувальної здатності вузлів та деталей приводу в умовах неспіввісного з'єднання;

- визначення основних навантажень та їх допустимих значень у приводі міксера;

- дослідження навантажень, що діють на елементи приводу в умовах неспіввісності.

Об'єкт дослідження – привод стаціонарного міксера для зберігання рідкого чавуну.

Предмет дослідження – дослідження напружень зубчастих муфтах з проміжним валом.

Методи дослідження включають комп'ютерне моделювання навантажень, що діють на деталі приводу, обробку результатів досліджень.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження дають змогу у комплексі розв'язувати проблему муфтових з'єднань валів з поєднаною неспіввісністю.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на XIX Міжнародній науково-практичній конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології – 2023» (Миколаїв, МНАУ, 2023 р.).

Структура та обсяг роботи. Магістерська випускна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи становить 91 сторінки, 12 таблиць, 19 рисунків, списку використаних джерел, додатків.

1. ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МУФТОВИХ З'ЄДНАНЬ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Класифікація муфтових з'єднань

Муфтами називають пристрої, що з'єднують вали і передають обертальний момент від одного вала до іншого. Інколи муфтами з'єднують вал із розміщеними на ньому деталями. [1]

Застосування муфт пов'язане з тим, що більшість машин компонують із окремих складальних одиниць, що мають вхідні та вихідні вали. Такими складальними одиницями є, наприклад, двигун, редуктор і робочий орган машини. Безпосередній кінематичний і силовий зв'язок між двигуном і редуктором, редуктором і робочим органом здійснюється за допомогою муфт. Потреба у муфтах виникає і в тих випадках, коли довгі вали слід виготовляти з кількох складових частин.

В Україні питаннями проектування і дослідження механічних муфт займаються колективи багатьох установ, а серед зарубіжних фірм провідними в розробці та виготовленні механічних муфт є: “Walterscheid”, “Vulkan”, “Ukob”, “Strogmag”, “Unicum”, “Paulstra”, “Hochreuter Baum”, “Lenze”, “Cardelis Kupplung” (ФРН); “Morse”, “Hilard Corporation”, “John Dire”, “Une Waindrover”, “Beisler engineering” (США); “Demahe”, “Sigma”, “Slema”, “Pouille” (Франція); “Hardi-Speuser”, “Metastrim”, “Krofts engineering limited” (Велика Британія); “Кубота” (Японія).

З'єднання валів і передавання обертального моменту є основним, але не єдиним призначенням муфт. Муфти можуть виконувати й інші функції, такі як компенсування похибок взаємного розміщення валів (компенсуючі муфти), захист елементів машин від перевантажень та зменшення динамічних навантажень (запобіжні муфти), з'єднання і роз'єднання робочого органу машини з двигуном без його вимикання (муфти зчепні керовані).

За принципом дії муфти поділяють на класи: механічні, гідравлічні,

електричні та ін.

За ознакою керованості розрізняють такі групи механічних муфт:

1 Некеровані (нерозчіплювані), призначені для сталого з'єднання валів.

2 Керовані (зчіпні), які служать для з'єднання та роз'єднання валів під час роботи.

3 Самокеровані (автоматичні), які автоматично з'єднують або роз'єднують вали в разі зміни заданого режиму роботи.

Класифікація механічних муфт за ознакою керованості у вигляді схеми розподілу на групи та підгрупи виконана на рис. 1.1. [1]

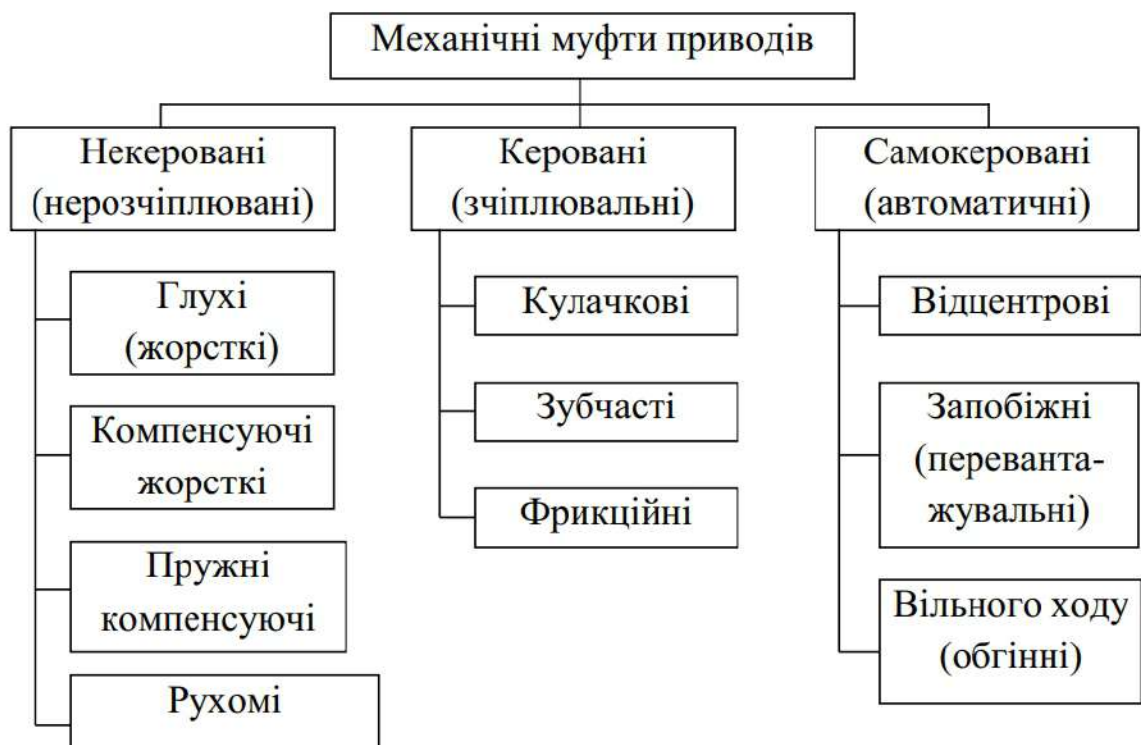


Рисунок 1.1 Класифікація механічних муфт

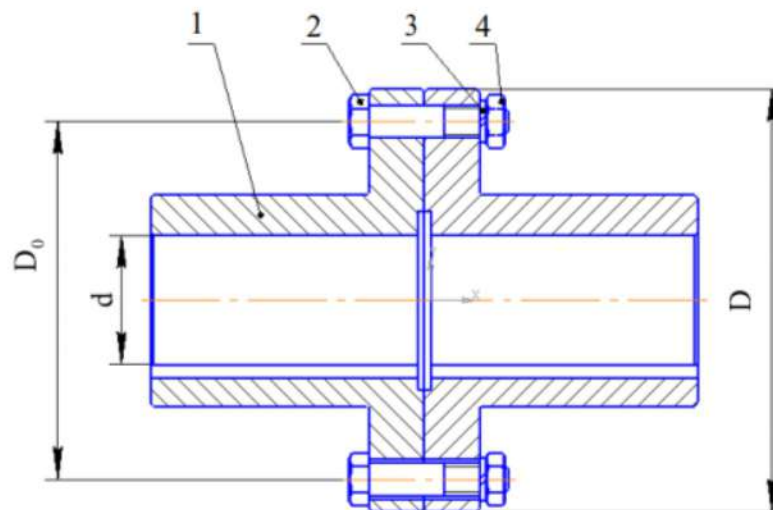
За характером роботи муфти поділяють на жорсткі муфти – передають крутний момент разом з вібраціями, удари та поштовхи та пружні муфти – забезпечують передачу крутного моменту та зменшують дію динамічних навантажень, демпфуючи вібрації та поштовхи, з допомогою присутності в їх конструкції пружних елементів (пружин, гумових втулок та ін.).

Також механічні приводні муфти можна поділити на наступні підгрупи: глухі (втулкові, фланцеві); компенсуючі (зубчасті, ланцюгові);

пружні(втулково-пальцеві, з тороподібною оболонкою, зі «зірочкою»); зчіпні (кулачкові, фрикційні);запобіжні (фрикційні, із руйнівним елементом).

Розглянемо некеровані механічні муфти. У групі глухих розглянемо фланцеві муфти, у групі жорстких компенсуючих – зубчасті , та у групі пружних компенсуючих – втулково-пальцеві муфти.

Фланцева муфта [4] складається з двох однакових напівмуфт із фланцями.Фланці між собою з'єднані болтами. Причому половину болтів встановлюють із зазором, а іншу – без зазору. Центрування напівмуфт здійснюють болти, встановлені без зазору. Після затягування болтів фланці притискаються один до одного. Принцип дії муфти полягає в наступному: крутний момент з валів на напівмуфти передається за допомогою шпонки. Після цього крутний момент з першої напівмуфти. на другу передається стрижнями болтів, поставлених без зазору, та силами тертя у фланцях. Фланцеві муфти прості за конструкцією, можуть передавати великі моменти, надійні у роботі, легкі у монтажі. Нестача–необхідна строга співвісність валів і перпендикулярність дотичних торцевих поверхонь напівмуфт до осі валу. Інакше це може призвести до вигину валу, появі додаткових навантажень на опори та биття. Матеріал, що використовується для виготовлення напівмуфт - сталь 40, 35Л, великих розмірів муфт чавун СЧ30.



1 – напівмуфта; 2 – болт; 3 – шайба; 4 – гайка

Рисунок 1.2 Фланцева муфта

Муфти перевіряють розрахунком на міцність для шпонкових з'єднань та болтів. При постановці болтів із зазором момент передається за рахунок сил тертя поверхонь напівмуфт, виробляють перевірні розрахунки болтів на розтягування (3), а при постановці болтів без зазору перевіряють розрахунком болтів на зріз (4) рис.1.2.

Зубчасті муфти (рис. 1.3) – найбільш поширений вид жорстких компенсуючих муфт. Їх широко застосовують для з'єднання валів, особливо у важкому машинобудуванні, де передають великі моменти і ускладнена точна установка вузлів.

Зубчаста муфта [4] складається з двох обойм 1 з внутрішніми зубцями, що знаходяться в зачепленні відповідно з двома зубчастими втулками 2 із зовнішніми зубцями (рис 1.4). Зубчасті сполучення муфт працюють в масляній ванні. У муфтах передбачені отвори для заливання і зливу з них мастила, а також ущільнення для герметизації. Деталі муфти виготовляють зі Сталей 45, 45Х.

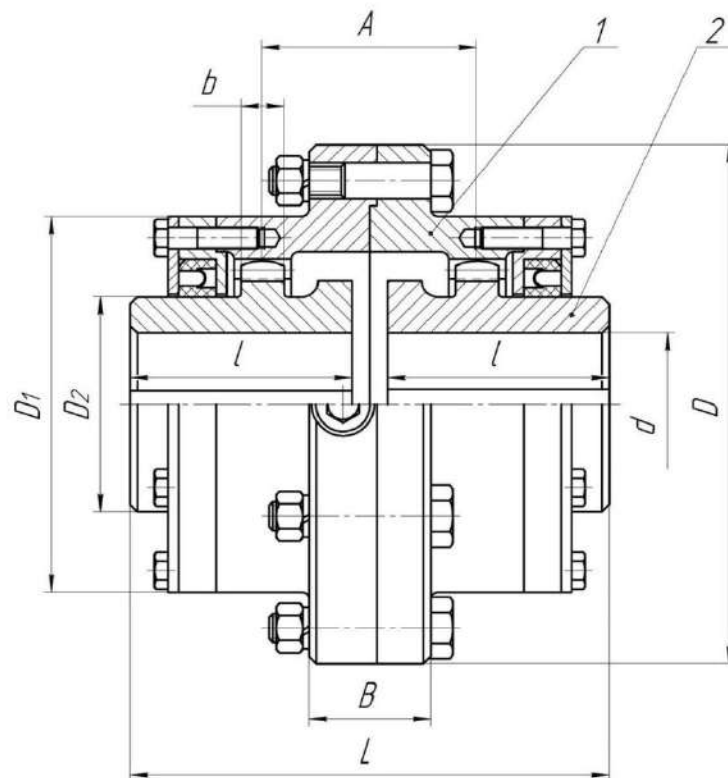


Рисунок 1.3 Зубчаста муфта

Поверхні зовнішніх зубів обточені на колі виступів по сфері радіусом R , по цій поверхні центруються обойми. За технічними умовами зуби

виготовляються з евольвентним профілем.

Компенсуючу здатність муфти забезпечують створенням зазорів між зубцями обойми і втулок, а також наданням бочкоподібної форми зубцям зубчастих венців втулок (рис. 1.4).

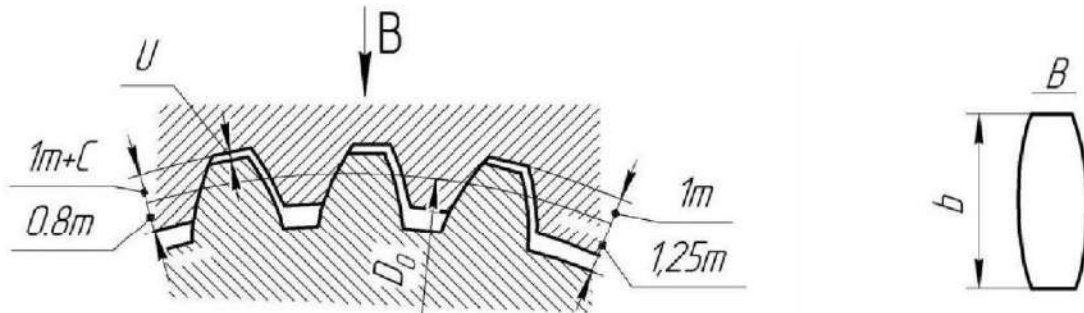


Рисунок 1.4 Бочкоподібний зубець

Перевагами зубчастих муфт є: висока здатність навантаження при порівняно невеликих габаритах, хороша компенсуюча здатність зміщень осей валів, технологічність виготовлення – використання для нарізки зубців нормального зубонарезного інструменту.

Таблиця 1.1 Розміри і параметри зубчастої муфти МЗ

Допустимий обертальний момент [Т], Нм	d	D	D1	D2	l	L	B	Параметри зубчастого зацеплення, мм				n_{max} хв ⁻¹ не більше
								m	z	b	A	
1000	40	145	100	60	82	174	34	2,5	30	12	60	90
1600	55	170	125	80					38	15	75	80
2500	60	185	135	85	105	220	40	3	36	20		75
4000	65	200	150	95					40		85	62
6300	80	230	175	115	130	270	50	3	48	30	125	55
10000	100	270	200	145	165	340			56		25	145
16000	120	300	230	175		200	345	50	4	48	30	180
25000	140	330	260	200	415		56			35		210
40000	160	410	330	230			6	46	35	210	29	

До недоліків можна віднести: порівняно низьку стійкість із-за швидкого зносу і руйнування зубців; відсутність пружно-демпфуючих властивостей.

Приклад умовного позначення зубчастої муфти з обертальним моментом $T=1000$ Н·м, типу 1, діаметром посадочного отвору у втулках $d=40$ мм, з втулками виконання 1, кліматичного виконання У і категорії 2: *Муфта 1000-40-1 У2*

Пружні муфти характеризуються наявністю пружного елемента (одного або декількох), за рахунок деформації якого здійснюється взаємне переміщення деталей муфти, необхідних для компенсації зміщення осей ведучого і веденого валів.

Пружні муфти мають наступні властивості:

1. Пружні муфти допускають порівняно великі зміщення осей валів, що сполучаються. При цьому, завдяки деформації пружного елемента, вали і опори навантажуються порівняно малими силами і моментами.
2. Пружні муфти можуть служити засобом захисту від резонансних крутильних коливань, що виникають в механізмі внаслідок нерівномірності обертання.
3. Здатність пом'якшувати поштовхи і удари. Кінетична енергія удару при цьому частково поглинається і переходить в тепло, частково акумулюється пружними елементами, перетворюючись на потенційну енергію деформації.

Основною характеристикою пружних муфт, у зв'язку з їх призначенням – передавати обертальний рух, є крутний момент. Основними показниками конструкцій муфт є габарити, маса і момент інерції відносно осі обертання. Крім того, пружні муфти характеризуються податливістю і демпфуючою здатністю.

Пружні муфти бувають постійної і змінної жорсткості, тобто мають лінійну і нелінійну характеристику – залежність величини моменту від кута закручування [4].

Під демпфуючою здатністю муфти розуміють її здатність розсіювати (перетворювати на тепло) енергію при деформації.

Існують велика кількість пружних муфт різних конструкцій. Залежно від матеріалу пружних елементів муфти ділять на дві групи: - муфти з неметалевими пружними елементами; - муфти з металевими пружними елементами.

Основним матеріалом неметалевих пружних елементів служить гума, оскільки вона має високу еластичність, демпфуючу здатність і діелектричні властивості. Через низьку міцність гум і пластмас в порівнянні з металами ці муфти застосовують переважно для передачі малих і середніх крутних моментів. Довговічність гумових елементів нижча, ніж сталевих. Гума поступово втрачає свої пружні властивості – старіє.

Металеві пружні елементи виготовляють у вигляді гвинтових і плоских пружин, сталевих пружинних стрижнів, пакетів пластин.

Найширше застосовуються пружні втулково-пальцьові муфти, муфти з пружним елементом у вигляді зірочки, муфти з тороподібною оболонкою, муфти з резинометалічним пружним елементом.

Муфти пружні втулково-пальцьові (МПВП) отримали широке поширення завдяки відносній простоті конструкції і зручності заміни пружних елементів. Проте їх характеризує невисока компенсуюча здатність, а при з'єднанні неспівісних валів – досить велика силова дія на вали і опори, при цьому гумові втулки швидко руйнуються. МПВП також здатна амортизувати поштовхи і удари, демпфувати невеликі коливання і попереджати резонанс.

МПВП стандартизовані для валів діаметром від 10 до 160 мм і крутних моментів до 16000 Н·м

Пружні властивості муфти забезпечуються за рахунок втулок, здатних деформуватися під дією передаваного крутного моменту T .

Оскільки муфти цього типу мають велику радіальну і кутову жорсткість, їх застосування доцільне при установці вузлів, що сполучаються, на плитах

(рамах) великої жорсткості. Крім того, збирання вузлів необхідно робити з підвищеною точністю і з застосуванням спеціальних підкладок.

Муфта представлена на рис. 3, 4. У фланці напівмуфти 1 кінчними хвостовиками закріплені пальці 2, на які надіті гумові втулки 3. Втулки входять в отвори, розташовані у фланці напівмуфти 4. Отвори під вал в маточинах напівмуфт розточуються циліндричними або конічними (всього передбачено чотири виконання на різні довжини кінців валів).

Матеріали напівмуфт – сірий чавун СЧ- 20, сталь 30, сталь 30Л. Матеріал пальців – сталь 45 з твердістю 241...285 НВ, а втулок – гума з межею витривалості не менше 8 МПа.

Втрати енергії при роботі МУВП оцінюються ККД 0,96..0,98.

Якщо необхідно зменшити розміри муфти в порівнянні з розмірами за стандартом, проектують спеціальну муфту, в якій розміщують більше число пружних елементів.

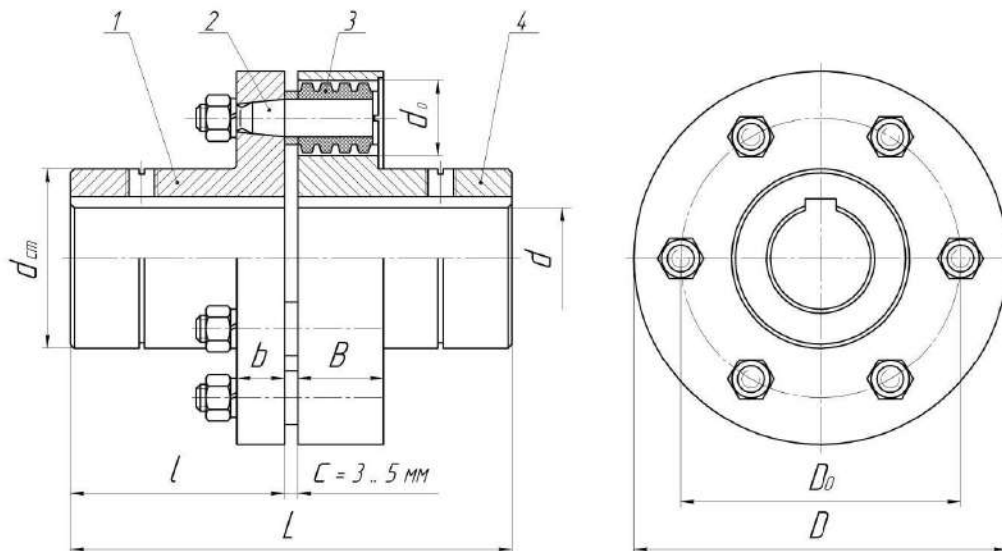


Рисунок 1.5 Муфта пружна втулково-пальцева в розрізі

На роботу муфти істотний вплив чинять величина, інтенсивність і характер динамічних навантажень (ударів, вібрацій), обумовлених характером машини, що приводиться в рух. Тому вибір і розрахунки муфти ведуть не по номінальному значенню обертового моменту T , а по розрахунковому T_p .

Також необхідно, щоб діаметр отвору в маточині напівмуфти d (таблиця 1.1) був не менше діаметру валу d_v на який одягається муфта (d , d_v).

1.2 Центрування валів в приводі металургійних машин

Центрівкою називається взаємне становище центрів двох валів, виміряне без сполучної муфти. Якщо осі двох валів збігаються (співвіси), становлять одну пряму лінію, то центрування забезпечується. А якщо не збігаються, то центрування не забезпечується – це називається розцентрування валів агрегату. Загалом якість центрування визначається правильністю монтажу лінії валу агрегату, контрольована по центрам опорних підшипників валу. Розцентровані вали можна з'єднати у єдиний вал, використовуючи сполучні муфти, що часто роблять на практиці. Однак, будь-яке розцентрування буде викликати підвищені вібрації та навантаження на з'єднані вали. Навантаження впливатимуть також на муфту та підшипники, що призведе до їх підвищеного зношування.

Виділяють два основні види розцентрування [6]:

- паралельнt (радіальнt);
- кутовt.

Дуже часто практично не зустрічаються поодинокі види усунення, а зустрічаються їх комбінації – паралельна та кутова.

Відхилення від співвісності валів призводить до виникнення небажані наслідки: підвищена вібрація; передчасне знос муфт (перегрів, ослаблення); знос підшипників; знос ущільнень, що призведе до збільшення виходу з ладу підшипників через проникнення бруду та витікання мастильного матеріалу; передчасне знос фундаментів, на якому встановлено агрегат; збільшується знос деталей машин, що становлять агрегат; зростає споживання енергії двигуном до 20%.

Паралельне зміщення валів – це паралельне зміщення осей двох центрованих роторів щодо один одного. Класичний випадок виникнення даного виду розцентрування на практиці – під час проведення монтажних робіт відбулося зміщення одного та опорних підшипників у бік. Тут буде

комбіноване розцентрування, але велику роль буде грати паралельне усунення. Справа в тому, що кут зламу при зміщенні підшипника зазвичай не є суттєвим (не перевищує одного градуса), а зсув валів у точці центрування може дорівнювати одному міліметру і більше, що позначиться значно на роботі агрегату.

Кутове розцентрування - це перекис осі в місці з'єднання валів на деякий кут. Випадки розцентрування валів, що зустрічаються в практиці, практично завжди є складними, комбінованими, що включають водночас основні елементи обох видів розцентрування. За підсумками проведеної діагностики за спектрами вібросигналів виявляється найбільше сильно розцентровка, за якою і дається діагноз і рекомендації щодо усунення.

Одним із способів виявлення кутового усунення є проведення вимірювань зазорів між валами у кількох точках по колу.

При виготовленні деталей дуже складно витримати розміри з точністю, яка забезпечила співвісність при з'єднанні. Тому при установці машин на загальній плиті їх вали центрують, тобто регулюють їх становище за допомогою прокладок. При постачанні агрегатів цією роботою займається завод – виробник.

Допустимі відхилення валів залежать від їх швидкохідності та маси деталей, що обертаються. Зазвичай, що вища вартість агрегату, то більше жорсткі вимоги пред'являються до співвісності валів.

Існує досить багато причин появи зсувів валів у процесі роботи устаткування. Це перекис обладнання в результаті зміни сезонної зміни температури; зміна режиму роботи агрегату; процес зносу частин агрегату; розслаблення кріплень та інші.

Але як би не хотілося, вставити вали так, щоб вони становили одну пряму лінію, що не вдасться. Тому що при виготовленні реальних деталей машин завжди є похибки виготовлення. Тому для того, щоб з'єднати неспіввісні вали та зменшити вплив навантажень застосовують муфти, що компенсують. Вони здатні поєднувати вали з деяким взаємним зміщенням та

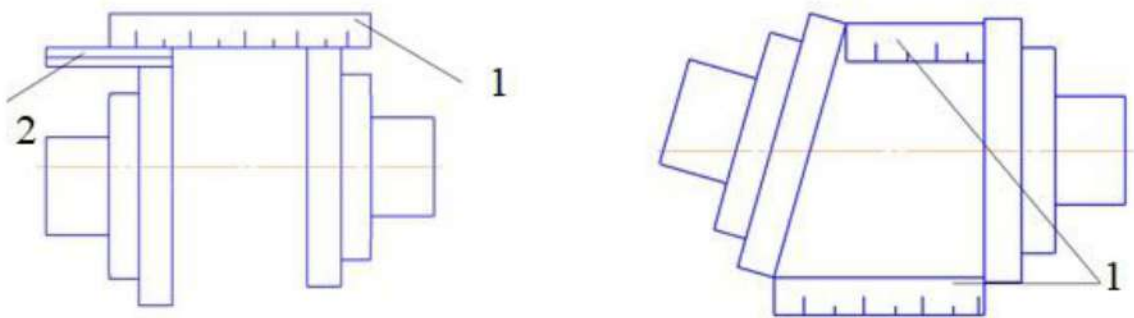
передавати крутний момент від приводу до робітника органу. Навантаження, що виникають при цьому зміщенні, компенсуються за рахунок пружних елементів муфти.

Загальні методи проведення центрування:

- за допомогою лінійки та щупів;
- радіально – осьовий метод;
- метод зворотних індикаторів;
- лазерний метод.

Муфтове з'єднання – це місце, де відбувається передача енергії від приводу до виконавчого органу. Отже, при неспіввісності буде виникати вібрація та руйнівні зусилля. Усі вище вказані методи мають загальне те, що вимірювання проводяться на валах та напівмуфтах.

1) За допомогою лінійки та щупів



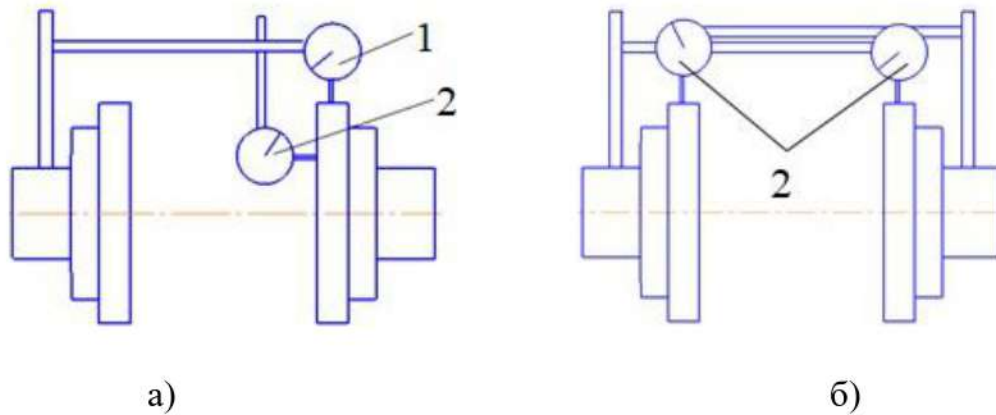
1 – лінійка; 2 – щуп

Рисунок 1.6 Вимірювання паралельного та кутового зсуву

Використовується для досягнення грубого центрування. За допомогою краю лінійки та набору щупів вимірюється зміщення, як показано на малюнку 15. Кутове усунення вимірюється щупами, штангенциркулями, лінійками. Вимірюються зазори у двох протилежних точках, для визначення напрямку та величини нахилу валів.

2) Методи з використанням індикаторів.

Методи з використанням індикаторів включають два види: радіально-осьовий метод та метод зворотних індикаторів



1 – індикатор осьового виміру; 2 – індикатор радіального виміру

а) радіально – осьовий метод; б) метод зворотних індикаторів

Рисунок 1.7 Базові методи центрування

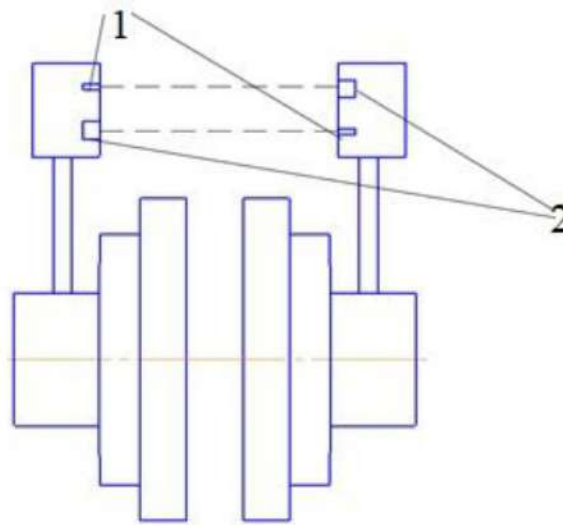
Радіально - осьовий метод дає хорошу точність центрування. При використанні методу один вимір робиться по колу напівмуфти для визначення усунення валу. Інший індикатор вимірює в осьовому напрямку на фланці, визначає кутове усунення валу.

Метод зворотних індикаторів відразу дає інформацію про зміщення та про кутовому положенні валів. При використанні методу проводяться два вимірювання по колу муфти у двох точках для отримання інформації про зміщення валів.

3) Лазерний метод

У даному методі використовуються лазерні та електронні промені. детектори. Лазерні системи для центрування складаються з випромінювачів, приймачів, а також електронного блоку, що робить розрахунок центрування. Лазерні системи поєднують у собі випромінювач та приймач (рисунок 17).

Система безперервно відображає значення неспіввісності та одразу оновлює показання під час переміщення установки. Останнє покоління лазерних систем має точність до 0,001 мм.



1 – випромінювач; 2 – приймач

Рисунок 1.8 Лазерний метод

Методика центрування муфтових з'єднань металургійного обладнання

Співвісність горизонтальних валів визначають центруванням по напівмуфт. Перед тим як встановити центрувальний пристрій напівмуфти повинні бути роз'єднані, щоб не було торкань між напівмуфти. Потім перевіряють вільне провертання кожного з роторів, і переконуються у відсутності зачіпань. Встановлюють центрувальне пристосування та роблять виміри по точках. Осьові та радіальні зазори вимірюють у вихідному положенні, після повороту на 90° , 180° , 270° напрямі робочого обертання приводу. Проводять виміри у кожному положенні між напівмуфтами. Повертають вали у вихідне положення та перевіряють початкові виміри. Після вимірювання результати заносять у кругову діаграму (рис. 1.9). Далі знаходять середні значення вимірів (13). Перевіряють правильність вимірювань шляхом підсумовування результатів, отримані на протилежних сторонах муфти. Суми мають бути між собою рівні (14).

У разі незадовільних результатів проводять переміщення опор валів. Зазвичай для агрегату, що складається з електродвигуна та насоса, переміщують електродвигун. Переміщення у вертикальній площині

здійснююють за допомогою підкладок із металевих пластин, габарити яких відповідають опорній поверхні лапи двигуна.

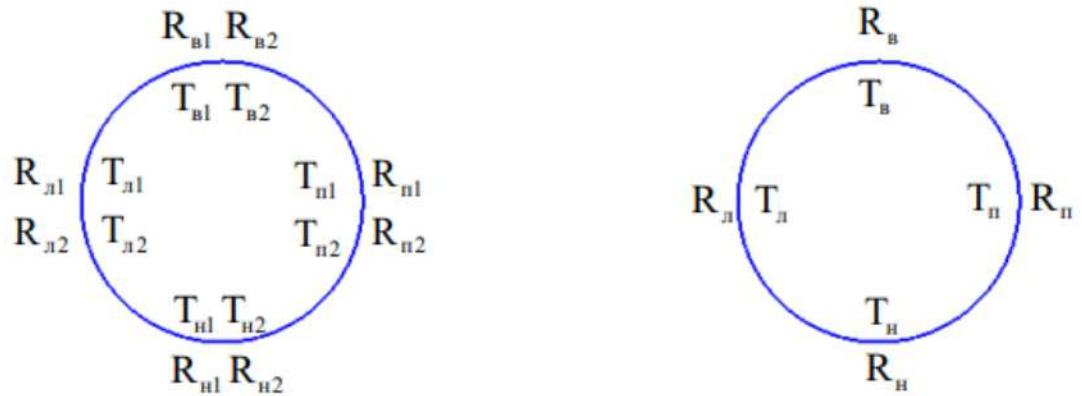


Рисунок 1.9 Кругова діаграма вимірювань та середніх значень

Розрахунок середніх значень вимірювань та перевірка вимірювань:

$$R_i = \frac{R_{i1} + R_{i2}}{2}; T_i = \frac{T_{i1} + T_{i2}}{2},$$

$$R_B + R_H = R_{\Pi} + R_L$$

$$T_B + T_H = T_{\Pi} + T_L,$$

У горизонтальній площині електродвигун переміщують спеціальними болтами, які встановлені на рамі. Необхідну точність центрування також можна досягти за допомогою гідравлічних домкратів. Після переміщення двигуна знову переходять до вимірювань на пристрої. При цьому встановлюють центрувальну скобу в положення, що відповідає виміру коригованої величини розцентрування з боку більшого значення. Далі переміщувати опори двигуна, щоб вимірюваний параметр зменшувався на величину, яка відповідає фактичному розцентруванню (15).

$$E_y = \frac{R_B - R_H}{2}; E_x = \frac{R_{\Pi} - R_L}{2}; S_y = \frac{T_B - T_H}{2}; S_x = \frac{T_{\Pi} - T_L}{2},$$

де $E_y(S_y)E_x(S_x)$ – радіальне та торцеве розцентрування у вертикальній та горизонтальній площині.

1.3 Аналіз з'єднувальних механізмів на прикладі привода міксера

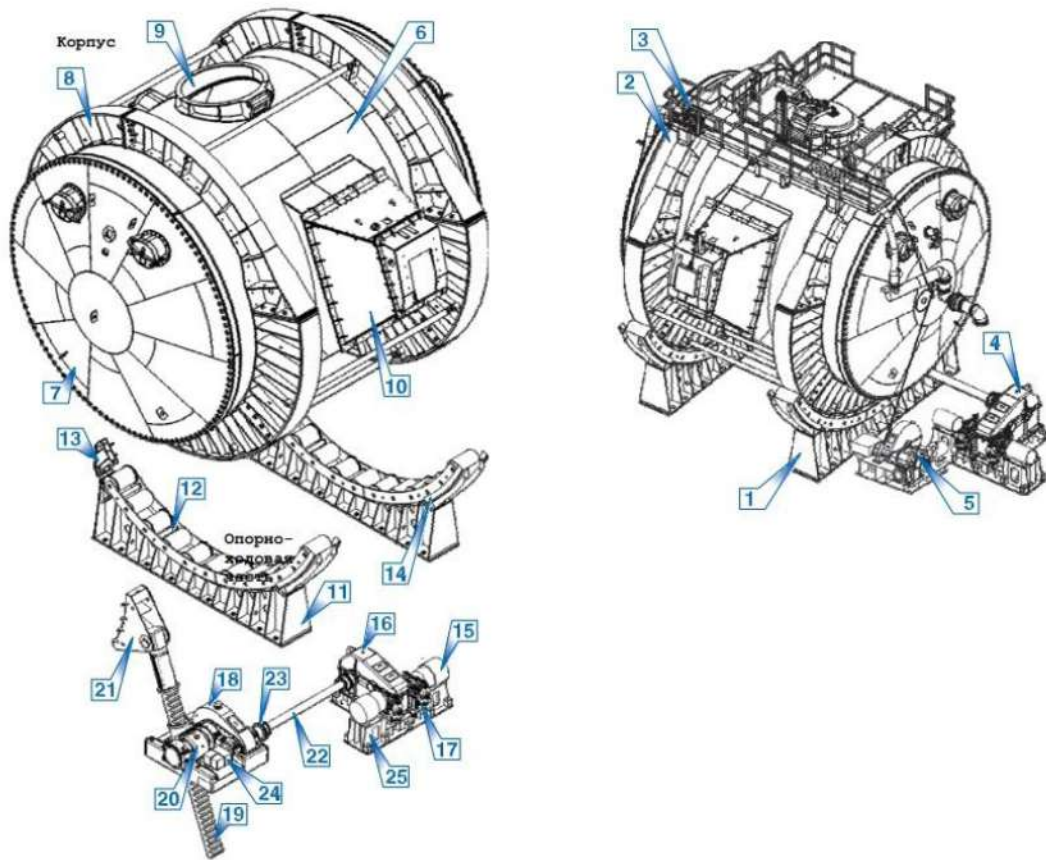
Стационарні міксери призначені для тимчасового зберігання (рис. 1.10) запасів рідкого чавуну, завдяки чому створюються незалежні від ходу плавки доменних печей умови для роботи мартенівських печей. В міксері вирівнюються хімічний склад та температура чавуна, а також частково видаляються шкідливі домішки. Для підтримки необхідної температури чавуна міксери нагрівають за допомогою горілок.

Почерговий злив чавуну з чавуновозних ковшів в міксер виконують міксерним краном вантажопідйомністю 180/50 т. При цьому ківш утримують крюками головного підйому крана над відкритим заливним отвором міксера і кантують механізмом підйому допоміжного візка. Шлак скачують з чавуновозних ковшів перед заливання чавуна в міксер та з міксера по мірі накопичення шлаку. Шлак з міксера скачують в ківш шлаковоза. Заповнений ківш переставляють на лафет шлаковоза та транспортують за межі відділення.

На рисунку 2.1 представлений міксер ємкістю 1300 т. За формою відноситься до коротких циліндричних міксерів з опуклими днищами. В порівнянні з іншими ця конструкція володіє деякими перевагами: зменшені теплові втрати, покращені умови перемішування чавуну, підвищений термін служби футерування.

Циліндрична частина міксера і бічні сферичні днища клепані. Щоб полегшити демонтаж міксера під час проведення капітальних ремонтів, їх днища скріплюють з циліндричною частиною болтами. Усередині міксер викладений вогнетривким футеруванням, між кожухом і футеруванням поміщають теплоізоляційний матеріал. Для перевірки стану футерування у верхній частині днищ виконані особливі оглядові вікна.

Щоб забезпечити самоповернення нахилоного міксера у вихідне положення (при аварії механізму повороту міксера або при припиненні подачі електроенергії), центр тяжіння міксера лежить вище за його геометричну вісь на 300 мм і убік у напрямку до носка також на 300 мм.

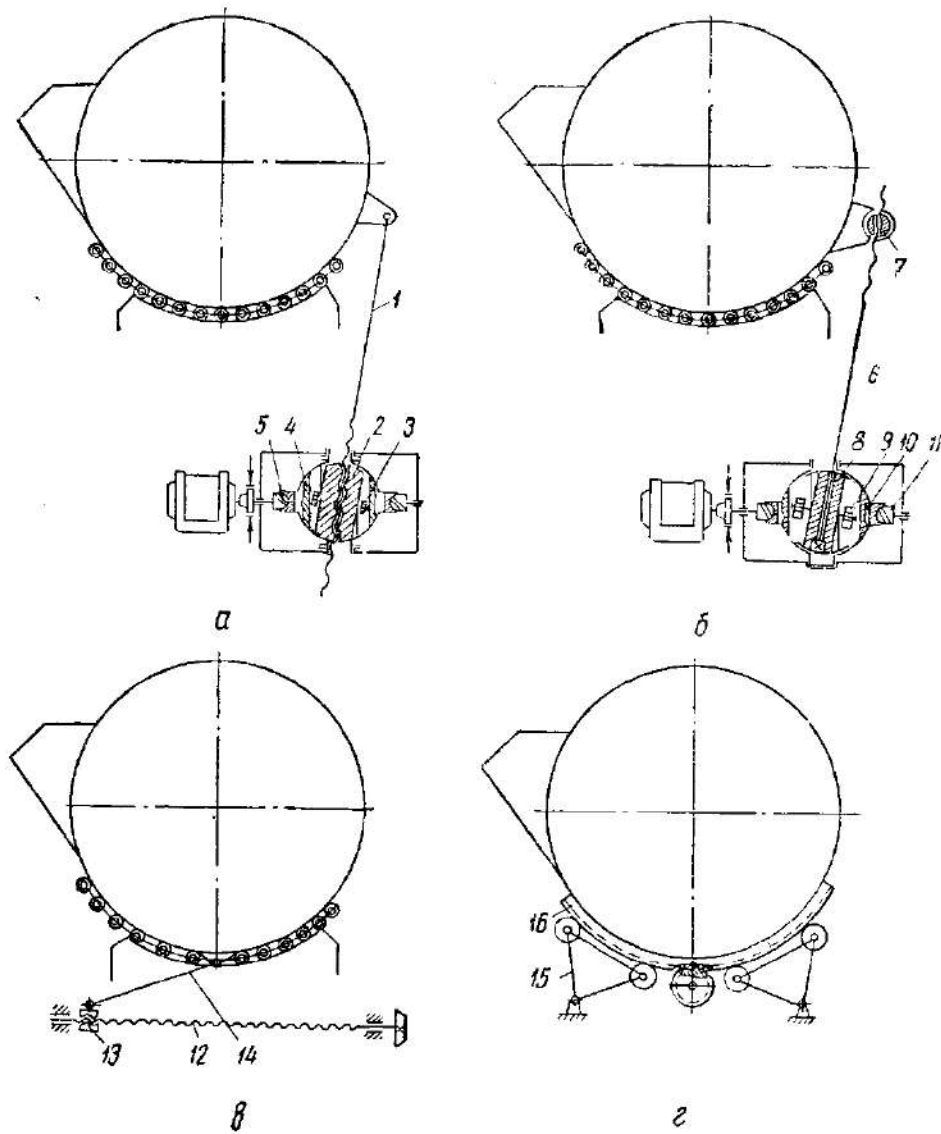


1 – опорно ходова частина, 2- корпус, 3 - механізм відкриття кришки заливного отвору, 4 - механізм нахилу, 5 - механізм відкриття кришки шкарпетки, 6 - зварний корпус, 7 - днище, 8 - бандаж, 9 – горловина, 10 – шкарпетка, 11 - опори, 12 - роликові обойми, 13 - буферні пристрої, 14 - захисні щитки, 15 - електродвигуни (основний та резервний), 16 - редуктор, 17- гальма ТКІР-400, 18 - редуктор спеціальний, 19 – рейка, 20 - коробка напрямна, 21 - кронштейн, 22 - проміжний вал, 23 - зубчасті муфти, 24 - встановлення командоапаратів, 25 - опорна рама

Рисунок 1.10 Загальний вид міксера ємкістю 1300 т.

Опорно-ходова частина міксера конструктивно виконана таким чином. Циліндрична частина міксера опоясана по краях двома бандажами 10, які спираються на ролики, встановлені в двох обоймах 9. Роликові обойми спираються на дві дугоподібні опори, закріплені на залізобетонному фундаменті. У кожній обоймі поміщено дванадцять роликів циліндричної

форми (з ребордами і без них) діаметром 500 мм. Механізм повороту б міксерів – рейкового типу. Експлуатаційний кут нахилу 30° , максимальний 47° .



а – механізм з гвинтом, що переміщується, б – механізм з гвинтом та рухомою гайкою, в - шатунно-гвинтовий механізм, г – механізм з зубчастим сектором

1 – гвинт; 2 – сферична гайка; 3 – ролики; 4 – обойма; 5 – черв'ячна передача; б – механізм з гайкою, що переміщується: 6 – гвинт; 7 – гайка; 8 – сферична втулка; 9 – ролики; 10 – обойма; 11 – черв'ячна передача; в – шатунно-гвинтовий механізм: 12 – гвинт; 13 – гайка; 14 – шатун; г – механізм з зубчастим сектором: 15 – роликовий балансир; 16 – зубчатий сектор

Рисунок 1.11 Різноманітні типи механізмів повороту міксерів

Кришку заливального отвору відкривають і закривають механізмом з барабанною лебідкою, встановленим на міксерному майданчику. Канат від барабана проходить через систему блоків і з'єднується з кришкою ланцюгом. Для відкриття кришки випускного носка міксера служить лебідка, встановлена на майданчику в стороні від носка і сполучена з кришкою канатом.

Механізми повороту міксера

До механізмів повороту міксера пред'являють наступні основні вимоги: висока експлуатаційна надійність, простота конструкції, зручність і безпека обслуговування і ремонту, в разі аварії самостійне повернення нахиленого міксера у вихідне положення.

За типом приводу розрізняють механізми повороту міксера з електричним приводом і з гідравлічним, який в даний час не застосовують. По конструктивному виконанню відомі гвинтові механізми, із зубчастим сектором і рейкові (рис. 1.11) [3].

Недоліки гвинтових механізмів повороту наступні:

- у випадках аварії не відбувається самоповернення нахиленого міксера у вихідне положення;
- конструкція їх складна і ремонт затруднений;
- ККД механізму низький (потрібна велика установча потужність двигунів).

Конструкція механізму із зубчастим сектором (рис. 1.11 г) досить проста, проте, не дивлячись на це, вона також не набула поширення через складність ремонту і обслуговування, порушення правильності зачеплення зубчатого сектора з шестернею унаслідок деформації кожуха міксера.

Практика експлуатації міксерів показала, що найбільш повно вказаним вимогам відповідає механізм повороту міксера рейкового типу з електроприводом (рис. 1.12).

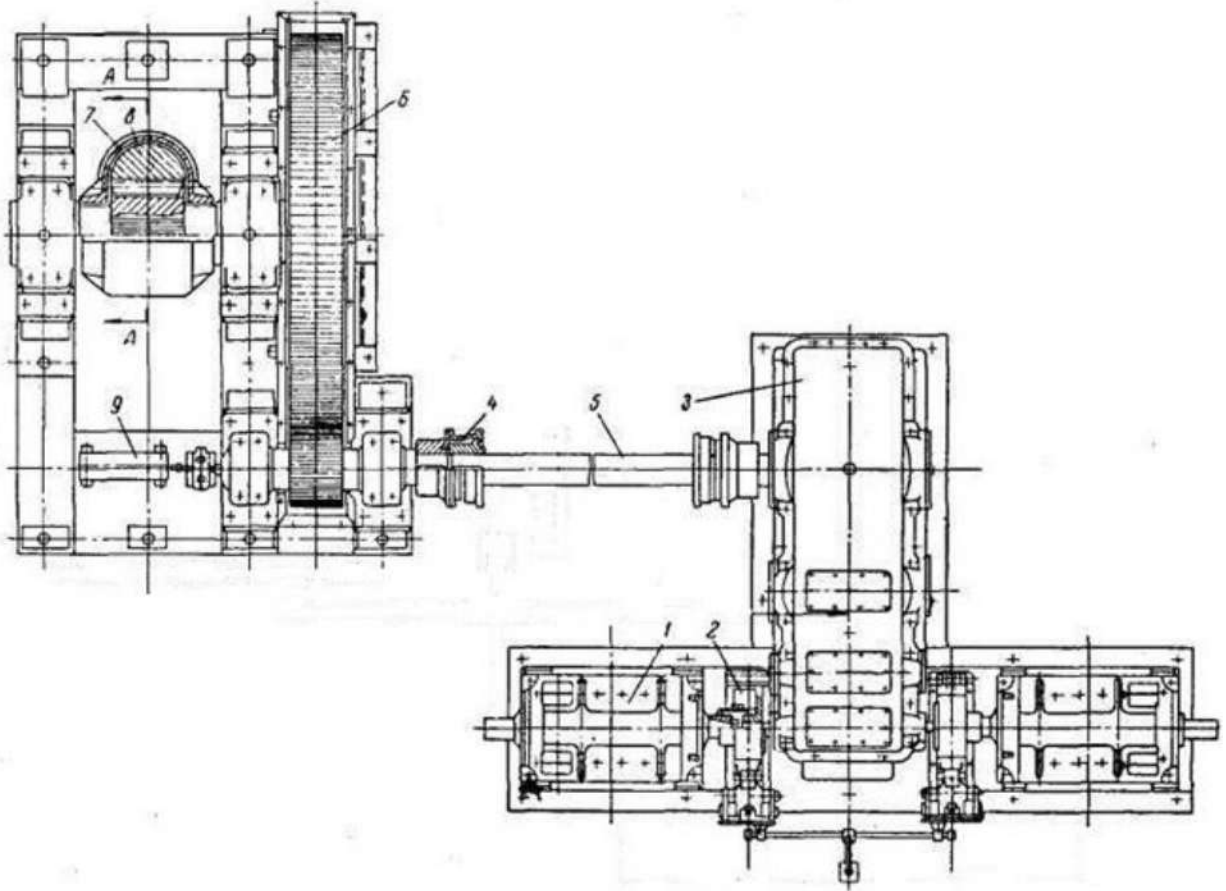


Рисунок 1.12 Механізм повороту міксеру ємністю 1300 т

Конструкція рейкового механізму повороту міксеру ємністю 1300 т показана на рис. 1.12. У механізмі два вузли приводний і рейковий, сполучені між собою проміжним валом 5 із зубчастими муфтами 4. Приводний вузол складається з двох електродвигунів 1, триступінчатого редуктора 3 і двох гальм 2; рейковий вузол – з циліндричної зубчастої передачі 6 і шестерні з рейкою, змонтованих в обоймі, що коливається, 7. Рейка 8 верхнім кінцем шарнірно сполучена з проушиною на кожусі міксеру. Рейковий вузол механізму встановлений на масивній рамі, розташованій під міксером. При обертанні приводної шестерні рейка переміщується вгору або вниз і повертає міксер на роликових опорах.

Конструкція механізму повороту дозволяє розташувати електродвигун і редуктор в стороні від міксеру, в безпечному місці, зручному для обслуговування і ремонту. Установка двох електродвигунів, що працюють на один редуктор, викликана вимогами підвищеної надійності роботи механізму:

в разі виходу з ладу одного електродвигуна роботу міксера забезпечує другий, резервний електродвигун. Привід механізму повороту забезпечений командо-апаратом 9. Змащення механізму повороту і опорно-ходової частини міксера - централізоване.

До розрахунку діючих навантажень, потужності і міцності деталей механізму повороту пред'являють підвищені вимоги, маючи на увазі забезпечення надійності і безпеки роботи такого відповідального агрегату з великим об'ємом рідкого металу, яким є міксер.

Привід механізму повороту міксера розвиває крутний момент, який дорівнює сумі наступних складових моментів: від ваги рідкого металу і порожнього міксера, від ваги рухомих роликів обійм, від сил тертя в роликів опорах і динамічного моменту в період несталого руху приводу.

2. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ТА СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1 Розрахунок навантажень, що діють на механізми стаціонарного міксера для зберігання чавуну

Універсальних аналітичних методів вирішення задачі з визначення перекидних моментів ємності довільної форми, що заповнений рідиною, не існує. Тому при розрахунках користуємось наближеним графоаналітичним методом. Сутність цього методу полягає в тому, що загальний об'єм метала розсікають на елементарні об'єми, знаходять величини об'ємів та їх центри тяжіння для різних кутів нахилу ємності. Потім, користуючись відомими з теоретичної механіки рівняннями, знаходимо центр тяжіння загального об'єму метала для даного кута нахилу.

В нашому випадку, розбивши міксер на три складові частини – циліндр, сферичні днища та носок, можна приблизно визначити об'єми метала та центри тяжіння цих частин за допомогою готових формул [3, с.108], не розбиваючи загальний об'єм, зайнятий металом, на елементарні частини.

Розрахунок виконуємо для нормального положення міксера ($\varphi = 0^\circ$).

Площу кругового сегменту, займаного металом F_u , розраховуємо за формулою (2.1),

$$F_u = \pi \cdot \frac{R^2}{360} \cdot (360 - \theta) + \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot \sin \theta, \quad (2.1)$$

де $R = 3,05$ м – внутрішній радіус міксера;

$\theta = 125,35^\circ$ – центральний кут;

$$F_u = \pi \cdot \frac{3,05^2}{360} \cdot (360 - 125,35) + \frac{1}{2} \cdot 3,05^2 \cdot \sin 125,35 = 22,83 \text{ м}^2.$$

Об'єм метала в циліндричній частині міксера V_u , розраховуємо за формулою (2.2),

$$V_u = F_u \cdot L, \quad (2.2)$$

де $L = 7,2$ м – довжина циліндричної частини міксеру;

$$V_{ц} = 22,83 \cdot 7,2 = 164,39 \text{ м}^3.$$

Об'єм метала в сферичних днищах V_{\circ} , розраховуємо за формулою (2.3),

$$V_{\circ} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot H}{2} + R^2 \cdot H \cdot \arcsin \frac{R-h}{R} + \frac{H \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot h - h^2}}{3 \cdot R^2} \cdot (3 \cdot R^3 + R^2 \cdot h - 6 \cdot R \cdot h^2 + 2 \cdot h^3), \quad (2.3)$$

де $H = 0,69$ м – висота сферичного днища;

$h = 1,65$ м – рівень заповнення міксеру;

$$V_{\circ} = \frac{\pi \cdot 3,05^2 \cdot 0,69}{2} + 3,05^2 \cdot 0,69 \cdot \arcsin \frac{3,05 - 1,65}{3,05} + \frac{0,69 \cdot \sqrt{2 \cdot 3,05 \cdot 1,65 - 1,65^2}}{3 \cdot 3,05^2} \times \\ \times (3 \cdot 3,05^3 + 3,05^2 \cdot 1,65 - 6 \cdot 3,05 \cdot 1,65^2 + 2 \cdot 1,65^3) = 17,13 \text{ м}^3.$$

Об'єм метала в носку з деяким допущенням представляємо як об'єм піраміди віднявши від неї об'єм, обмежений сегментом (рис. 2.1).

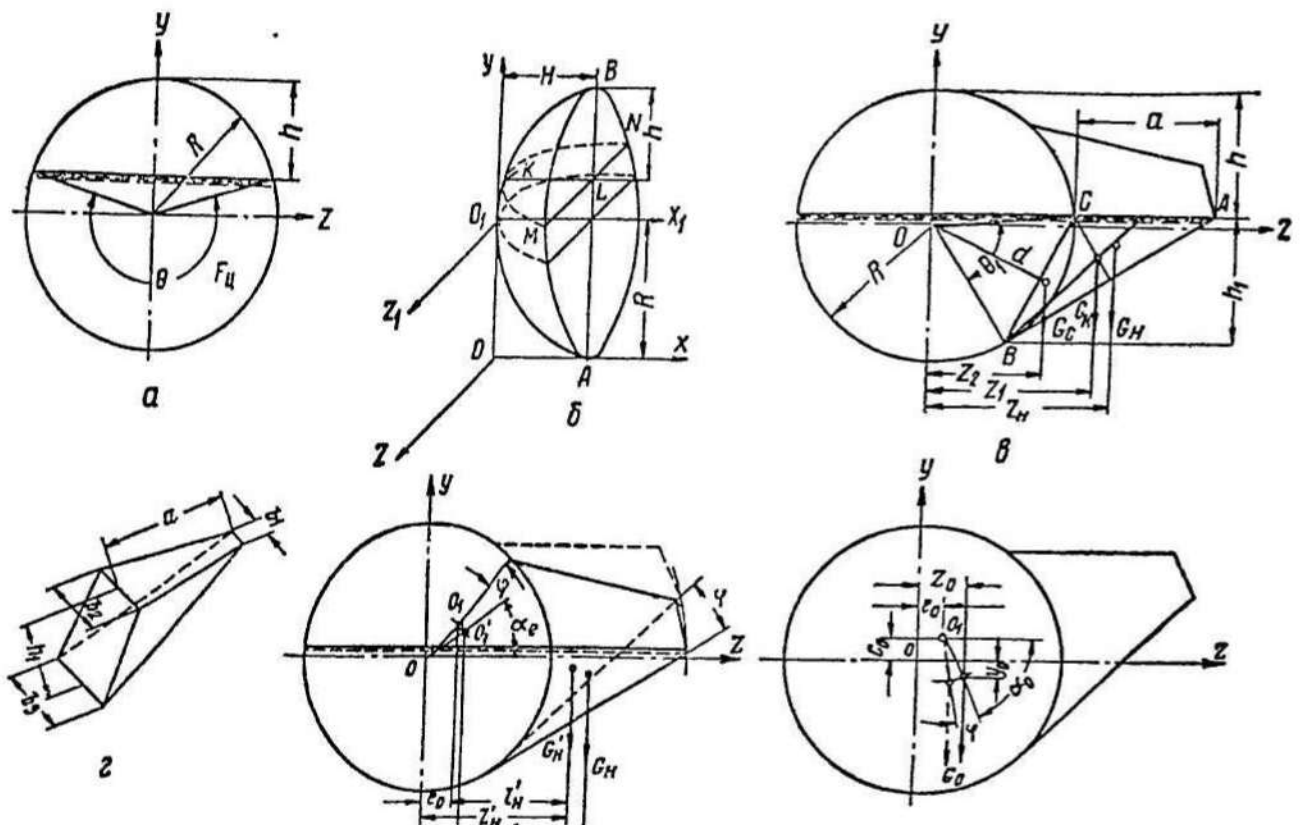


Рисунок 2.1 Схема до розрахунку перекидних моментів міксеру

Об'єм метала в носку V_n , розраховуємо за формулою (2.4),

$$V_n = V_n - V_c, \quad (2.4)$$

Об'єм піраміди V_n , розраховуємо за формулою (2.5),

$$V_n = \frac{a \cdot h_1}{2} \cdot b, \quad (2.5)$$

де $a = 5,12$ м – довжина основи трикутника ABC (рис. 2.1);

$h_1 = 2,174$ м – висота трикутника ABC;

$b = 0,52$ м – висота піраміди;

$$V_n = \frac{5,12 \cdot 2,174}{2} \cdot 0,52 = 2,89 \text{ м}^3.$$

Об'єм сферичного сегмента V_c , розраховуємо за формулою (2.6),

$$V_c = \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{\theta_2}{180} - \sin \theta_2 \right) \cdot b, \quad (2.6)$$

де $\theta_2 = 72,32^\circ$ – центральний кут кругового сегмента;

$$V_c = \frac{1}{2} \cdot 3,05^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{72,32}{180} - \sin 72,32 \right) \cdot 0,52 = 0,748 \text{ м}^3.$$

По отриманим даним розраховуємо об'єм метала в носку за формулою (2.4),

$$V_n = 2,89 - 0,748 = 2,145 \text{ м}^3.$$

Відстань від центра круга до центра тяжіння сегмента d , розраховуємо за формулою (2.7),

$$d = \frac{4}{3} \cdot \frac{R \cdot \sin^2 \frac{\theta_2}{2}}{\theta_2 - \sin \theta_2}, \quad (2.7)$$

$$d = \frac{4}{3} \cdot \frac{3,05 \cdot \sin^2 \frac{72,32}{2}}{72,32 - \sin 72,32} = 2,699 \text{ м}.$$

Визначаємо за схемою координати точок O_1 та O_2 , відповідно центрів тяжіння піраміди та сегмента: $z_1 = 3,569$ м, $z_2 = 2,668$ м.

Координату центра тяжіння рідкого метала в носку z_n , розраховуємо за формулою (2.8),

$$z_n = \frac{V_n \cdot z_1 - V_c \cdot z_2}{V_n - V_c}, \quad (2.8)$$

$$z_n = \frac{2,89 \cdot 3,569 - 0,748 \cdot 2,668}{2,89 - 0,748} = 3,883 \text{ м.}$$

Радіус-вектор між геометричною віссю міксера та його дійсною віссю обертання r_e , розраховуємо за формулою (2.9),

$$r_e = \sqrt{y_e^2 + z_e^2}, \quad (2.9)$$

де $y_e = 0,3 \text{ м}$, $z_e = 0,3 \text{ м}$ – координат дійсної вісі обертання міксера в нормальному положенні;

$$r_e = \sqrt{0,3^2 + 0,3^2} = 0,424 \text{ м.}$$

Кут між радіус-вектором r_e та горизонталлю в нормальному положенні міксера α_e , розраховуємо за формулою (2.10),

$$\alpha_e = \arctg \frac{y_e}{z_e}, \quad (2.10)$$

$$\alpha_e = \arctg \frac{0,3}{0,3} = 45 \text{ град.}$$

Плече дії ваги метала в циліндричній частині та днищах e , розраховуємо за формулою (2.11),

$$e = r_e \cdot \cos(\alpha_e - \varphi), \quad (2.11)$$

$$e = 0,424 \cdot \cos(45 - 0) = 0,300 \text{ м.}$$

Плече дії ваги метала в носку відносно вісі обертання l_n , розраховуємо за формулою (2.12),

$$l_n = z_n - e, \quad (2.12)$$

$$l_n = 3,883 - 0,299 = 3,584 \text{ м.}$$

Вага рідкого чавуну в міксері G_m , розраховуємо за формулою (2.13),

$$G_m = (V_u + V_d + V_n) \cdot \gamma, \quad (2.13)$$

де $\gamma = 7 \text{ т/м}^3$ – питома вага рідкого чавуну;

$$G_m = (164,39 + 17,13 + 2,142) \cdot 7 = 1285,7 \text{ т.}$$

Перекидний момент, створюваний вагою рідкого металу M_m , розраховуємо за формулою (2.14),

$$M_m = (V_u + V_o) \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot g \cdot e - V_n \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot g \cdot l_n, \quad (2.14)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$$\begin{aligned} M_m &= (164,39 + 17,13) \cdot 7 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,299 - 2,142 \cdot 7 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,584 = \\ &= 3209425 \text{ Нм} \end{aligned}$$

Перекидні моменти, створені вагою порожнього міксеру

Радіус-вектор центра тяжіння міксеру відносно вісі обертання r_o , розраховуємо за формулою (2.15),

$$r_o = \sqrt{(y_o - y_e)^2 + (z_o - z_e)^2}, \quad (2.15)$$

де $y_o = -0,179 \text{ м}$, $z_o = 0,343 \text{ м}$ – координати центра тяжіння порожнього міксеру;

$$r_o = \sqrt{(-0,179 - 0,3)^2 + (0,343 - 0,3)^2} = 0,48 \text{ м.}$$

Кут між радіус-вектором та горизонталлю α_o , розраховуємо за формулою (2.16),

$$\alpha_o = \text{arctg} \frac{y_o - y_e}{z_o - z_e}, \quad (2.16)$$

$$\alpha_o = \text{arctg} \frac{-0,179 - 0,3}{0,343 - 0,3} = 84,87 \text{ град.}$$

Перекидний момент, створюваний вагою порожнього міксеру M_o , розраховуємо за формулою (2.17),

$$M_o = G_o \cdot r_o \cdot \cos(\alpha_o + \varphi), \quad (2.17)$$

де $G_o = 650 \cdot 10^4 \text{ Н}$ – вага порожнього міксеру;

$$M_o = 650 \cdot 10^4 \cdot 0,48 \cdot \cos(84,87 + 0) = 278975 \text{ Нм.}$$

Момент, створюваний вагою рухомих роликів обойм

При повороті міксеру на кут φ роликів обойми переміщуються на кут

$\frac{1}{2}\varphi$. Роликову обойму розглядаємо як частину кругового сегменту з центральним кутом 2ψ .

Відстань від центра обертання міксера до центра тяжіння роликових обойм R_p , розраховуємо за формулою (2.18),

$$R_p = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{R_1^3 - R_2^3}{R_1^2 - R_2^2} \right) \cdot \frac{\sin \psi}{\psi}, \quad (2.18)$$

де $R_1 = 5,55$ м – зовнішній радіус роликової обойми;

$R_2 = 5,05$ м – внутрішній радіус роликових обойм;

$\psi = 50^\circ$ – центральний кут кругового сегмента;

$$R_p = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{5,55^3 - 5,05^3}{5,55^2 - 5,05^2} \right) \cdot \frac{\sin 50 \cdot 57,3}{50} = 3,55 \text{ м.}$$

Момент, створюваний вагою рухомих роликових обойм M_p , розраховуємо за формулою (2.19),

$$M_p = G_p \cdot R_p \cdot \cos\left(\beta + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (2.19)$$

де $G_p = 311000$ Н – вага обойм з роликами;

$\beta = 76^\circ$ – кут між радіус-вектором центра тяжіння роликової обойми та горизонтальною віссю;

$$M_p = 311000 \cdot 3,55 \cdot \cos\left(76 + \frac{0}{2}\right) = 534190 \text{ Нм.}$$

Момент від тертя в роликових опорах

Момент сил опору від тертя-ковзання в цапфах роликів обойм $M_{мп1}$, розраховуємо за формулою (2.20),

$$M_{мп1} = G_p \cdot f \cdot R_2 \cdot \frac{d_u}{D_p}, \quad (2.20)$$

де $f = 0,1$ – коефіцієнт тертя-ковзання в цапфах роликів [3];

$d_u = 0,1$ м – діаметр цапфи ролика;

$D_p = 0,5$ м – діаметр ролика;

$$M_{mp1} = 311000 \cdot 0,1 \cdot 5,05 \cdot \frac{0,1}{0,5} = 31410 \text{ Нм.}$$

Загальне навантаження, діюче на роликові опори міксера Q , розраховуємо за формулою (2.21),

$$Q = G_m + G_o + G_p, \quad (2.21)$$

$$Q = 1285,7 \cdot 1000 \cdot 9,81 + 6500000 + 311000 = 19734996 \text{ т.}$$

Коефіцієнт ξ , розраховуємо за формулою (2.22),

$$\xi = \frac{4 \cdot \sin \frac{z \cdot \alpha_1}{2}}{z \cdot \sin \alpha + \sin z \cdot \alpha_1}, \quad (2.22)$$

де $z = 12$ – загальна кількість роликів в обоймі;

$\alpha_1 = 9,25^\circ$ – кут між суміжними роликами;

$$\xi = \frac{4 \cdot \sin \frac{12 \cdot 9,25}{2}}{12 \cdot \sin 9,25 + \sin 12 \cdot 9,25} = 1,15.$$

Момент сил опору підчас кочення роликів в обоймі з урахуванням тертя в ребордах M_{mp2} , розраховуємо за формулою (2.23),

$$M_{mp2} = Q \cdot \xi \cdot k \cdot \left(1 + \frac{D_o}{D_p}\right) \cdot c, \quad (2.23)$$

де $k = 0,05 \text{ см}$ – коефіцієнт тертя-кочення роликів [3];

$D_o = 10,1 \text{ м}$ – діаметр бігової доріжки бандажа міксера;

$c = 2,5$ – коефіцієнт, враховуючий тертя в ребордах;

$$M_{mp2} = 19423996 \cdot 1,15 \cdot 0,05 \cdot 10^{-2} \cdot \left(1 + \frac{10,1}{0,5}\right) \cdot 2,5 = 601425 \text{ Нм.}$$

Момент від тертя в роликових опорах M_{mp} , розраховуємо за формулою (2.24),

$$M_{mp} = M_{mp1} + M_{mp2}, \quad (2.24)$$

$$M_{mp} = 31411 + 601424 = 632835 \text{ Нм.}$$

Загальний перекидний момент, який діє на міксер під час повороту його на злив M_{on} , розраховуємо за формулою (2.25),

$$M_{on} = M_m - M_o - M_p + M_{mp}, \quad (2.25)$$

$$M_{on} = 3209425 - 278975 - 534190 + 632835 = 3029095 \text{ Нм.}$$

Значення перекидних моментів та ваги металу в міксері аналогічно розраховуються для інших кутів повороту з кроком 3° до повного спустошення міксера. Отримані результати наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Результати розрахунків перекидних моментів та ваги металу в міксері в залежності від кута повороту

Кут повороту φ , град	Вага металу в міксері G_m , т	Момент від ваги металу M_m , Нм	Момент від ваги міксера M_o , Нм	Момент від ваги роликів обоїм M_p , Нм	Момент від тертя в роликів опорах M_{mp} , Нм	Загальний перекидний момент M_{on} , Нм
0	1285,7	3209425	278975	534190	632835	3029095
3	1285,7	3278040	115960	477920	632825	3316985
6	1188,1	3176980	-47375	421325	603650	3406680
9	1078,1	3009655	-210580	364440	570775	3426570
12	963,5	2789695	-373205	307310	536490	3392080
15	846,4	2526085	-534810	249965	501480	3312410
18	728,8	2228510	-694950	192450	466325	3197335
21	612,8	1907320	-853180	134800	431650	3057350
24	500,3	1574165	-1009075	77060	398035	2904215
27	393,5	1241545	-1162205	19270	366100	2750580
30	294,4	922190	-1312150	-38535	336475	2609350
33	204,8	627640	-1458495	-96315	309690	2492140
36	126,8	370810	-1600845	-154030	286360	2412045
39	62,7	165590	-1738810	-211635	267210	2383245
42	16,3	30000	-1872005	-269100	253315	2424420
44	0	0	-1957975	-307310	248455	2513740

2.2 Розрахунок зубчастих муфт приводу стаціонарного міксера

Муфти обчислюють за розрахунковим обертальним моментом

$$T_p = T_H K_1 K_2 K_3 \leq [T], \quad (2.26)$$

де T_H – найбільший, довгостроково діючий обертальний момент,

$H \cdot m$;

K_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь відповідальності механізму, (табл. 2.2);

K_2 – коефіцієнт, що враховує умови роботи, (табл.2.3);

K_3 – коефіцієнт кутового зміщення, (табл. 2.4);

$[T]$ – найбільший обертальний момент, що передається муфтою.

Враховуючи, що загальний перекидний момент міксера, що діє на муфту, зменшується на передатне відношення наявної відкритою зубчастої передачі, розрахунковий обертальний момент дорівнює:

$$T_P = T_H K_1 K_2 K_3 = \frac{3406680}{106,12} 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 86675 \text{ Н} \leq [T] = 100000 \text{ Н},$$

Таблиця 2.2 Коефіцієнт умов роботи муфти K_1

Ступінь відповідальності машини	K_1
Зупинка машини	1,0
Аварія машини	1,2
Аварія ряду машин	1,5
Людські жертви	1,8

Таблиця 2.3 Коефіцієнт умов роботи муфти K_2

Режим роботи механізму	K_2
Спокійна робота рівномірно навантажених механізмів	1,0
Робота нерівномірно навантажених механізмів	1,1...1,3
Важка робота з ударами нерівномірно навантажених і реверсивних механізмів	1,3...1,5

Таблиця 2.4 Коефіцієнт умов роботи муфти K_3

Кут перекоосу вала	0,25°	0,5°	1,0°	1,5°
K_3	1,0	1,25	1,50	1,75

Конпенсуюча зубчаста муфта є самоустановлювальною універсальною муфтою, має невеликі габаритні розміри і масу, відзначається значною

навантажувальною здатністю, технологічна при виготовленні. Вона складається з двох напівмуфт із зовнішніми зубцями і різномною обоймою, із двома рядами внутрішніх зубців. Напівмуфти насаджуються на кінці валів, що з'єднуються, які можуть бути циліндричними або конічними. Зубці напівмуфт і обойми мають евольвентний профіль.

Зубчаста муфта (ДСТ 5006-94) компенсує будь-які взаємні зсуви валів: осьове і радіальне до $6,5 \text{ мм}$ у залежності від переданого моменту; кутове до $1^\circ 30'$. Це можливо тому що зубчасте зачеплення її виконане з бічними зазорами і можливістю вільного осьового взаємного зсуву, а зубці напівмуфт виготовляють бочкоподібними зі сферичною поверхнею виступів. Для зниження втрат на тертя і збільшення довговічності зубців муфта заповнюється оливою. Муфти вибирають по максимальному розрахунковому моменту і найбільшому діаметру кінців валів, що з'єднуються.

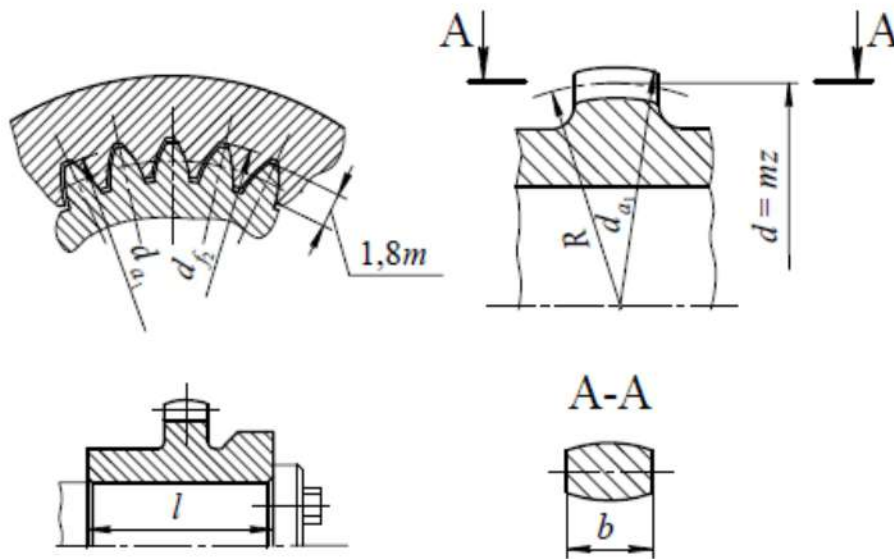


Рисунок 2.2 Профіль зубів зубчастої муфти

Для розрахунку на міцність елементів зубчастих муфт необхідно знати значення зазорів між зубцями при перекосі осей напівмуфт і обойми. У зв'язку з труднощістю їхнього визначення використовують умовний розрахунок. При цьому вважають, що навантаження розподіляється рівномірно між усіма зубцями, а зубці стикаються по всій довжині і висоті. Тоді напруження змінання при деформації визначаються

$$\sigma_{зм} = \frac{T_p}{0,9 m^2 z^2 b} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (2.27)$$

де T_p – розрахунковий момент, $H \cdot мм$;

m – модуль зачеплення, $мм$;

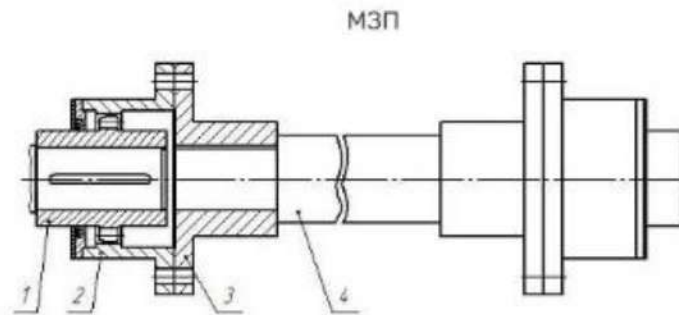
z – кількість зубців напівмуфти;

b – довжина зубця, $мм$;

$[\sigma]_{зм}$ – допустимі напруження змінання, $МПа$.

Для стандартних муфт $[\sigma]_{зм} = 12 \dots 15 МПа$.

$$\sigma_{зм} = \frac{T_p}{0,9 m^2 z^2 b} = \frac{86675}{0,9 \cdot 8^2 \cdot 54^2 \cdot 0,018} = 13,6 \leq [\sigma]_{зм}$$



1 – втулка, 2- обойма фланцева, 3- напівмуфта, 4 - проміжний вал

Рисунок 2.3 Муфта зубчаста з проміжним валом

Обираємо муфту типу 1 (з циліндричними отворами для коротких валів) з номінальним (найбільшим) обертальним моментом 100 кН·м, діаметрами посадкових отворів у втулках 250 мм: МЗП-12-100000-250 1-250.

2.3 Розрахунок привода механізму нахилу стаціонарного міксера

Механізм нахилу міксера (рис. 2.4) складає з електродвигуна Д812 постійного струму 1 з послідовною обмоткою збудження, гальмів ТКП-700 (шунтових) 2, трьохступінчатого редуктора ЦТ2-190 3, зубчатих муфт 4, проміжного вала 5, відкритої зубчатої передачі 6, рейкової вал шестерні 7 та рейки 8. Для підвищення надійності механізму нахилу його схемою передбачено два електродвигуни.

Кінематична схема механізму нахилу міксера наведена на рисунку 4.1.

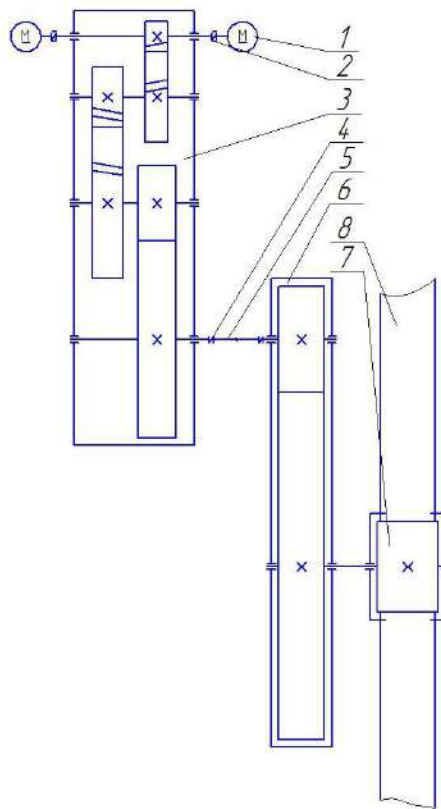


Рисунок 2.4 Кінематична схема механізму нахилу міксера

Враховуючи те, що двигун механізму повороту міксера працює в повторно-короткочасному режимі роботи (розгін –гальмування-пауза), розрахунок потужності електродвигуна виконуємо по еквівалентних моментах [3, с.120].

З таблиці перекидних моментів (табл. 2.1) ми бачимо, що найбільші перекидні моменти діють на привід міксера під час заповнення перших трьох ковшів. Тому подальші розрахунки виконуємо для циклу, який складається з наповнення трьох чавуновозних ковшів та повернення міксера в вихідне положення.

З таблиці 2.1 ми бачимо, що заповнення першого ковша відбувається при куті $\varphi_2 = 6^\circ$, після чого міксер повертають в напрямі вихідного положення до кута $\varphi'_2 = 4^\circ$ для виключення можливості розливу рідкого метала під час заміни чавуновозного ковша. Початок злива метала відбувається при куті

повороту $\varphi_1 = 4^\circ$. Після проходження состава з ковшами заповнюють другий ковш. Поворот міксеру відбувається до кута $\varphi_3 = 9^\circ$, після чого міксер повертають в напрямі вихідного положення до кута $\varphi''_3 = 7^\circ$. Початок злива металу в другий ковш відбувається при куті повороту $\varphi'_3 = 7^\circ$. Після проходження состава з ковшами заповнюють другий ковш. Поворот міксеру відбувається до кута $\varphi_4 = 12^\circ$. Початок злива металу в третій ковш відбувається при куті повороту $\varphi'_4 = 10^\circ$. Після чого міксер повертають в вихідне положення $\varphi_5 = 0^\circ$.

Виконуємо розрахунки загальних перекидних моментів для циклу заповнення трьох ковшів.

Загальне передаточне число механізму i_o , розраховуємо за формулою (2.28),

$$i_o = i_s \cdot \frac{h_p}{r_1}, \quad (2.28)$$

де $i_s = 317,6$ – передаточне число зубчатих пар;

$h_p = 5,25$ мм – середнє значення плеча сили, діючої вздовж рейки;

$r_1 = 0,325$ мм – радіус рейкової вал-шестерні по ділільному колу;

$$i_o = 317,6 \cdot \frac{5,25}{0,325} = 5130.$$

Коефіцієнт корисної дії механізму $\eta = 0,6$, розраховуємо за формулою (2.29),

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad (2.29)$$

де $\eta_1 = 0,95$ – ККД рейкової коробки;

$\eta_2 = 0,8$ – ККД відкритої передачі;

$\eta_3 = 0,8$ – ККД редуктора;

$$\eta = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 0,85 = 0,6.$$

Статичні моменти, приведені до валу двигуна M_c , розраховуємо за формулою (2.30),

$$M_{ci} = \frac{M_{oni}}{i_o \cdot \eta}, \quad (2.30)$$

$$M_{c1} = \frac{3029095}{5130 \cdot 0,6} = 984 \text{ Нм.}$$

Розрахунок статичних моментів для інших кутів повороту виконуємо аналогічно.

Результати розрахунку загальних перекидних моментів та статичних моментів для циклу заповнення трьох ковшів, приведених до валу електродвигуна наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Результати розрахунку перекидних моментів для циклу заповнення двох ковшів

Кут повороту φ , град	Момент від ваги метала M_m , Нм	Момент від ваги міксеру M_o , Нм	Момент від ваги роликів обойм M_p , Нм	Момент від тертя в роликів опорах M_{mp} , Нм	Загальний перекидний момент M_{on} , Нм	Статичні моменти, приведені до валу двигуна M_c , Нм
1	2	3	4	5	6	7
0	3209425	278975	534190	632835	3029095	984
1	3236405	224700	515470	632835	3129070	1017
2	3259495	170360	496715	632835	3225255	1048
3	3278040	115960	477920	632835	3316995	1078
4	3256675	61530	459090	624550	3360605	1092
5	3221175	7080	440225	614330	3388200	1101
6	3176980	-47375	421325	603650	3406680	1107
6	3176980	-47375	421325	603650	2199380	712
5	3206205	7080	440225	603410	2155490	700
4	3150460	61530	459090	603250	2026590	658
4	3150460	61530	459090	603250	3233090	1050
5	3206205	7080	440225	603410	3362310	1092
6	3176980	-47375	421325	603650	3406680	1107
7	3127495	-101810	402395	592890	3419800	1111
8	3078390	-156220	383435	582515	3433690	1116
9	3009655	-210580	364440	570775	3426570	1113
9	3009655	-210580	364440	570775	2285020	742
8	3045007	-156220	383435	570800	2246992	730
7	3034280	-101810	402395	570685	2163010	703
7	3034280	-101810	402395	570685	3304380	1074
8	3045010	-156220	383435	570800	3388595	1101
9	3009655	-210580	364440	570775	3426570	1113
10	2942130	-264875	345425	559480	3421060	1111
11	2868175	-319090	326380	548015	3408900	1108
12	2789700	-373205	307310	536490	3392085	1102

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7
12	2789700	-373205	307310	536490	2319105	753
11	2797380	-319090	326380	536755	2253335	732
10	2828865	-264875	345425	536815	2211500	718
9	2789820	-210580	364440	537220	2098740	682
8	2812240	-156220	383435	536825	2048200	665
7	2777000	-101810	402395	536930	1939485	630
6	2782270	-47375	421325	536920	1871400	608
5	2761995	7080	440225	536890	1777800	578
4	2738840	61530	459090	536850	1681370	546
3	2713630	115960	477920	536870	1582880	514
2	2672270	170360	496715	536850	1468345	477
1	2655255	224700	515470	536835	1378250	448
0	2622880	278977	534190	536835	1272878	414

Сумарні моменти на валу двигуна визначаємо як суму статичних та динамічних моментів.

Для визначення динамічних моментів приймаємо наступні дані з практики:

- 1) кількість включень двигуна в процесі злива метала в один ківш дорівнює в середньому 5;
- 2) швидкість зливу метала 20 т/хв;
- 3) час пуску механізму $t_n = 9,4$ сек, час гальмування $t_m = 8$ сек.

Середню сталу кутову швидкість обертання міксера w_m , розраховуємо за формулою (2.31),

$$w_m = \frac{\pi \cdot n_{\text{де}}}{30 \cdot i_o}, \quad (2.31)$$

де $n_{\text{де}} = 475$ об\хв – частота обертання валу двигуна;

$$w_m = \frac{\pi \cdot 475}{30 \cdot 5130} = 0,0097 \text{ рад/с.}$$

Кутове прискорення міксера під час пуску E_n , розраховуємо за формулою (2.32),

$$E_n = \frac{w_m}{t_n}, \quad (2.32)$$

$$E_n = \frac{0,0097}{9,4} = 0,001 \text{ рад/сек}^2.$$

Кутове прискорення міксеру при гальмуванні E_m , розраховуємо за формулою (2.33),

$$E_m = \frac{w_m}{t_m}, \quad (2.33)$$

$$E_m = \frac{0,0097}{8} = 0,0012 \text{ рад/сек}^2.$$

Кут повороту міксеру під час запуску φ_n , розраховуємо за формулою (2.34),

$$\varphi_n = \frac{E_n \cdot t_n^2}{2}, \quad (2.34)$$

$$\varphi_n = \frac{0,001 \cdot 9,4^2}{2} = 0,04418 \text{ рад.}$$

Кут повороту міксеру під час гальмування φ_m , розраховуємо за формулою (2.35),

$$\varphi_m = \frac{E_m \cdot t_m^2}{2}, \quad (2.35)$$

$$\varphi_m = \frac{0,0012 \cdot 8^2}{2} = 0,0384 \text{ рад.}$$

Час пуску двигуна при повороті міксеру від $\varphi_0 = 0^\circ$ до $\varphi_1 = 4^\circ$ t_{n1} , розраховуємо з умов (2.36) та (2.37),

$$\frac{E_n \cdot t_{n1}^2}{2} + \frac{E_m \cdot t_{m1}^2}{2} = \varphi, \quad (2.36)$$

$$E_n \cdot t_{n1} = E_m \cdot t_{m1}, \Rightarrow t_{m1} = \frac{E_n \cdot t_{n1}}{E_m}, \quad (2.37)$$

Підставивши 2.37 в 2.36 отримуємо рівняння (2.38),

$$E_n \cdot t_{n1}^2 + E_m \cdot \left(\frac{E_n \cdot t_{n1}}{E_m} \right)^2 = 2 \cdot \varphi, \quad (2.38)$$

Тоді,

$$t_{n1} = \sqrt{\frac{2 \cdot \varphi}{E_n + \frac{E_n^2}{E_m}}}, \quad (2.39)$$

$$t_{n1} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,00698}{0,001 + \frac{0,001^2}{0,0012}}} = 8,72 \text{ с.}$$

Тоді, з умови (2.39) час гальмування t_{m1} :

$$t_{m1} = \frac{0,001 \cdot 8,72}{0,0012} = 7,28 \text{ с.}$$

Час повороту міксера до початку зливу металу t_1 , розраховуємо за формулою (2.40),

$$t_1 = t_{n1} + t_{m1}, \quad (2.40)$$

$$t_1 = 8,72 + 7,28 = 16 \text{ с.}$$

Час пуску двигуна при повороті міксера на $\varphi = 0,5^\circ$ t_{n2} , розраховуємо за формулою (2.39),

$$t_{n2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,008726}{0,001 + \frac{0,001^2}{0,0012}}} = 3,08 \text{ с.}$$

Час гальмування двигуна t_{m2} , розраховуємо за формулою (2.40),

$$t_{m2} = \frac{0,001 \cdot 3,08}{0,0012} = 2,57 \text{ с.}$$

Час роботи двигуна при повороті на $\varphi = 0,5^\circ$ $t_{e.k.}$, розраховуємо за формулою (2.41),

$$t_{e.k.} = t_{n2} + t_{m2}, \quad (2.41)$$

$$t_{e.k.} = 3,08 + 2,57 = 5,65 \text{ с.}$$

Час роботи двигуна при повороті міксера від $\varphi_1 = 4^\circ$ до $\varphi_2 = 6^\circ$ $t_{1,2}$, розраховуємо за формулою (2.42),

$$t_{1,2} = 4 \cdot t_{e.k.}, \quad (2.42)$$

$$t_{1,2} = 4 \cdot 5,65 = 22,6 \text{ с.}$$

Повний час роботи приводу за період наповнення першого ковша $t_{к1}$, розраховуємо за формулою (2.43),

$$t_{к1} = t_1 + t_{1,2}, \quad (2.43)$$

$$t_{к1} = 16 + 22,6 = 38,6 \text{ с.}$$

Час зливу металу в ківш $t_{сл}$, розраховуємо за формулою (2.44),

$$t_{сл} = \frac{Q_{к}}{V_{сл}}, \quad (2.44)$$

де $Q_{к} = 100$ – ємність чавуновозного ковша;

$V_{сл} = 20 \text{ т/хв}$ – швидкість зливу металу з міксера;

$$t_{сл} = \frac{100}{20} = 5 \text{ хв} = 300 \text{ с.}$$

Час пауз між кожним включенням t_o , розраховуємо за формулою (2.45),

$$t_o = \frac{t_{сл}}{5}, \quad (2.45)$$

$$t_o = \frac{300}{5} = 60 \text{ с.}$$

Час пуску двигуна при повороті міксера в положення очікування $\varphi'_2 = 4^\circ$ на t_{n3} , розраховуємо за формулою (2.12),

$$t_{n3} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0349}{0,001 + \frac{0,001^2}{0,0012}}} = 6,2 \text{ с.}$$

Час гальмування двигуна при повороті міксера в положення очікування t_{m3} , розраховуємо за формулою (2.10),

$$t_{m3} = \frac{0,001 \cdot 6,2}{0,0012} = 5,2 \text{ с.}$$

Час повернення міксера в положення очікування t_g , розраховуємо за формулою (2.46),

$$t_g = t_{n3} + t_{m3}, \quad (2.46)$$

$$t_g = 6,2 + 5,2 = 11,4 \text{ с.}$$

Пауза під час заміни чавуновозного ковша $t'_o = 30 \text{ с.}$

Далі виконуємо розрахунок для заповнення другого ковша.

Час пуску двигуна при повороті міксера від $\varphi'_2 = 4^\circ$ до $\varphi'_3 = 7^\circ$ t_{n4} , розраховуємо за формулою (2.39),

$$t_{n4} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0524}{0,001 + \frac{0,001^2}{0,0012}}} = 7,55 \text{ с.}$$

Час гальмування двигуна t_{m4} , розраховуємо за формулою (2.40),

$$t_{m4} = \frac{0,001 \cdot 7,55}{0,0012} = 6,3 \text{ с.}$$

Час повороту міксера до початку зливу металу в другий квш $\varphi'_3 = 7^\circ$ t'_1 , розраховуємо за формулою (2.47),

$$t'_1 = t_{n4} + t_{m4}, \quad (2.47)$$

$$t'_1 = 7,55 + 6,3 = 13,85 \text{ с.}$$

Час роботи двигуна при повороті міксера від $\varphi'_3 = 7^\circ$ до $\varphi_3 = 9^\circ$ $t'_{1,2} = t_{1,2} = 22,6 \text{ с.}$

Час кожного включення $t_{\text{в.к.2}} = t_{\text{в.к}} = 5,65 \text{ с.}$

Повний час роботи приводу за період наповнення другого ковша $t_{\text{к2}}$, розраховуємо за формулою (2.48),

$$t_{\text{к2}} = t'_1 + t'_{1,2}, \quad (2.48)$$

$$t_{\text{к2}} = 13,85 + 22,6 = 36,45 \text{ с.}$$

Час пуску двигуна при повороті міксера в положення очікування $\varphi''_3 = 7^\circ$ на $t_{n5} = t_{n3} = 6,2 \text{ с.}$

Час гальмування двигуна при повороті міксера в положення очікування $t_{m5} = t_{m3} = 5,2 \text{ с.}$

Час повернення міксера в положення очікування $\varphi''_3 = 7^\circ$ $t_{\text{в2}} = t_{\text{в}} = 11,4 \text{ с.}$

Далі виконуємо розрахунок для заповнення третього ковша.

Час пуску двигуна при повороті міксера від $\varphi''_3 = 7^\circ$ до $\varphi'_4 = 10^\circ$ $t_{n6} = t_{n6} = 7,55 \text{ с.}$

Час гальмування двигуна при повороті міксера від $\varphi''_3 = 7^\circ$ до $\varphi'_4 = 10^\circ$

$$t_{m6} = t_{m4} = 6,3 \text{ с.}$$

Час повороту міксера до початку зливу метала в другий ковш $\varphi'_4 = 10^\circ$

$$t''_1 = t'_1 = 13,85 \text{ с.}$$

Час роботи двигуна при повороті міксера від $\varphi'_4 = 10^\circ$ до $\varphi_4 = 12^\circ$

$$t''_{1,2} = t_{1,2} = 22,6 \text{ с.}$$

Час кожного включення $t_{\text{в.к.3}} = t_{\text{в.к}} = 5,65 \text{ с.}$

Повний час роботи приводу за період наповнення третього ковша

$$t_{\text{к3}} = t_{\text{к2}} = 36,45 \text{ с.}$$

Час пуску двигуна при повороті міксера в вихідне положення $\varphi_0 = 0^\circ$ на

$$t_n = 9,4 \text{ с.}$$

Час гальмування двигуна при повороті міксера в вихідне положення

$$\varphi_0 = 0^\circ \quad t_m = 8 \text{ с.}$$

Час повернення міксера в вихідне положення при номінальній швидкості t_y , розраховуємо за формулою (2.49),

$$t_y = \frac{\varphi_4 - (\varphi_n + \varphi_m)}{w_M}, \quad (2.49)$$

$$t_y = \frac{0,2094 - (0,04418 + 0,0384)}{0,0097} = 13 \text{ с.}$$

Час повернення міксера в вихідне положення $t_{\text{в3}}$, розраховуємо за формулою (2.50),

$$t_{\text{в3}} = t_n + t_y + t_m, \quad (2.50)$$

$$t_{\text{в3}} = 9,4 + 13 + 8 = 30,4 \text{ с.}$$

Момент інерції деталей що обертаються (рис. 4.4) приведений до валу двигуна $I_{\text{пр.вр.}}$, розраховуємо за формулою (2.24),

$$I_{\text{пр.вр.}} = 2 \cdot I_A + 2 \cdot I_T + I_1 + \frac{I_2 + I_3}{i_1^2} + \frac{I_4 + I_5}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \frac{I_6 + 2 \cdot I_7 + I_8}{i_1^2 \cdot i_2^2 \cdot i_3^2} + \frac{I_9 + I_{10}}{i_1^2 \cdot i_2^2 \cdot i_3^2 \cdot i_4^2}, \quad (2.51)$$

де $I_A = 7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції якоря електродвигуна;

$I_T = 14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції гальмівного шківів;

$I_1 = 0,811 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції вал-шестерні I ступені редуктора;

$I_2 = 4,95 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції зубчатого колеса I ступені редуктора;

$I_3 = 1,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції вал-шестерні II ступені редуктора;

$I_4 = 55,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції зубчатого колеса II ступені редуктора;

$I_5 = 3,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції вал-шестерні III ступені редуктора;

$I_6 = 458 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції зубчатого колеса III ступені

редуктора;

$I_7 = 13,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції зубчатої муфти;

$I_8 = 42,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції вал-шестерні відкритої передачі;

$I_9 = 5590 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції зубчатого колеса відкритої передачі;

$I_{10} = 105 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції рейкової вал-шестерні;

$$I_{np.sp.} = 2 \cdot 7 + 2 \cdot 14 + 0,811 + \frac{4,95 + 1,25}{2,846^2} + \frac{55,3 + 3,7}{2,846^2 \cdot 4^2} + \frac{458 + 2 \cdot 13,5 + 42,5}{2,846^2 \cdot 4^2 \cdot 4,55^2} + \frac{5590 + 105}{2,846^2 \cdot 4^2 \cdot 4,55^2 \cdot 6,125^2} = 44,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

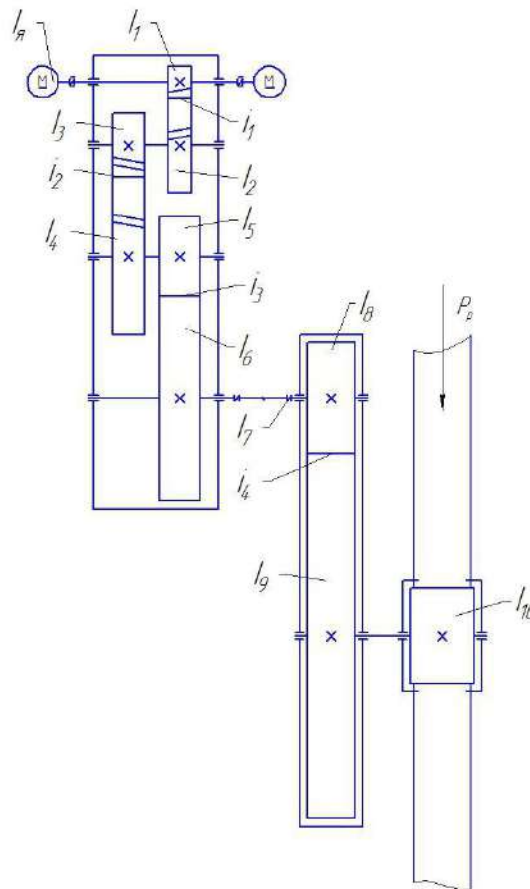


Рисунок 2.5 Моменти інерції що діють у приводі міксеру

Швидкість переміщення рейки V_p , розраховуємо за формулою (2.52),

$$V_p = \omega_{pm} \cdot r_{pm}, \quad (2.53)$$

де $\omega_{pm} = 0,157$ рад/с – кутова швидкість рейкової вал-шестерні;

$r_{pm} = 0,322$ м – радіус рейкової вал-шестерні;

$$V_p = 0,157 \cdot 0,322 = 0,05 \text{ м/с.}$$

Момент інерції поступово рухаючихся мас приведений до валу двигуна $I_{np.noc.}$, розраховуємо за формулою (2.54),

$$I_{np.noc.} = \frac{365 \cdot P_{p.cp} \cdot V_p^2}{n_{\partial e}^2 \cdot \eta \cdot g \cdot t_3^2}, \quad (2.54)$$

де $P_{p.cp} = 557736$ Н – середнє значення зусилля в рейці;

$g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

$$I_{np.noc.} = \frac{365 \cdot 557736 \cdot 0,05^2}{475^2 \cdot 0,6 \cdot 9,81 \cdot 317,6^2} = 0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Загальний момент інерції приведений до валу двигуна I_{np} , розраховуємо за формулою (2.55),

$$I_{np} = I_{np.sp.} + I_{np.noc.}, \quad (2.55)$$

$$I_{np} = 44,3 + 0,01 = 44,31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Кутова швидкість вала двигуна $w_{\partial e}$, розраховуємо за формулою (2.56),

$$w_{\partial e} = \frac{\pi \cdot n_{\partial e}}{30}, \quad (2.56)$$

$$w_{\partial e} = \frac{\pi \cdot 475}{30} = 49,72 \text{ рад/с.}$$

Динамічний момент підчас пуску $M_{дин.п}$, розраховуємо за формулою (2.57),

$$M_{дин.п} = \frac{I_{np} \cdot w_{\partial e}}{t_n}, \quad (2.57)$$

$$M_{дин} = \frac{44,31 \cdot 49,72}{9,4} = 235 \text{ Нм.}$$

Динамічний момент підчас гальмування $M_{дин.т}$, розраховуємо за формулою (2.58),

$$M_{\text{дин.м}} = \frac{I_{\text{нр}} \cdot w_{\text{дв}}}{t_m}, \quad (2.58)$$

$$M_{\text{дин.м}} = \frac{44,31 \cdot 49,72}{8} = 275 \text{ Нм.}$$

По отриманим значенням часу роботи та пауз приводу виконуємо побудову графіків швидкостей $w = f(t)$ та графік зміни кута повороту в залежності від часу $\varphi = f(t)$, по значенням динамічних моментів виконуємо побудову графіку динамічних моментів підчас розгону та гальмування $M_{\text{дин}} = f(t)$ (рис. 2.6).

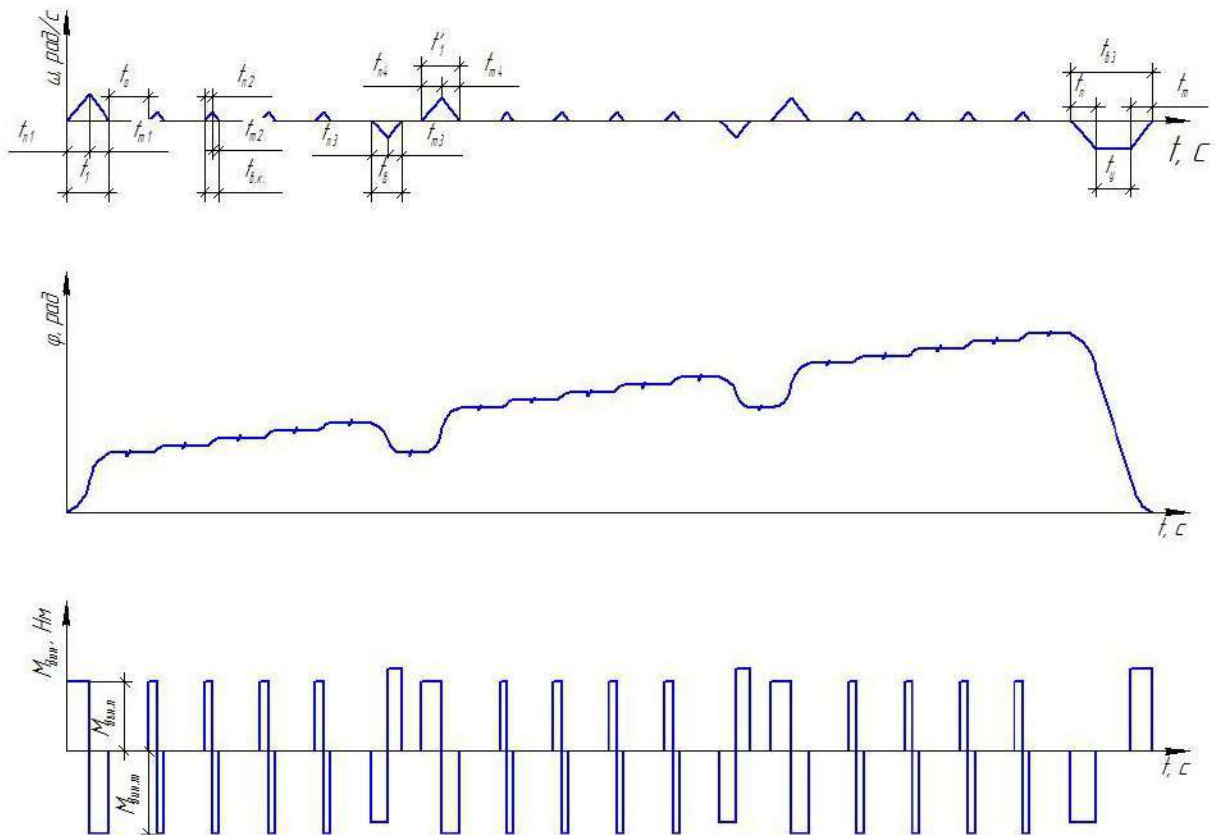


Рисунок 2.6 Графік швидкостей $w = f(t)$, графік зміни кута повороту в залежності від часу $\varphi = f(t)$ та графік динамічних моментів $M_{\text{дин}} = f(t)$

За допомогою отриманого графіка $\varphi = f(t)$ перетворюємо залежність $M_c = f(\varphi)$, до функції $M_c = f(t)$ (рис. 2.7). Отриманий графік $M_c = f(t)$ для

спрощення розрахунків розбиваємо на прості геометричні фігури та виконуємо додавання графіків $M_{дин} = f(t)$ та $M_c = f(t)$ (рис. 2.7).

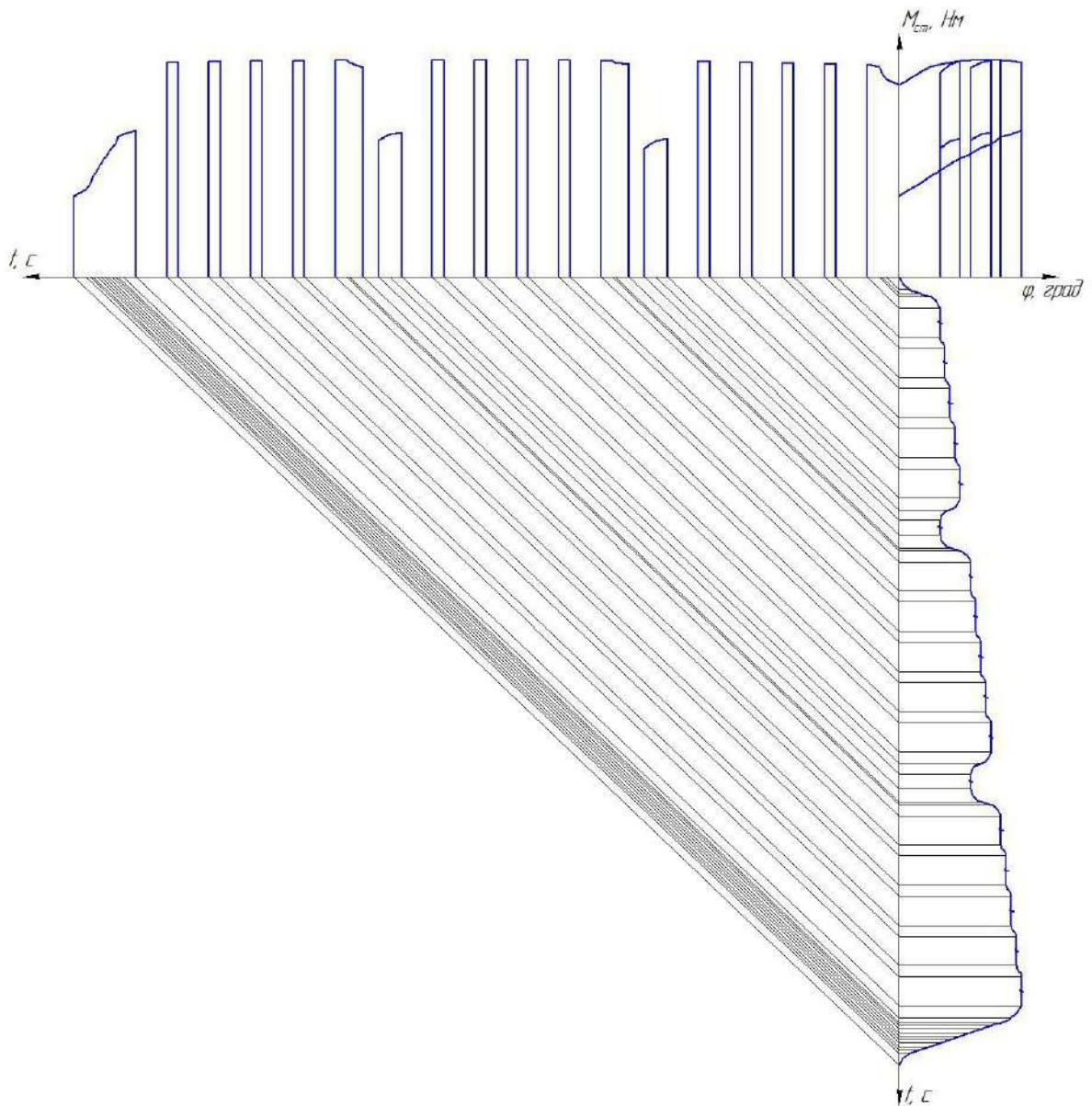


Рисунок 2.7 Перевод залежності $M_c = f(\varphi)$ до залежності $M_c = f(t)$

Сумарний момент, діючий на вал двигуна $M_{сум}$, розраховуємо за формулою (2.58),

$$M_{сум.1} = M_{с.1} \pm M_{дин.1}, \quad (2.58)$$

$$M_{сум.1} = 1092 + 235 = 1327 \text{ Нм.}$$

Таблиця 2.3 Результати розрахунку перекидних моментів для циклу заповнення двох ковшів

Статичний момент M_c , Нм	Динамічний момент $M_{дин}$, Нм	Сумарний момент $M_{сум}$, Нм	Час дії навантаження t_i , с
1092	235	1327	8,72
1092	275	817	7,28
1092	235	1327	3,08
1092	275	817	2,57
1101	235	1336	3,08
1101	275	826	2,57
1101	235	1336	3,08
1101	275	826	2,57
1107	235	1342	3,08
1107	275	832	2,57
712	235	477	6,2
712	275	987	5,2
1111	235	1346	7,55
1111	275	836	6,3
1111	235	1346	3,08
1111	275	836	2,57
1116	235	1351	3,08
1116	275	841	2,57
1116	235	1351	3,08
1116	275	841	2,57
1113	235	1348	3,08
1113	275	838	2,57
742	235	507	6,2
742	275	1017	5,2
1113	235	1348	7,55
1113	275	838	6,3
1111	235	1346	3,08
1111	275	836	2,57
1108	235	1343	3,08
1108	275	833	2,57
1108	235	1343	3,08
1108	275	833	2,57
1102	235	1337	3,08
1102	275	827	2,57
		465	9,4
		575	13
		733	8

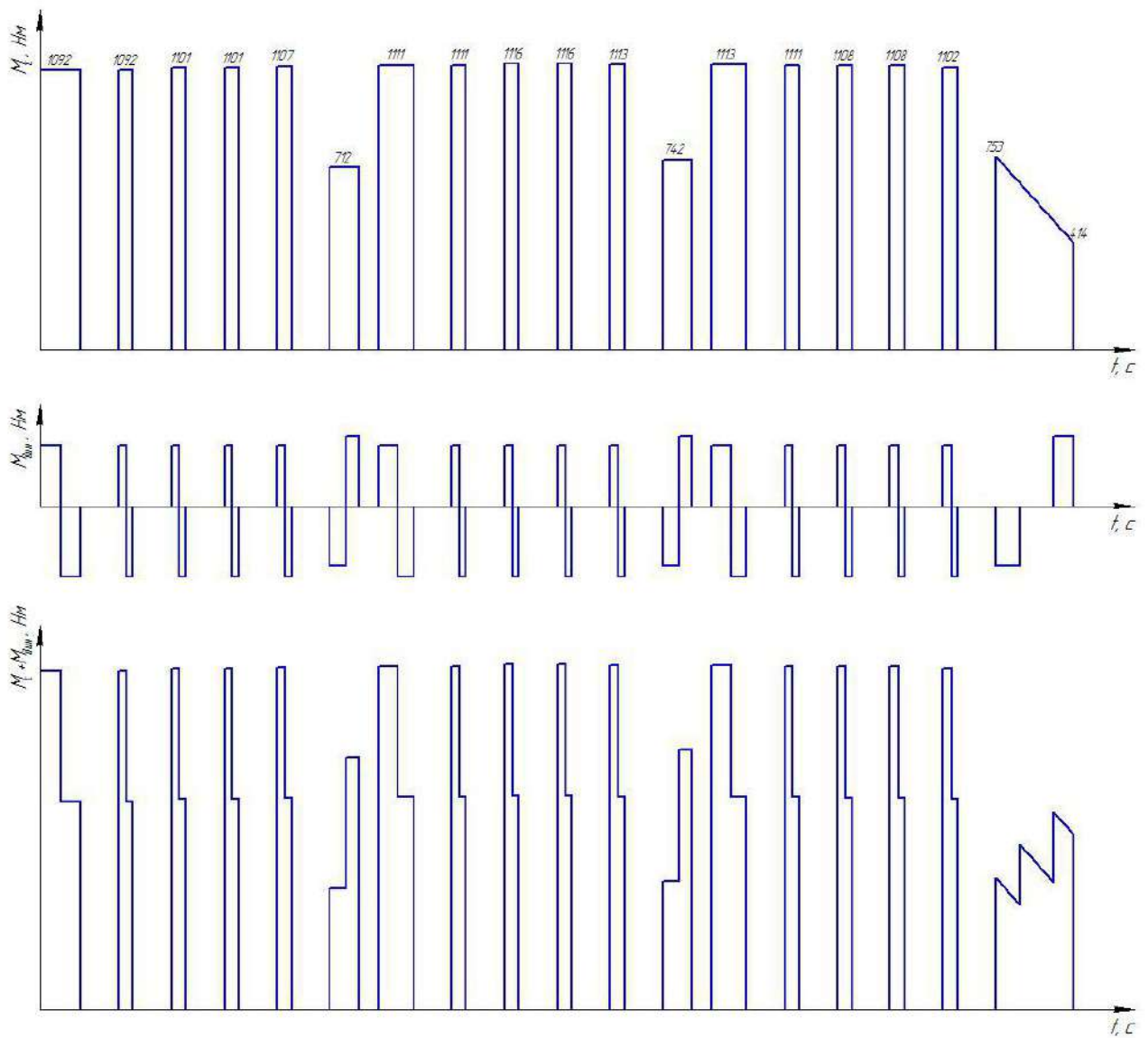


Рисунок 2.8 Графік сумарного моменту

Еквівалентний момент електродвигуна в робочій період M_E , Нм, розраховуємо за формулою (2.59),

$$M_E = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{\sum t_y + 0,75 \cdot (t_n + t_n)}}, \quad (2.59)$$

де $\sum t_y = 13$ с – час сталого руху привода за цикл;

$t_n = 151,7$ с – час нестійкого руху привода за цикл;

$t_n = 960$ с – час пауз привода за цикл;

0,75 – коефіцієнт, що враховує погіршення умов охолодження під час нестійкого руху привода;

$$M_E = \sqrt{\frac{1327^2 \cdot 8,72 + 817^2 \cdot 7,28 + \dots + 733^2 \cdot 8}{13 + 0,75 \cdot (151,7 + 960)}} = 450 \text{ Нм.}$$

Потужність електродвигуна $N_{\text{дв}}$, розраховуємо за формулою (2.60),

$$N_{\text{дв}} = \frac{M_E \cdot n_{\text{дв}}}{9550}, \quad (2.60)$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{450 \cdot 475}{9550} = 22,5 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт перевантаження двигуна λ , розраховуємо за формулою (2.61),

$$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} \leq [\lambda], \quad (2.61)$$

де $M_{\text{max}} = 1351 \text{ Нм}$ – максимальний крутний момент, що долає двигун;

$$M_{\text{ном}} = \frac{9550 \cdot N_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}} = \frac{9550 \cdot 75}{475} = 1508 \text{ Нм} - \text{номінальний крутний момент}$$

двигуна;

$[\lambda] = 4$ - допустимий коефіцієнт перевантаження двигуна [7];

$$\lambda = \frac{1351}{1508} = 0,89 \leq [\lambda] = 4$$

Умова виконується.

Тривалість включення двигуна за цикл $ПВ$, розраховуємо за формулою (2.62),

$$ПВ = \frac{t_y + t_n}{t_y + t_n + t_n} \cdot 100, \quad (2.62)$$

$$ПВ = \frac{13 + 151,7}{13 + 151,7 + 960} \cdot 100 = 15 \text{ \%}.$$

Перевірка двигуна на нагрів виконується за умовою (2.63),

$$M_E \leq M_{\text{ном}} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (2.63)$$

$$450 \leq 1508 \cdot \sqrt{0,15} = 584$$

Умова виконується.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕНСУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ МУФТ З ПРОМІЖНИМ ВАЛОМ

3.1 Дослідження роботи зубчастих муфт в умовах порушення вимог центрування валів стаціонарного міксера

Для забезпечення нормальної роботи привода прокатного стана важливе значення має точність центрування редуктора з приводом що може знизити споживання енергії приблизно на 5%.

Порушення центрування, як правило, призводить до виникнення вібрації, збільшення напружень в сполучних муфтах і підшипниках. Недостатня центрування на 50 ... 70% знижує термін служби ущільнень і підшипників.

Як показують дослідження 50% всіх поломок машинного обладнання безпосередньо пов'язані з поганою центровкою і за деякими спостереженнями 30-90% машин працюють за межами рекомендованих допусків.

Неспіввісність має місце, коли лінії осей обертання двох валів не збігаються (рисунок 3.1).

Таким чином існують наступні загрози та наслідки перекосів валів, що впливають на довговічність приводу:

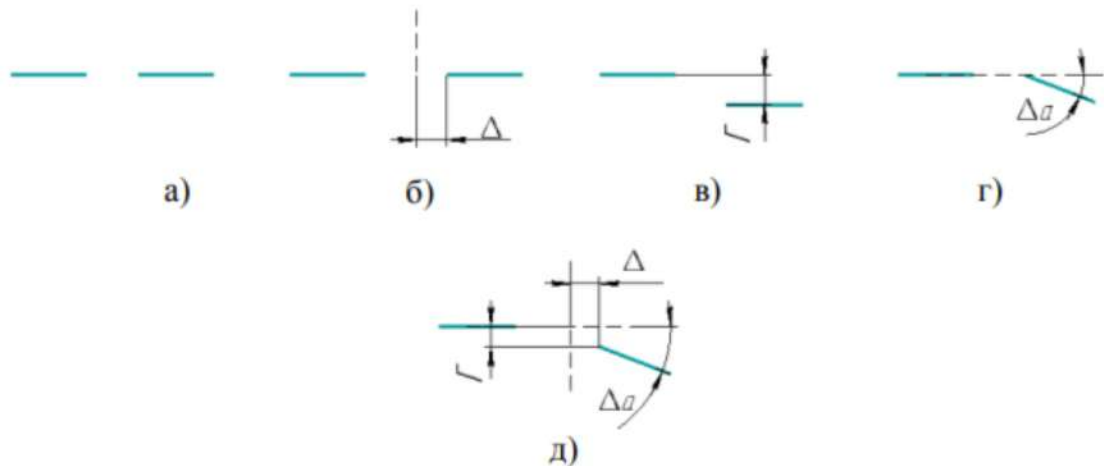
1. Неспіввісність призводить до виникнення моменту, який породжує сили реакції в підшипниках. Підвищення навантаження на підшипники внаслідок перекосів валів на 20%, скорочує розрахункову довговічність підшипників на 50%.

2. Перевантаження і вібрації, викликані неспіввісністю, викликають пошкодження муфт (перегрів, ослаблення або поломка болтів) і валів.

3. Споживання енергії електродвигуном може збільшитися на 20%.

Щоб уникнути зазначених негативних ефектів, перекоеси валів повинні бути в межах допусків, встановлених виробником агрегатів. Прийоми виконання центрування і допуски на відхилення визначаються в основному

типами машини, приводу і сполучної муфти, особливостями установки обладнання на рами або фундаменти.



а – геометрично співвісні вали; б – повздовжня неспіввісність, в – радіальна (паралельна) неспіввісність, г- кутова неспіввісність, д – поєднана неспіввісність

Рисунок 3.1 Види неспіввісності при з'єднанні муфтою валів

В даний час для розрахунку обладнання на міцність застосовують як аналітичні методи розрахунку з використанням теорії опору матеріалів, так і програмні комплекси, засновані на застосуванні ЕОМ і методів кінцевих елементів. Сучасні методи дають можливість більш точно математично описати напружено-деформований стан виходячи з конструктивних особливостей обладнання і концентраторів напружень. [5] Ефективність застосування способів моделювання і розрахунку за підтримки ЕОМ на стадіях розробки, проектування і виготовлення складних технічних систем вже ні у кого не викликає сумніву. Системи автоматизованого проектування CAD / CAE в даний момент широко застосовуються в науково-дослідних, проектних і виробничих організаціях практично всіх галузях промисловості. Слід зазначити, що системи типу CAE діляться на вузькоспеціалізовані (наприклад, Deform і Qform) і спрямовані на вирішення широкого діапазону завдань, такі як програмні комплекси ANSYS, Autodesk Inventor, SolidWorks. [6]

Для здійснення розрахунків скористуємось системою SolidWorks.

Основна мета роботи системи - дати можливість конструктору вже на початкових стадіях проектування приймати правильні і обгрунтовані конструктивні рішення, використовуючи побудовані 3D-моделі.

Для деталей і зборок важливо швидко оцінити міцність елементів з можливою оптимізацією конструкції, використовуючи асоціативний зв'язок геометричній і розрахункової моделей.

Основні кроки при проведенні розрахунку:

Підготовка 3D-моделі до проведення розрахунку міцності (спрощення геометрії);

Аналіз і завдання граничних умов (навантаження, закріплення);

Автоматична генерація звичайно-елементної сітки на 3D-моделі;

Вибір необхідного типу розрахунку і настройка його параметрів;

Проведення розрахунку;

Перегляд отриманих результатів і аналіз значень основних розрахункових характеристик (напруг, коефіцієнтів запасу, переміщень і т.д.);

Проведення модифікації моделі за результатами проведених обчислень (зміна геометрії / матеріалу);

Повторне проведення розрахункового аналізу для підтвердження працездатності виробу.

До складу SolidWorks входять інструменти підготовки деталей і зборок до розрахунку, завдання граничних умов і навантажень, а також вбудовані генератори звичайно-елементної сітки (як з постійним, так і зі змінним кроком) і постпроцесор. Цей функціональний набір дозволяє змоделювати твердотільний об'єкт і комплексно проаналізувати поведінку розрахункової моделі при різних впливах з точки зору статички, власних частот, стійкості і теплового навантаження.

Для створення кінцево-елементного представлення об'єкту в SolidWorks передбачена функція генерації KE-сітки, при виклику якої відбувається відповідне розбиття об'єкта із заданим кроком. Якщо створена розрахункова

модель має складні нерівномірні геометричні переходи, то може бути проведено так зване адаптивне розбиття. Для того щоб результат процесу був більш якісним, генератор КЕ-сітки автоматично (з урахуванням заданого користувачем максимального коефіцієнта згущення) варіює величину кроку розбиття.

Міцністний аналіз модуля SolidWorks дозволяє вирішувати лінійні задачі:

напружено-деформованого стану (статичний розрахунок); статичної міцності збірок; стійкості; термопружності; стаціонарної теплопровідності.

Динамічний аналіз дозволяє визначати частоти і форми власних коливань, в тому числі для моделей з попередніми навантаженням.

Результатами розрахунків є:

розподіл еквівалентних напружень і їх складових, а також головних напружень;

розподіл лінійних, кутових і сумарних переміщень;

розподіл деформацій за елементами моделі;

карти і епюри розподілу внутрішніх зусиль;

значення коефіцієнта запасу стійкості і форми втрати стійкості;

розподіл коефіцієнтів запасу і числа циклів за критерієм втомної міцності;

розподіл коефіцієнтів запасу за критеріями плинності і міцності;

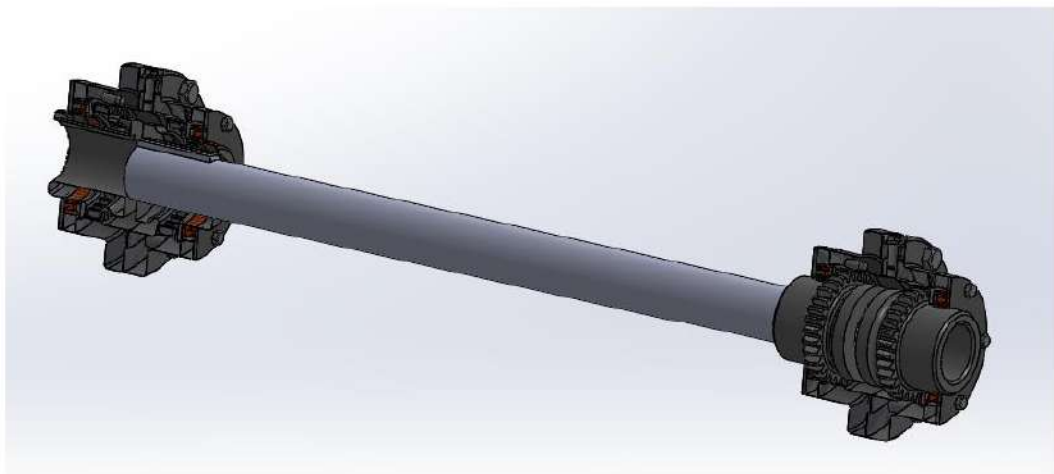
розподіл температурних полів і термонапруженого;

координати центра ваги, вага, обсяг, довжина, площа поверхні, моменти інерції моделі, а також моменти інерції, статичні моменти і площі поперечних перерізів.

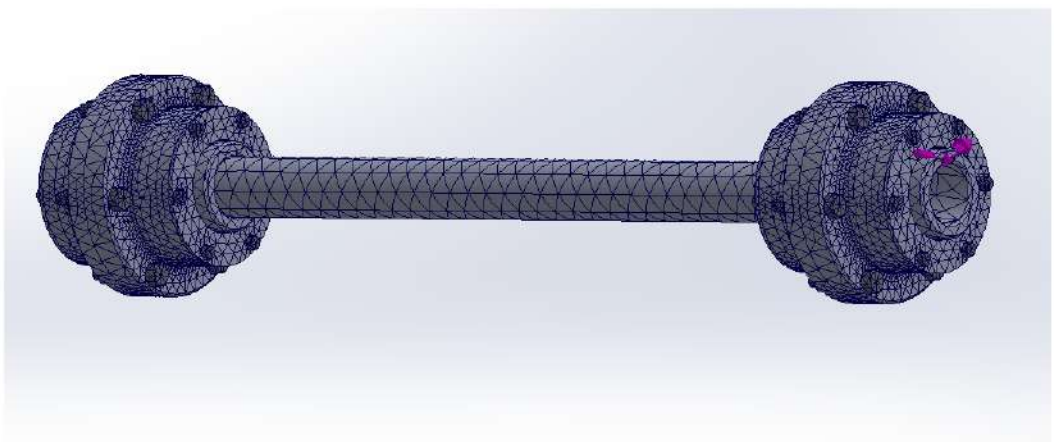
Для дослідження використовувалась модель зубчастої муфти, що мала наступні відхилення від нормальних умов експлуатації.

Таблиця 3.1 Змінні параметри плану проведення дослідження

№	Варіант дослідження	Кутова неспіввідність, град	Радіальна (паралельна) неспіввідність, мм
1	Номінальні умови експлуатації	0	0
2	Кутова неспіввідність	2	0
3	Кутова неспіввідність	4	0
4	Радіальна неспіввідність	0	5
5	Радіальна неспіввідність	0	10
6	Поєднана неспіввідність	4	10



а



б

а- загальний вид (переріз), б – сітковий поділ деталей

Рисунок 3.2 Об'ємна твердотільна модель муфти з провалом

Розрахунок виконувався способом імітаційного моделювання процесу навантаження за різними варіантами неспіввісності в модулях «Статичний аналіз» у програмному комплексі SolidWorks. Зазначене програмне забезпечення пропонує наступні типи досліджень: статичні дослідження (або дослідження напружень); частотні дослідження; дослідження втрати стійкості; термічні дослідження; дослідження проектування; нелінійні дослідження; лінійні динамічні дослідження; дослідження на ударні навантаження; дослідження втоми.

На рисунках представлено епюри при поєднаній неспіввісності. Максимальні значення для інших варіантів неспіввісності зведені у таблиці, та представлені у формі графіків.

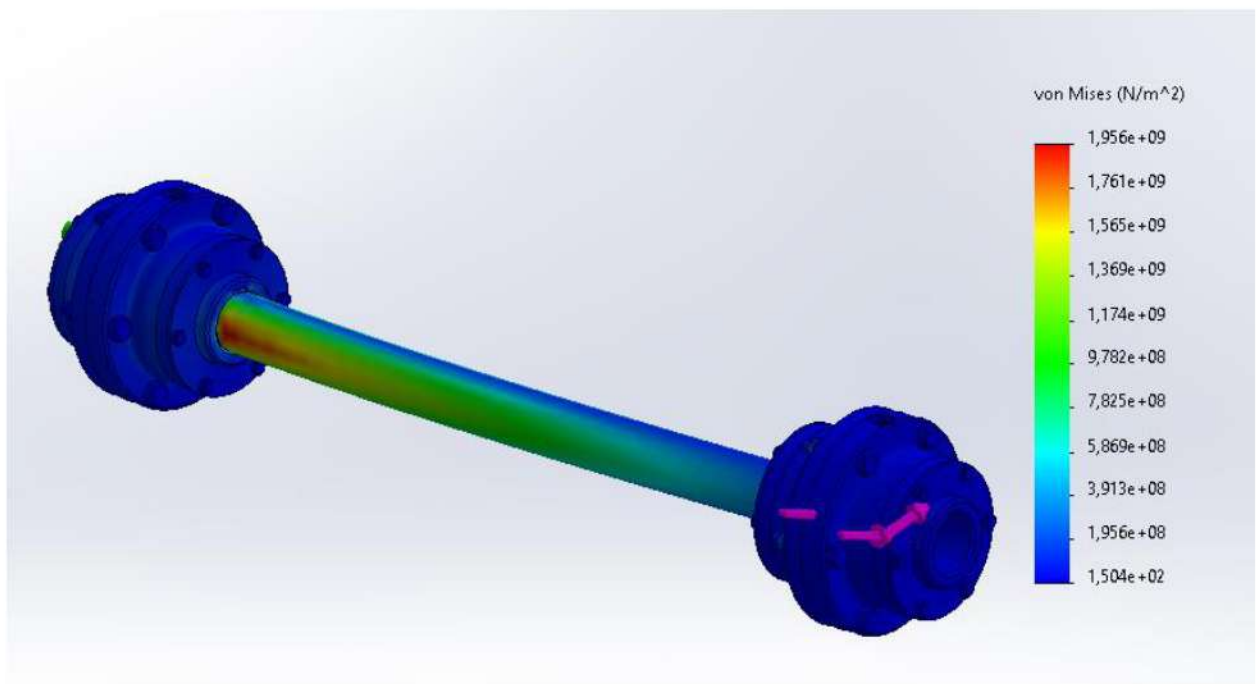


Рисунок 3.6 Епюри розподілу напружень

Мінімальне значення напружень дорівнює 0,15 МПа, а максимальне значення напружень дорівнює 195 МПа.

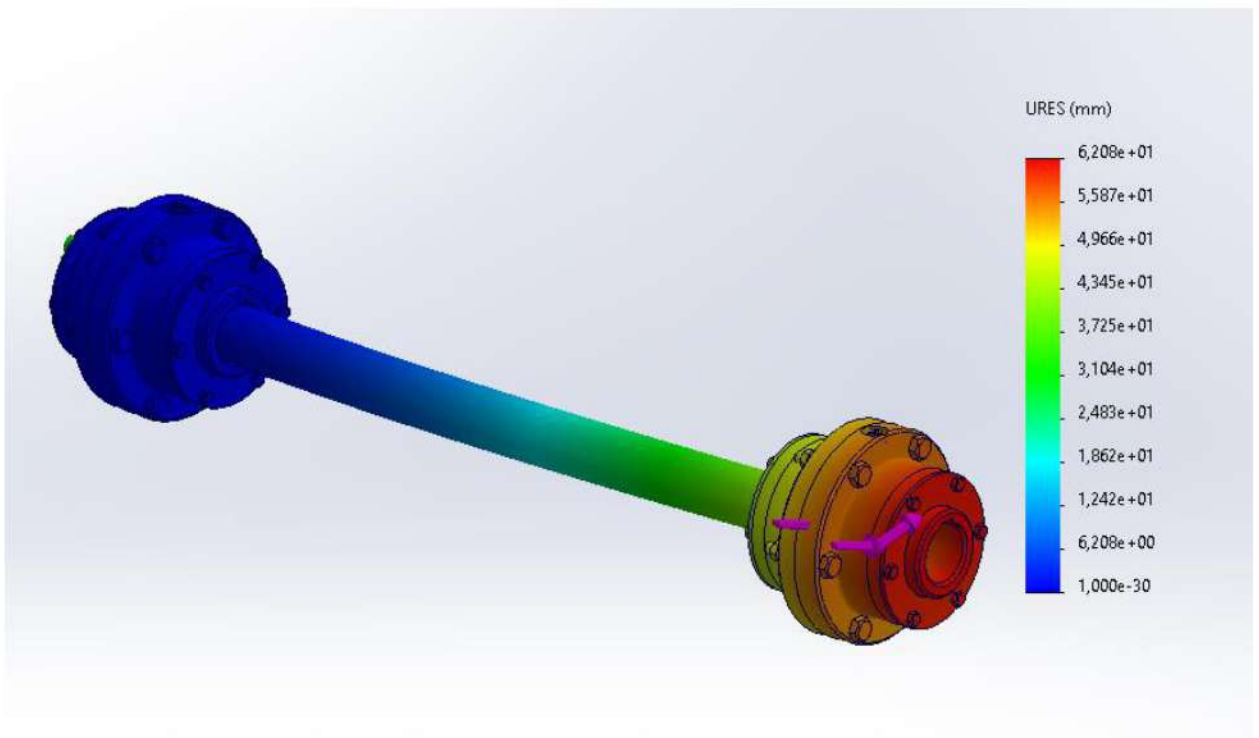


Рисунок 3.7 Епюри пружних переміщень

При заданих умовах максимальне переміщення складає 0,62мм, що цілком задовольняє умовам експлуатації.

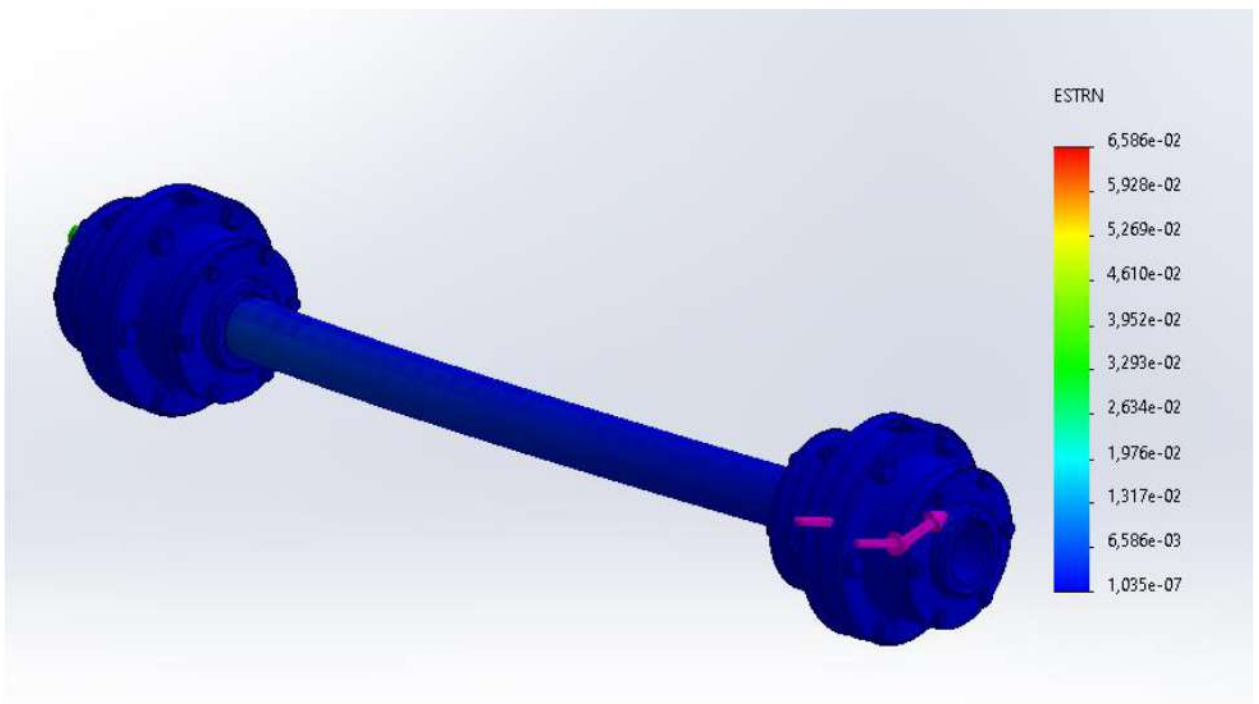


Рисунок 3.8 Епюри розподілу еквівалентних деформацій

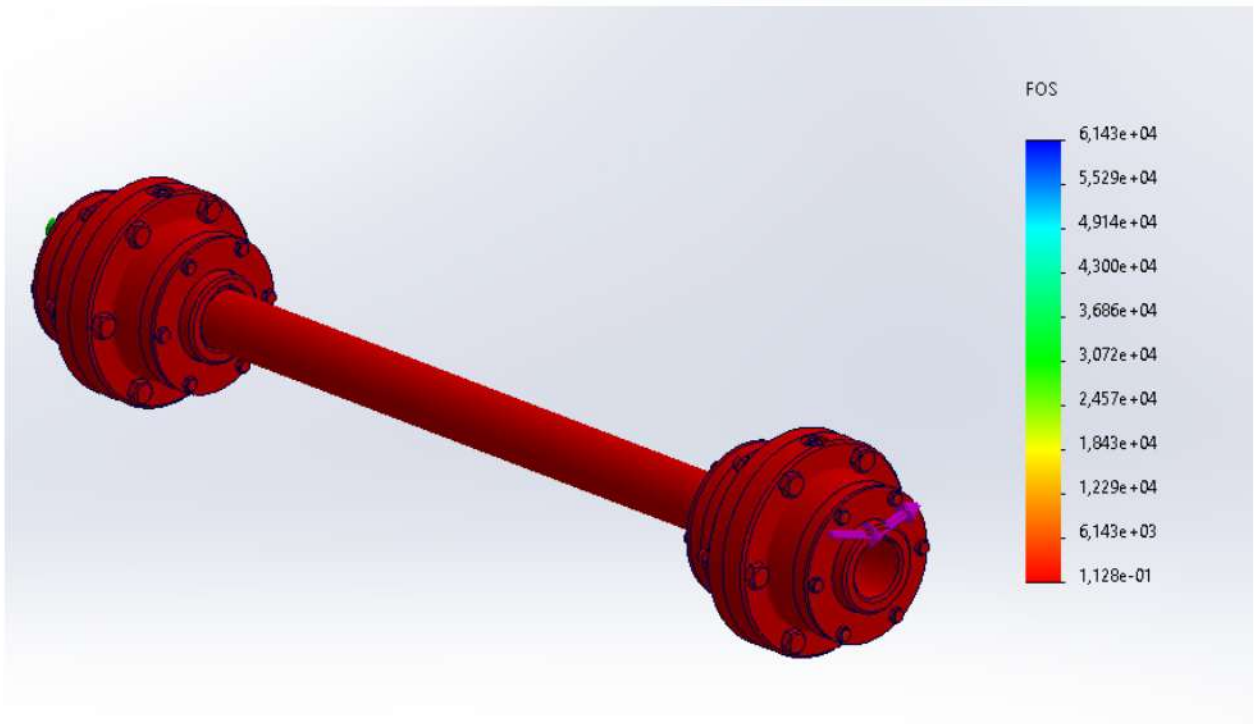


Рисунок 3.9 Епюри запасу міцності

Мінімальний запас міцності при встановленій поєднаній неспіввісності валів складає 1,1 що недостатньо для нормальних умов експлуатації.

Рекомендується не допускати експлуатацію з зазначеними значеннями поєднаної неспіввісності.

Слід зазначити, що у поточному розрахунку наведені критичні значення неспіввісності. При цьому в залежності від схеми неспіввісності значення напружень буде змінюватись. Також напруження змінюються при поєднаній неспіввісності між вхідним, проміжним та вихідним валами. Результати подальших досліджень зведені у таблиці.

Таблиця 3.2 Вплив кута нахилу вісі на досліджувані параметри зубчастої муфти з промвалом

Кут нахилу вісі , град	Абсолютне переміщення, мм	Відносна деформація, мм/мм	Напруження Von Mises , МПа	Мінімальний запас міцності
0	0,01387	0,000392	72,294	1,1298
2	0,0147	0,000465	85,69	1,006
4	0,01957	0,001874	235,59	0,36589

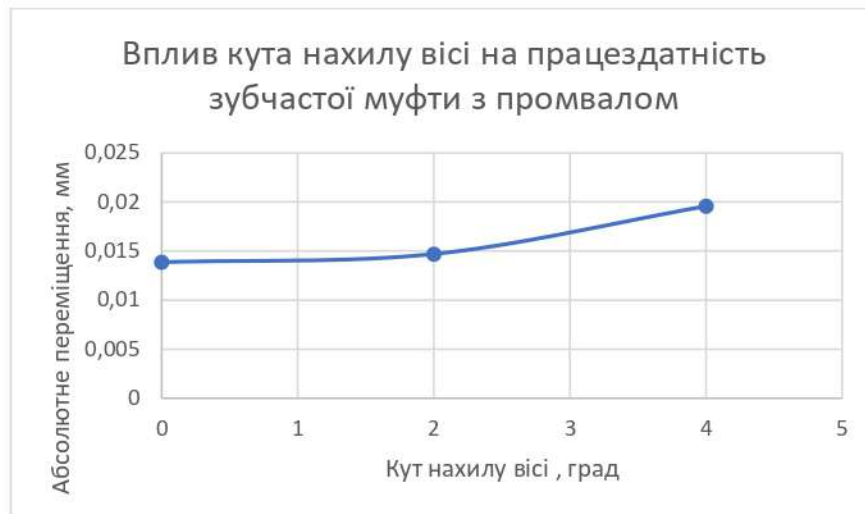


Рисунок 3.10 Залежність абсолютне переміщення елементів муфти з промвалом від кута нахилу вісі

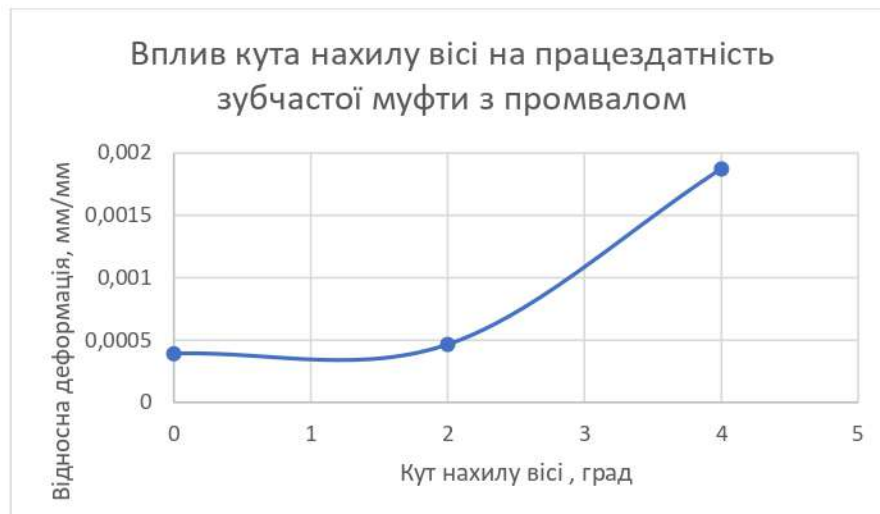


Рисунок 3.11 Залежність відносної деформації елементів муфти з промвалом від кута нахилу вісі

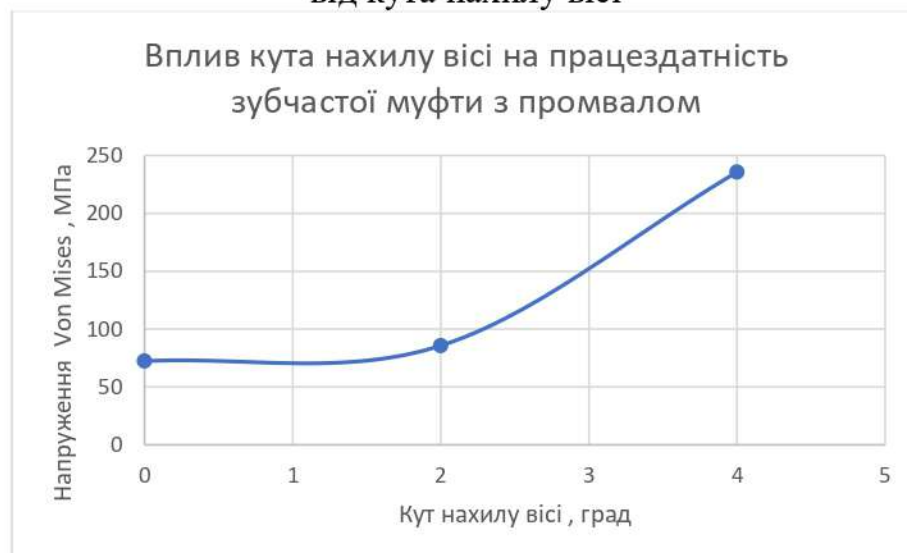


Рисунок 3.12 Залежність напружень Von Mises, що виникають в елементах муфти з промвалом від кута нахилу вісі

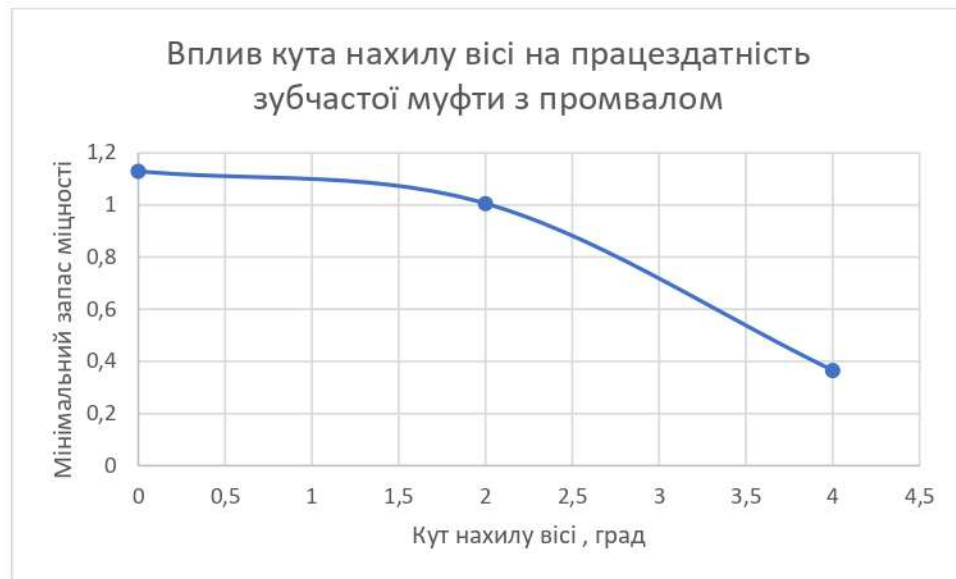


Рисунок 3.13 Вплив кута нахилу вісі на мінімальний запас міцності елементів муфти з промвалом

Таблиця 3.13 Вплив вертикального зміщення вісі на досліджувані параметри зубчастої муфти з промвалом

Вертикальне зміщення вісі, мм	Абсолютне переміщення, мм	Відносна деформація, мм/мм	Напруження Von Mises, МПа	Мінімальний запас міцності
0	0,01387	0,000392	72,294	1,1298
5	0,03391	0,0017147	313,51	0,27501
10	0,03476	0,0030946	431,53	0,19975

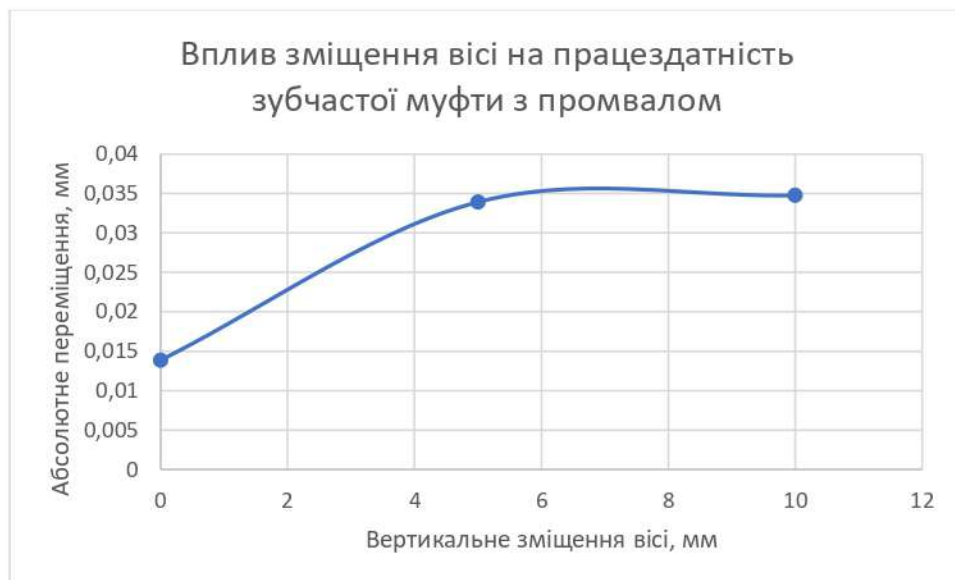


Рисунок 3.14 Залежність абсолютного переміщення елементів муфти з промвалом від вертикального зміщення вісі

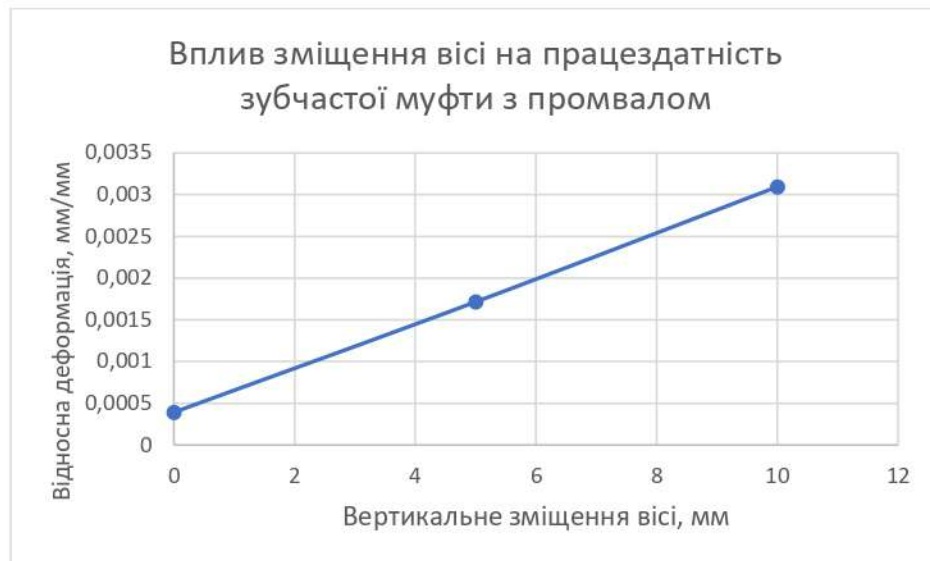


Рисунок 3.15 Залежність відносної деформації елементів муфти з промвалом від вертикального зміщення вісі

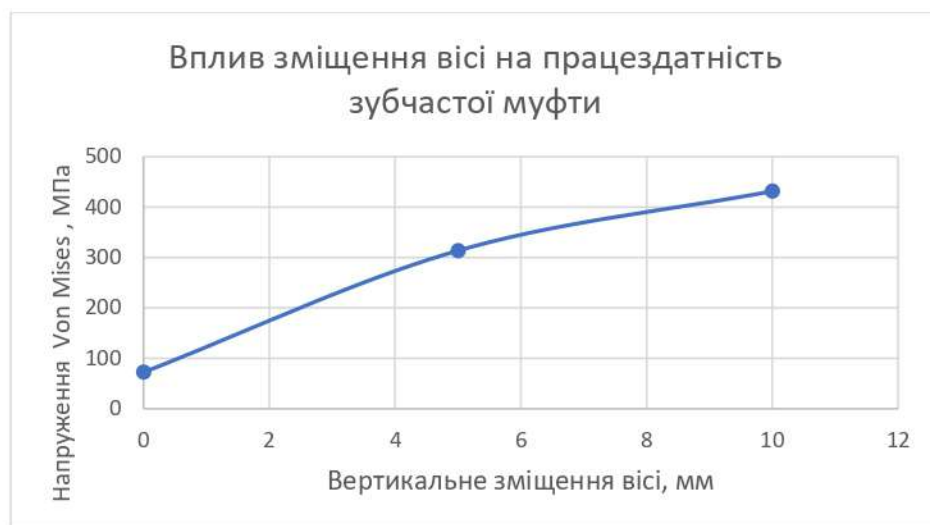


Рисунок 3.16 Залежність напружень Von Mises, що виникають в елементах муфти з промвалом від вертикального зміщення вісі

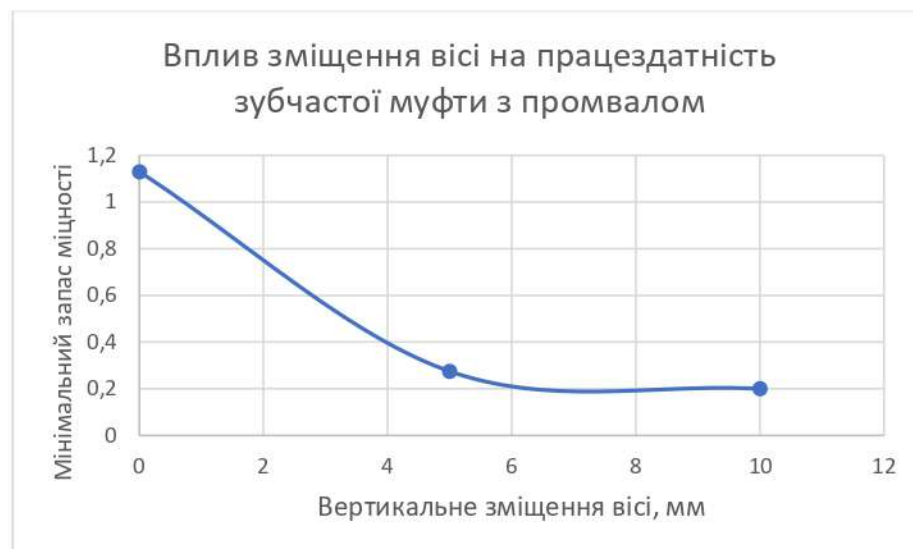


Рисунок 3.17 Вплив вертикального зміщення вісі на мінімальний запас міцності елементів муфти з промвалом

Провівши дослідження впливу кутової неспіввісності вісей та вертикального зміщення вісей однієї муфти відносно іншої можна стверджувати, що при значеннях кута нахилу вісі більше 2 градусів працездатність муфти знижується до критичної величини, при цьому більш значний вплив вносить саме вертикальне зміщення вісей, яке вже при перевищенні значення у 5 мм призводить до критичних наслідків в роботі зубчастої муфти.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз умов праці в цеху

Характеристика ступеню важкості праці основних працівників

Мартенівський цех розміщений в декількох будівлях закритого типу. Планування цеху відповідає послідовності вироблюваних технологічних операцій, внаслідок чого виключається зустрічний рух сировини і готової продукції, що важливе для створення нормальних санітарно-гігієнічних умов і безпеки праці.

При виконанні технологічних операцій працівником використовується устаткування, яке зв'язане із застосуванням електроструму високої напруги і газів (кисень). Експлуатація такого устаткування є відповідальною технологічною операцією, яка вимагає строгого виконання вимог безпеки. До небезпечних і шкідливих чинників основного і допоміжного персоналу належать:

- небезпека травмування на робочому майданчику при роботі підйомно-транспортних механізмів і машин (крани, мульдозавалочні машини), в наслідку інтенсивного руху рухливих складів з мульдами, чавуновозними ковшами і різними візками;

- небезпека опіку: при дозавалці печі і заливці розплавленого чавуну, при відборі проб металу і шлаку, при вимірі температури рідкого металу в ковші, від розплавленого металу або шлаку при підрізуванні "козла";

- висока яскравість розплавленого металу і шлаку; - теплове випромінювання від розплавленого металу і шлаку;

- загазованість довкілля при продуванні плавильних агрегатів;

- запилена повітряного середовища при транспортуванні шихти, завантаженню бункерів з феросплавами для коректування хімічного складу рідкого металу, переміщенні розплавленого чавуну в чавуновозних ковшах;

- газові виділення при роботі газових пальників і при сушці футерувань ковшів і печі;

- шум від роботи різного технологічного устаткування.

Найбільшу небезпеку в мартенівському цеху представляють можливі вибухи при протіканні різних процесів і велика кількість устаткування, що працює під напругою. Вибухи в цеху можуть спостерігатися при контакті металу і шлаку з водою, унаслідок бурхливого протікання хімічних реакцій при продуванні, розкислюванні і розливанні стали.

Вибухи при контакті металу і шлаку з водою можуть відбуватися із-за витoku води з пристрою охолодження фурми, жолобів для заливки чавуну. До заходів запобігання вибухам відносяться: недопустимість подачі розкислювачів в порожній ківш; сушка ковшів.

Мартенівський цех відноситься до приміщень особливо небезпечним, оскільки устаткування розташоване на різній висоті і працює при високій температурі навколишнього повітря і наявності пилу і газів.

Інфрачервоне (теплове) випромінювання грає визначальну роль при формуванні мікроклімату і надає несприятливу дію на організм трудящих. Значна площа, займана цехом, і нерівномірність розподілу джерел тепловиділення в нім обуславлюють нерівномірний нагрів повітря на різних його ділянках. Згідно СанПіН 2.2.4.548-96 підвищення температури повітря в порівнянні із зовнішньою для гарячих цехів допускається в межах 5°C.

Оптимальні і допустимі величини температури, відносній вологості і швидкості руху повітря (відповідно до СанПіН 2.2.4.548-96) встановлюються для робочої зони виробничих приміщень з врахуванням надлишків явного тепла, тягаря виконуваної роботи і сезонів року.

Виробничий шум в цеху перевищує санітарні норми в пічному, розливному прольотах і інших відділеннях. Унаслідок багатьох технологічних операцій створюються несприятливі умови для праці обслуговуючого персоналу.

Під час розливання стали у виливниці відбуваються різні хімічні реакції, які супроводжуються утворенням різних газів. Ці гази містять продукти вигорання змащувальних матеріалів, залоза, модифікаторів стали і інших елементів, а також різні випари.

Оцінка шкідливих і небезпечних факторів праці ремонтного персоналу

Перш за все слід зазначити, що ремонтний персонал підвергається дії усіх шкідливих та небезпечних факторів як і основний персонал. У більшості випадків ремонт обладнання виконується без зупинки технологічного процесу, тобто поблизу від діючих машин та агрегатів. Є ризик отримання травм від рухомих частин механізмів.

Через низький рівень автоматизації та механізації робіт значна їх доля припадає на ручний труд ремонтного персоналу. В цих випадках підвищується можливість отримання механічних травм, тобто зсадини, порізи, ушиби та навіть переломи.

Слід зазначити, що у деяких приміщеннях цеху (міксерне відділення) наявність великого рівняння графітованих часточок у повітрі, значно перевищуючих норми, створюють негативний вплив на органи дихання. Це викликає вимогу застосування індивідуальних засобів захисту таких як респіратор або марлева пов'язка.

Також наявність графіту, який поступову осідаючи на підлогу відділення створює небезпеку травмування. Особливо це відноситься до оглядових та технічних обслуговуючих площадок, які знаходяться на висоті.

У всіх приміщеннях цеху високий рівень шуму. Це вимагає використання індивідуальних засобів захисту. Але при цьому необхідно створити систему оповіщення (світову) через те, що працівники цеху та ремонтний персонал підвергають ризику травмуватися при контакті з рухомим транспортом (подвіжні состави, завалочні машини).

Таким чином робимо висновок, що для створення безпечних умов праці необхідно створити цілий комплекс заходів для покращення умов праці.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів та карта умов праці для чергового й ремонтного персоналу представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

№ п/п	Фактори виробничого середовища	Нормативне значення ГДК, ГДР	Фактичне значення	III клас – шкідливі і небезпечні умови праці			Тривалість дії, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
	1 клас безпеки						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,01	1,33			89,6
	Марганцю оксиди	0,05	0,15		3,01		89,6
	3-4 клас безпеки						
	Ангідрид сернистий	10	13,33	1,33			89,6
	Азоту діоксид	2	2,34	3,63			89,6
	Вуглецю оксид	20	22,5	1,125			89,6
	Заліза оксид	6	17,17	2,86			89,6
	2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³					
Кремнію діоксид кристалічний		4	102,21			25,55	89,6

Продовження таблиці 4.1

3	Шум, дБА	80	95,8			15,8	
4	Мікроклімат у приміщенні, теплий період						
	- температура повітря, °С	15-26	47,5			21,5	90,4
	- швидкість руху повітря, м/сек	0,5-0,6	0,5				90,4
	- відносна вологість повітря, %	55	65	10			90,4
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	6970			6970	82,5
5	Робоча поза						
	- нахил корпусу в просторі	28,1	30	30			
	Кількість факторів			7	1	4	
6	Категорія важкості і напруженості праці	важка ІІІ; помірно напружена					

Висновок. Робочі місця мають у наявності: 4 фактора 3 ступеня (пил, шум, температура повітря, інфрачервоне випромінювання), 1 фактор 2 ступеня (шкідливі хімічні речовини – марганцю оксид), 7 факторів 1 ступеня (шкідливі хімічні речовини, відносна вологість повітря, робоча поза). Це відповідає показникам списку №1 та має такі пільги: доплати – 20%, додаткова відпустка 14 календарних днів, молоко, скорочена робоча неділя до 36 годин. Робочий має право виходу на пенсію за списком №1.

4.2 Дослідження засобів захисту від тепла

Для створення сприятливого мікроклімату на відкрито розташованих фіксованих робочих місцях або місцях переважного перебування персоналу, що характеризуються наявністю теплових випромінювань, слід застосовувати локалізацію тепловиділень від нагрітих поверхонь (теплоізоляцію, екранування), захист від випромінювань відкритих отворів печей, захист робочих місць від опромінення (екранування, водоповітряне душирування,

високодисперсне водорозпилення, приплив зовнішнього повітря в робочу мікрозону).

В арсеналі промислового теплозахисту є наступні технічні засоби для практичного застосування в виробничих умовах:

1. По локалізації виділень: екрани різних типів у вигляді перешкод на дорозі теплового потоку від гарячих стін агрегату в навколишнє середовище цеху; завіси різного вигляду, призначені в основному для обгороджування відкритих джерел; високодисперсне розпилення води; обдування стін повітряним потоком; індивідуальні захисні засоби.

2. По зниженню дії тепла на організм: души повітряні і водоповітряні з попередньою обробкою повітря; кондиціонери, призначені для зниження температури повітря в закритих мікрооб'ємах; екрани радіаційного охолодження; високодисперсне розпилення води для зниження температури повітря на робочому місці.

3. По асиміляції виділень: провітрювання цехів (аерація) загальне і місцеве.

Що стосується аерації, то вона має самостійне значення як технічний засіб санації повітряного середовища в цехах від тепла, пилу і газів.

Використання технічних засобів 1 і 2 груп залежно від призначення можна розділити на засоби локалізації джерел і засоби захисту робочих місць. Окрім технічних засобів, є гігієнічні і організаційні засоби.

Раціональне чергування праці і пауз відпочинку, питний режим, вентиляція переслідують мету зменшити дію опромінення на організм. Практика експлуатації гарячих цехів показує, що єдиного універсального засобу немає. Лише вживанням комплексу заходів можна досягти успіху.

Залежно від типу робочого місця: відкритого нефіксованого (горнові, сталевари, зварювальники печей), фіксованого (вальцівник, клеймовщики) або закритого (оператор, кранівник) завдання захисту вирішується по-різному.

Для захисту від зовнішнього джерела випромінювання закритого робочого місця можуть бути застосовані будь-які засоби і перш за все засоби зниження інтенсивності потоку опромінення, які ділять на наступні типи:

- теплоізоляція;
- екранування;
- комбіновані засоби.

Теплоізоляція

В даний час в практиці застосовують сотні різних теплоізоляційних матеріалів і конструкцій [9].

Ізоляцію в більшості випадків виконують легковісною цеглою. Додатковим теплоізоляційним шаром може служити зовнішня ущільнююча обмазка завтовшки до 2 см, до складу якої входить азбест. Інколи застосовують засипку з сипких або волокнистих матеріалів між зовнішнім сталевим кожухом і цегельною кладкою.

Мастична ізоляція здійснюється шляхом нанесення на гарячу поверхню ізолюваного об'єкту ізоляційної мастики. Мاستика є штукатурним розчином з теплоізоляційним наповнювачем. Мастичну ізоляцію можна застосовувати на об'єктах будь-якої конфігурації; вона дає міцний гладкий шар, але вимагає попереднього розігрівання поверхні і високої кваліфікації ізолювальників.

Обгорткова ізоляція виготовляється з волокнистих матеріалів - вати, войлока, матів або тканини. Устрій обгорткової ізоляції простіший, ніж мастичною, але на об'єктах великого розміру і складної конфігурації її важко закріплювати. Поверхню обгорткової ізоляції необхідно закривати кожухом з щільного матеріалу.

Засипну ізоляцію застосовують рідше, оскільки необхідний жорсткий кожух довкола ізолюваного об'єкту. Простір усередині кожуха заповнюють сипким або волокнистим матеріалом. Під дією вібрації, зволоження, власної маси ізоляційний матеріал осідає і якість ізоляції різко погіршується.

Контролювати стан ізоляції важко. Для об'єктів складної конструкції неможливо виготовити кожух з однаковим зазором по всій поверхні. В результаті з'являються місця із зайвою товщиною ізоляції, що веде до перевитрати ізоляційного матеріалу.

Останнім часом широкого поширення набула ізоляція волокнистими матеріалами, призначених для теплової ізоляції устаткування.

Номенклатура волокнистих теплоізоляційних матеріалів, представлена у вигляді:

- матів мінераловатних прошивних безобкладочних або в обкладинках з металевої сітки або склотканини з однієї або двох сторін;
- виробів мінераловатних з гофрованою структурою для промислової теплової ізоляції (ТУ 36.16.22-8-91);
- плит теплоізоляційних мінераловатних на синтетичному зв'язуючому щільністю від 50 до 125 кг/м³ (ГОСТ 9573-96);
- виробів із скляного штапельного волокна на синтетичному зв'язуючому (ГОСТ 10499-95).

Екранування

Екрани і завіси можна розділити на три типи: 1 - непрозорі, 2 - напівпрозорі, 3 - прозорі.

До типа 1 відносяться металеві водоохолоджувані і футеровані, азбестові, альфольові, алюмінієві екрани.

До типа 2 відносяться екрани з металевої сітки, ланцюгові завіси, екрани із скла, армованого металевою сіткою. Всі ці екрани можуть зрошуватися водяною плівкою.

До типа 3 відносяться екрани з різних стекел: силікатного, кварцового і органічного, безбарвного, забарвленого і металізованого, плівкові водяні завіси, вільні і стікаючі по склу, вододисперсні завіси [9].

За принципом дії екрани підрозділяють на тепловідображаючі, теплопоглинаючі і тепловідвідні. Проте це ділення певною мірою умовно,

оскільки кожен екран володіє здатністю відображати, поглинати і відводити тепло. Віднесення екрану до тієї або іншої групи виконується залежно від того, яка здатність сильніше виражена. Посилення і використання інших характеристик екрану покращує його захисні властивості. Для цього при конструюванні екрану треба прагнути отримати низьку міру чорноти обох поверхонь (як в тепловідображаючих екранах), високий термічний опір (як в теплопоглинаючих екранах) і сприятливі умови для природного руху повітря уздовж екрану (для конвективного тепловідводу).

Комбіновані засоби теплозахисту

Комбіновані способи захисту закритого робочого місця від теплового випромінювання найбільш поширені і ефективні. На ряду з теплоізоляцією і захисним екрануванням цей спосіб включає цілий комплекс засобів і технічних рішень по зменшенню дії теплового випромінювання на робочий персонал.

Вони можуть об'єднувати в собі і захисне екранування з використання різних екранів, і подальшу теплову ізоляцію, і обдування поверхонь постів і кабін повітрям, використання кондиціонерів.

Захист від теплового випромінювання

Умови праці і терморадіаційний режим в кабінах кранів значно відрізняється по особливості дії теплових потоків від умов праці на відкритих робочих місцях.

Головними чинниками, що несприятливо впливають на організм машиністів кранів, є проникаюче випромінювання, висока температура обгороджувачів і повітря в кабінах. При цьому виникають порушення процесів терморегуляції і розлади сердечносудистої діяльності, а також дихання і в результаті зниження працездатності.

Машиністи спеціальних металургійних кранів, призначених для транспортування розплавленого або нагрітого металу, працюють в умовах інтенсивного теплового опромінення і високої температури довкілля.

Причинна і взаємна залежність чинників, що визначають стан мікроклімату в кабінах кранів, пояснюється по-різному. Одна з точок зору полягає в тому, що для створення нормального температурного режиму в кабіну слід подавати охоложене кондиціоноване повітря в кількості, достатній для асиміляції тепла, що поступає через обгороджування кабіни. Проте, оскільки опромінення тіла машиніста нагрітими понад 34°C внутрішніми поверхнями обгороджувань і устаткування кабіни, а також зовнішніми джерелами випромінювання через стекла кабіни при цьому не усувається, такі умови неможливо вважати сприятливими.

Таким чином для захисту машиніста від опромінення металеві стінки кабіни залитного крана екрануємо алюмінієвим листом $\delta = 0,05$ мм, звичайне скло вікон кабіни замінюємо на спеціальне оргскло. Додатково для забезпечення машиніста свіжим повітрям та можливості продування між екранного простору встановлюємо кондиціонер СКК-И1пс.

Нижче приведено розрахунок ефективності екранування стінок кабіни крану.

Сталу температуру на поверхні стінки кабіни без алюмінієвого екрана t_{cm} , розраховуємо за формулою (7.1).

$$t_{cm} = t_{н.с.} + \frac{a \cdot E_0^{cep}}{2 \cdot \alpha}, \quad (4.1)$$

де $t_{н.с.} = 47$ °С – температура навколишнього середовища;

$a = 0,35$ - коефіцієнт поглинання тепла (сталь);

$\alpha = 29$ Вт/(м²·град) – коефіцієнт тепловіддачі від стінки к повітря;

$E_0^{cep} = 6970$ Вт/м² – опроміненість;

$$t_{cm} = 47 + \frac{0,35 \cdot 6970}{2 \cdot 29} = 89 \text{ °С.}$$

Тепловий потік крізь стінку q , розраховуємо за формулою (4.2),

$$q = \frac{t_{ст} - t_{ст}^{вн}}{\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{нов}}{\lambda_{нов}} + \frac{\delta_{фан}}{\lambda_{фан}} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (4.2)$$

де $t_{ст}^{вн} = 40^\circ\text{C}$ – температура внутрішньої стінки;

$\delta_{ст} = 5$ мм, $\delta_{нов} = 60$ мм, $\delta_{фан} = 20$ мм – відповідно товщина сталюого листа, повітряної прослойки та фанери;

$\lambda_{ст} = 58$ Вт/(м·град), $\lambda_{нов} = 0,08$, $\lambda_{фан} = 0,12$ – відповідно коефіцієнти теплопровідності сталі, повітря та фанери;

$$q = \frac{89 - 40}{\frac{0,005}{58} + \frac{0,06}{0,08} + \frac{0,02}{0,12} + 0,114} = 47,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Температуру повітряної порожнини $t_{нов}$, розраховуємо за формулою (4.3),

$$t_{нов} = t_{ст} - q \cdot \frac{\delta_{нов}}{\lambda_{нов}}, \quad (4.3)$$

$$t_{нов} = 89 - 47,5 \cdot \frac{0,06}{0,08} = 53,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температуру фанери $t_{фан}$, розраховуємо за формулою (4.4),

$$t_{фан} = t_{нов} - q \cdot \frac{\delta_{фан}}{\lambda_{фан}}, \quad (4.4)$$

$$t_{фан} = 53,4 - 47,5 \cdot \frac{0,02}{0,12} = 45,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температуру фанери після встановлення стаціонарної температури $t'_{фан}$, розраховуємо за формулою (4.5),

$$t'_{\text{фан}} = t_{\text{фан}} - q \cdot \frac{1}{\alpha_B}, \quad (4.5)$$

$$t'_{\text{фан}} = 45,5 - 47,5 \cdot 0,114 = 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Після встановлення алюмінієвого екрана температура на екрані $t_{\text{екр}}$, розраховуємо за формулою (4.6),

$$t_{\text{екр}} = t_{\text{н.с.}} + \frac{a_{\text{екр}} \cdot E_0^{\text{сеп}}}{2 \cdot \alpha}, \quad (4.6)$$

де $a = 0,15$ – коефіцієнт поглинання тепла (алюміній);

$$t_{\text{екр}} = 47 + \frac{0,15 \cdot 6970}{2 \cdot 29} = 65 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При однакових умовах алюмінієвий лист знижує температури стінки кабіни крана на 31%.

Тепловий потік через комбіновану стінку $q_{\text{екр}}$, розраховуємо за формулою (4.7),

$$q_{\text{екр}} = \frac{t_{\text{ст}} - t_{\text{ст}}^{\text{вн}}}{\frac{\delta_{\text{ал}}}{\lambda_{\text{ал}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{пов}}}{\lambda_{\text{пов}}} + \frac{\delta_{\text{фан}}}{\lambda_{\text{фан}}} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (4.7)$$

де $t_{\text{ст}}^{\text{вн}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура внутрішньої стінки;

$\delta_{\text{ал}} = 5 \text{ мм}$ – товщина алюмінієвого екрана;

$\lambda_{\text{ал}} = 175 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$ – коефіцієнт теплопровідності алюмінія;

$$q = \frac{65 - 25}{\frac{0,005}{175} + \frac{0,005}{58} + \frac{0,06}{0,08} + \frac{0,02}{0,12} + 0,114} = 38,8 \text{ Вт/м}^2.$$

Температуру сталльної стінки $t_{\text{ст}}$, розраховуємо за формулою (4.8),

$$t_{\text{ст}} = t_{\text{екр}} - q \cdot \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}, \quad (4.8)$$

$$t_{ст} = 65 - 38,8 \cdot \frac{0,005}{58} = 64,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температуру повітряної порожнини $t_{нов}$, розраховуємо за формулою (4.3),

$$t_{нов} = 64,9 - 38,8 \cdot \frac{0,06}{0,08} = 35,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температуру фанери $t_{фан}$, розраховуємо за формулою (4.4),

$$t_{фан} = 35,8 - 38,8 \cdot \frac{0,02}{0,12} = 29,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температуру фанери після встановлення стаціонарної температури $t'_{фан}$, розраховуємо за формулою (4.5),

$$t'_{фан} = 29,3 - 38,8 \cdot 0,114 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Екран з алюмінієвого листа $\delta = 0,05$ мм знижує тепло потік в кабінку крана з 1 м^2 поверхні стіни від $47,5 \text{ Вт/м}^2$ до $38,8 \text{ Вт/м}^2$, а температуру внутрішньої стінки кабінки крана від 40°C до 25°C .

4.3 Імовірність аварій та їх ліквідація

Аварія – це небезпечна подія техногенного характеру, що створює на об'єкті, території або акваторії загрозу для життя і здоров'я людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого процесу чи завдає шкоди довкіллю.

В чорній металургії найбільш розповсюдженою аварією є потрапляння розплавленого металу на робочі площадки цехів, які несуть досить тяжкі наслідки.

Основні заходи відповідальних осіб щодо локалізації аварій:

1 Оцінюється обстановка, виявляється кількість і місце знаходження людей, захоплених аварією, приймаються заходи щодо сповіщення робітників, службовців об'єкту, керівників підприємства і населення по двох варіантах:

– при аваріях, наслідки яких не виходять за межі об'єкту, оповіщаються чергові зміни аварійних служб (газорятівної, протипожежної, медичної), охорона заводу, керівний склад і штаб ГО підприємства, а також штаб ГО міста;

– при аваріях, наслідки яких виходять за межі об'єкту додатково оповіщаються керівники підприємств, організацій, установ (в першу чергу – дитячі установи) і населення, що знаходяться поблизу хімічно небезпечного об'єкту.

2 Приймаються заходи по оточенню району аварії і небезпечної зони.

3 Забезпечується вивід з небезпечної зони людей, які не приймають безпосередньої участі в ліквідації аварії.

4 Приймаються невідкладні заходи по порятунку людей, локалізації і ліквідації аварії (контролюється правильність дій персоналу зайнятого в ліквідації аварії, уточнюється і прогнозується хід розвитку аварії, при необхідності вноситься коректування в оперативний план, інформується безпосереднє керівництво про хід рятувальних робіт і ліквідацію аварії).

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі наведено огляд і аналіз муфт важконавантаженого металургійного обладнання. В якості об'єкту дослідження прийнято привод стаціонарного міксера для зберігання рідкого чавуну.

Наведено розрахунки найбільш навантажених вузлів і деталей привода з зубчастими муфтами.

З'ясовано, що досягнення строгої співвісності валів пов'язане зі значною трудомісткістю і не завжди виправдане, а в окремих випадках і важко здійсненне. Не співпадіння осей валів обумовлюється відхиленнями на виготовлення деталей та збирання вузлів машин і призначаються залежно від характеру роботи. Далі будь-яка точність, досягнута при збиранні, в процесі роботи може бути порушена внаслідок вібрацій і деформацій валів і основи під навантаженням, осадки фундаменту, зміни температури і інших причин. З'єднання таких валів глухими муфтами неминуче призводить до виникнення значних додаткових навантажень на вали і опори, погіршенню роботи з'єднання, аж до виходу його з ладу.

Компенсуючі муфти значно зменшують додаткові навантаження на вали і опори. Чим менше додаткові навантаження, тим надійніше робота муфти і вузлів, що сполучаються. За цією ознакою повинна оцінюватися перевага тієї або іншої конструкції муфти.

Провівши дослідження впливу кутової неспіввісності вісей та вертикального зміщення вісей однієї муфти відносно іншої можна стверджувати, що при значеннях кута нахилу вісі більше 2 градусів працездатність зубчастої муфти знижується до критичної величини, при цьому більш значний вплив вносить саме вертикальне зміщення вісей, яке вже при перевищенні значення у 5 мм призводить до критичних наслідків в роботі зубчастої муфти.

Щоб уникнути зазначених негативних ефектів, перекося валів повинні бути в межах допусків, встановлених виробником агрегатів.

Список використаної літератури

1. Жук А.Я., Желябіна Н.К. Механічне устаткування цехів по виробництву металів та сплавів: Навчальний посібник. /Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 1998,- 216с.
2. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : Підручник. – 4-е вид.,перероб. І доп. – Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. – 379 с.
3. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В.Я. Технічне діагностування механічного обладнання: Підручник. - : ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2007. – 447 с.
4. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 1. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.- 574с. ISBN 978-966-2781-12-0 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
5. Жук А.Я., Бойко О.В., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 2. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.-542с. ISBN 978-966-2781-13-7 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
6. Монтаж металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2018р.- 330с. ISBN 978-617-7582-44-0. Режим доступу URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2018_330.pdf
7. Білодіденко С. В., Біліченко Г. М., Гануш В. І. Періодичність діагностування механічних систем : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2017. 89 с.
8. Технічне обслуговування металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 288с. ISBN 978-617-7582-07-5.
9. Ремонт металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім:

«Кондор», 2017р.- 236с. ISBN 978-617-7582-08-2. Режим доступу URL:
http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2017_236.pdf

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

ДОДАТКИ

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Креслення загального виду	1	A1
2	Складальні креслення	2	A1
3	Деталювання	1	A2
4	Плакати дослідницької частини	1	A1
5	Специфікації	2	A4