

Міністерство освіти і 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 БАКАЛАВРА

На тему Модернізація вузлів приводу обертання ванни печі типу РКО в умовах плавильного цеху АТ «Запорізький завод феросплавів»

Виконав: студент групи 6.1331-с

Качкаров П. В.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Керівник Сайкова Т. Ю.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 року

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти бакалавр

(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру А.О. Власов

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Качкарова Петра Вадимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи: Модернізація вузлів приводу обертання ванни печі типу РКО в умовах плавильного цеху АТ «Запорізький завод феросплавів».
керівник бакалаврської роботи викладач Сайкова Т.Ю.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” грудня 2023 року № 2215-с.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 14 червня 2024 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи феросплавного цеху №2
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна частина; 2. Спеціальна частина; 3. Експлуатаційна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Загальний вигляд печі РКО-7 – 1А1; 2. Кульова опора – 2А1; 3. Фундамент печі РКО-7 – 1А1; 4. План кабінки спостереження та дистанційного керування – 1А1.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сайкова Т.Ю., викладач		
2	Сайкова Т.Ю., викладач		
3	Сайкова Т.Ю., викладач		
4	Сайкова Т.Ю., викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	13.05.2024 – 20.05.2024	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	21.05.2024 – 27.05.2024	
3	Виконання теоретичної частини проекту	26.05.2024 – 29.05.2024	
4	Виконання графічної частини проекту	30.05.2024 – 05.06.2024	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	06.06.2024 – 10.06.2024	
6	Перевірка проекту консультантами	11.06.2024 – 13.06.2024	
7	Попередній захист проекту	14.06.2024	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Качкаров П. В. Модернізація вузлів приводу обертання ванни печі типу РКО в умовах плавильного цеху АТ «Запорізький завод феросплавів».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, керівник Т. Ю. Сайкова. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2024.

Проаналізовані переваги та недоліки наявних технічних рішень. Проведено перевірочний силовий і розрахунок на міцність деталей і вузлів механізму обертання ванни. Запропоновано модернізацію механізму обертання ванни. Складено перелік робіт з капітального ремонту плавильної печі, виконаний розрахунок фундаменту печі, наведений перелік робіт з монтажу й ремонту плавильної печі.. Приділено увагу питанням техногенної безпеки та екології в прокатному виробництві.

Ключові слова: МАРГАНЕЦЬ, ФЕРОСПЛАВ, ПІЧ, МЕХАНІЗМ ОБЕРТАННЯ, ЦІВОЧНЕ ЗАЧЕПЛЕННЯ, ОПОРНА КУЛЯ

ABSTRACT

Kachkarov P. V. Modernization of the Units of the Rotation Drive of the Furnace Bath of the Ore Restorative Round Open Type under the Conditions of the Smelting Workshop of Zaporizhsky Plant of Ferroalloys JSC

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in higher education, specialty 133 - Industrial engineering, adviser T.Yu. Saikova. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2024.

Advantages and disadvantages of existing technical solutions are analyzed. A verification force and calculation of the strength of parts and components of the bathtub rotation mechanism was carried out. Modernization of the bathtub rotation mechanism is proposed. A list of works on the capital repair of the melting furnace was compiled, the calculation of the foundation of the furnace was performed, a list of works on

installation and repair of the melting furnace was given. Attention was paid to the issues of man-made safety and ecology in rolling production.

Key words: MANGANESE, FERROALLOY, FURNACE, ROTATION MECHANISM, SPINDLE ENGAGEMENT, SUPPORT BALL

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА	8
1.2 ВАНТАЖОПОТОКИ ФЕРОСПЛАВНОГО ЦЕХУ	10
1.3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛЕВОГО МАРГАНЦЮ	13
1.4 ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ЦЕХУ	15
1.5 «ВУЗЬКІ» МІСЦЯ ДІЮЧОГО ЦЕХУ Й ЗАХОДУ ЩОДО ЇХНЬОГО УСУНЕННЯ.....	16
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ ОБЕРТАННЯ ВАНН ФЕРОСПЛАВНИХ ПЕЧЕЙ.....	17
2.2 ОПИС ПРОЕКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕХАНІЗМУ ОБЕРТАННЯ ВАННИ	21
2.3 РОЗРАХУНОК ПРИВОДА, НАЙБІЛЬШ НАВАНТАЖЕНИХ ВУЗЛІВ І ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЗМУ ОБЕРТАННЯ ВАННИ	22
2.3.1 Розрахунок механізму обертання.....	22
2.3.2 Розрахунок елементів конструкції механізму повороту ванни.....	26
2.4 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ВУЗЛА ОПОРНИХ РОЛИКІВ НА МІЦНІСТЬ	46
2.4.1 Розрахунок осі на міцність	46
2.4.2 Розрахунок різьби упорного гвинта на міцність.....	47
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА	49
3.1 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ	49
3.2 РЕМОНТ ПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	53
3.3 РОЗРАХУНОК ФУНДАМЕНТУ	55
3.4 РОЗРАХУНОК СТРОПІВ	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	62
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих та небезпечних чинників.....	62
4.1.1 Характеристика ступеня безпеки обраних технологічних процесів, рівні їхньої механізації й автоматизації	62

4.1.2 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	63
4.2 ЗАХОДИ З ПОЛІПШЕННЯ УМОВ ПРАЦІ.....	66
4.3 ВИРОБНИЧА САНІТАРІЯ	67
4.3.1 Мікроклімат	67
4.3.2 Природне й штучне освітлення виробничих приміщень.....	68
4.3.3 Виробничий шум і вібрація.....	71
4.4 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПО ВИРОБНИЧІЙ САНІТАРІЇ	72
4.4.1 Об'ємно–планувальні рішення будинків і споруджень	72
4.4.2 Опалення й вентиляція	73
4.5 ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	74
4.5.1 Засоби пожежної безпеки.....	74
4.5.2 Заходи, спрямовані на ліквідацію надзвичайних ситуацій	75
4.6 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕННЯ ЦЕХУ	77
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	84
ДОДАТКИ.....	87

ВСТУП

Головний напрямок у розвитку металургії складається в підвищенні технічного рівня, концентрації й ефективності виробництва шляхом подальшого росту продуктивності праці, поліпшення якості й розширення сортаменту випускаємої продукції, здійснення технічного переозброєння, модернізації діючих і уведення в експлуатацію нових металургійних агрегатів і устаткування, збільшення їхньої одиничної потужності.

Це положення повною мірою відноситься й до феросплавного виробництва, де широке поширення одержують потужні відкриті феросплавні печі із круглою й прямокутною ванною.

Створення й розвиток технологічних агрегатів і установок, що представляють собою складні комплекси, немислимо без одночасного вдосконалювання існуючого й розробки нового, у більшості випадків унікального, механічного устаткування, підвищення його продуктивності, надійності, довговічності й ефективності, рішення питань автоматизації технологічних процесів і механізації важких і трудомістких робіт.

Устаткування в металургійних цехах працює в тяжких умовах, що характеризуються великою запиленістю, підвищеними температурами, високими навантаженнями й більшими масами переміщуваних вантажів. Надійна й довговічна робота устаткування забезпечується, крім якісного проектування й виготовлення, грамотною експлуатацією.

Експлуатація печей для виплавки феромарганцю показала необхідність застосування механізму обертання ванни при виплавці сплавів зі змістом марганцю вище 45 %. При виплавці феромарганцю обертання аналогічно розпушуванню шихти: підвищується її газопроникність, збільшується схід шихти, поліпшується показник добування марганцю із шихти. При виробництві 75 % феромарганцю з використанням механізму обертання добування марганцю підвищується на 6–8 %, витрата електроенергії знижується на 5–7 %, що в цілому підвищує продуктивність печі на 8–10 %.

Обертання ванни дозволяє видаляти «напливи» марганцевих з'єднань і застиглої шихти зі стін ванни, а також у значній мірі усунути можливість і знизити шкідливі наслідки недоліку або надлишку відновлювача.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Коротка характеристика підприємства

Запорізький феросплавний завод введено в експлуатацію 10 жовтня 1933 року. Саме тоді перші 2 електропечі видали ферохром. Деяким більше через рік, було закінчене будівництво 2 плавильних цехів і ряду допоміжних цехів.

Удосконалюючи технологію й нарощування потужності робітники заводу до початку Великої Вітчизняної війни видавали, приблизно, половину феросиліція й ферохрома, вироблених у країні. У роки війни устаткування заводу було демонтовано й відправлене в Сибір на будівельний майданчик Кузнецького феросплавного заводу. Після звільнення м. Запоріжжя від фашистів, почалися роботи по відбудові заводу вже в 1944 р., із закінченням у грудні 1950 р.

В 1955 році заробив новий, єдиний у країні, плавильний цех № 3, для виробництва марганцевих сплавів селікотермічним способом. В 1964 році пущений плавильний цех № 4 із закритими печами нового типу для виробництва кременистих сплавів.

На підприємстві в тісному співробітництві із ученими постійно виробляються роботи з освоєння й удосконалювання технологій сплавів, підвищенню ефективності за рахунок оптимізації процесів, модернізації устаткування.

У цей час виконане технічне переозброєння плавильного цеху № 3 на базі кращих зразків вітчизняного й закордонного устаткування. Уже уведені в експлуатацію й працюють 4 печі з потужними трансформаторами, високоефективними установками очищення газів, автоматизованими системами керування. Всі плавильні агрегати обладнані системами газоочисток, але з метою подальшого зниження викидів забруднюючих речовин ведуться роботи з модернізації діючих газоочисних установок, вторинному використанню відходів. Частина вловлюємого феросплавного газу використовується для енергетичних цілей. Система водопостачання виробництва має замкнутий цикл, запобігає забрудненню навколишнього середовища.

Основна продукція – різні марки сплавів – феросилікомарганця, феросиліція, феромарганцю, марганцю металевого.

Крім основної продукції, випускаються металургійне вапно, рідка вуглекислота; переробляються відвалочні феросплавні шлаки з отриманням щебенів і марганець-кремній вміщуючих шлакометалічних сумішей.

На сьогоднішній день феросплавний завод – одне з передових підприємств України, марка запорізьких феросплавів добре відома, як на Україні, так і за кордоном.

Якість продукції відзначена дипломами Державного комітету України по стандартизації, метрології й сертифікації.

На заводі 4 плавильні цехи обладнаних 29 електропечами (сумарна встановлена потужність 500 МВА) і 3 відділення з 5 електропечами; 5 допоміжних цехів, 2 лабораторії (ЦЗЛ, ЦЗЛАММ).

Цех № 1 – 8 печей, що роблять феросилікомарганець передільний і товарний; 2 печі у відділенні гранульованого феросилиція.

Цех № 2 – 5 печей, що виплавляють низьковуглецевий, середньовуглецевий, малофосфористий феромарганець, передільний силікомарганець; 1 вакуумна піч для виробництва ферохрома.

Цех № 3 – 8 печей, що виплавляють середньовуглецевий і високовуглецевий феромарганець, металевий марганець; 2 вакуумні печі для виробництва азотованих ферованадія й металевого марганцю.

Цех № 4 – 8 печей, що виплавляють феросилицій марок ФС-45, ФС-65, феросилікомарганець.

Печі відкриті і закриті (цех № 4) електродугові руднотермічні. Виплавка ведеться безперервним процесом. Печі обладнані механізмами обертання ванни, укриті металевими водоохолоджуваними зводами, мають високий ступінь автоматизації регулювання газового й електрорежима, дозування, подачі завантаження шихти в піч, укомплектовані гідравлічними й пневматичними механізмами переміщення електродів.

Оснащені системою мокрої газоочистки. Контроль змісту газів CO_2 , H_2O_2 , CO , здійснюються газоаналізаторами.

Різні способи розливання гарантують рівномірний розподіл хімічних елементів у злитках сплавів, а дробильносортирувальні установки дозволяють одержати продукцію різного фракційного складу.

1.2 Вантажопотоки феросплавного цеху

Феросплави виплавляють в основному в руднотермічних трифазних електропечах із закритою дугою. По конструкції печі підрозділяють на відкриті (без склепіння) і закриті; по способу установки – на стаціонарні й обертові; по числу електродів – на триелектродні й шестиелектродні; за формою – на циліндричні й прямокутні. У печах закритої конструкції можливе вловлювання газів, що відходять. В обертових печах поліпшуються умови розплавлювання шихти. Потужність сучасних феросплавних печей становить 48–63 МВА з тенденцією до подальшого збільшення до 100 МВА.

До складу сучасного феросплавного цеху входять окремо розташоване шихтове відділення й головна будівля цеху з електропечами. Шихтове відділення призначене для зберігання запасу матеріалів, їхньої підготовки й дозування. При підготовці шихтові матеріали піддають просіванню, дробленню, мийці й сушінню, для чого використовують гуркоти різних типів, щокові й валкові дробарки, мийні барабани й сушила. Підйомно–транспортне устаткування складається з мостових грейферних кранів і стрічкових конвеєрів. Компоненти шихти дозують ваговими стрічковими дозаторами. Матеріали (руду, коксик, металеву дроблену стружку, кварцит і т.д.) доставляють у відділення залізничним транспортом й розвантажують у прийомні бункери. Підготовлену шихту подають із шихтового відділення в головну будівлю стрічковими конвеєрами.

На рис. 1.1 показаний поперечний розріз головної будівлі феросплавного цеху для виплавки феромарганцю із двома обертовими трьохелектродними руднотермічними печами потужністю по 16,5 МВА й чотирма шестиелектродними прямокутними печами стаціонарного типу потужністю 48 і 63 МВА.

Головна будівля цеху виконана із трьома прольотами: грубним I, розливним II і трансформаторним, пов'язаним із грубним прольотом праворуч.

Електропіч 1 – відкритого типу з набивними електродами. Подина печі викладена вугільними блоками, стіни – алюмосилікатними плитами й блоками. Доставку й завантаження електродної маси в кожух електрода роблять машиною

8 кранового типу. Безпосередньо над піччю встановлені механізми 9 переміщення й перепуску електродів й зонти для вловлювання газів і пилу з витяжною трубою.

Для подачі й завантаження шихти в електропечі в цеху встановлені три однотипні конвеєрні системи з тічками, кожна з яких обслуговує дві суміжні печі. У систему входять тракт 6 подачі шихти із шихтового відділення, що складається з двох паралельно розташованих похилих стрічкових конвеєрів, прийомної вирви 7, стаціонарного реверсивного конвеєра 10 з розподільними тічками 5 по обидва боки, двох пересувних реверсивних конвеєра 4, чотирьох груп видаткових бункерів 3 (по дві групи бункерів на піч) і блоки трубо-тічок 2, установлених на кожній печі. Ліва й права групи бункерів шестиелектродної печі складається із семи бункерів кожна.

Похилий конвеєрний тракт служить для подачі шихти з шихтового відділення у верхню частину головної будівлі цеху. Стаціонарний реверсивний конвеєр залежно від напрямку руху стрічки робить передачу шихти на один із двох реверсивних пересувних конвеєрів. Останні здійснюють завантаження шихти в ліві або праві групи видаткових бункерів першої або другої печей. Шихта з видаткових бункерів до електродів подається трубо-тічками, що проходять крізь склепіння печі. У трубо-тічках завжди перебуває шихта, що перешкоджає проходу газів.

Розкриття льотки для випуску феросплаву з печі здійснюють пропалюванням її електричною дугою. Після випуску льотку забивають вогнетривкою масою. Ці операції виконують машиною для розкриття й забивання льотки, керованої дистанційно. Феросплав випускають у прийомний ківш, установлений разом з жужільним ковшем на передатному візку 13. При заповненні прийомного ковша шлаки по його носку зливаються в жужільний ківш. Передача візка із пічного прольоту в розливний і її повернення здійснюються канатною лебідкою.

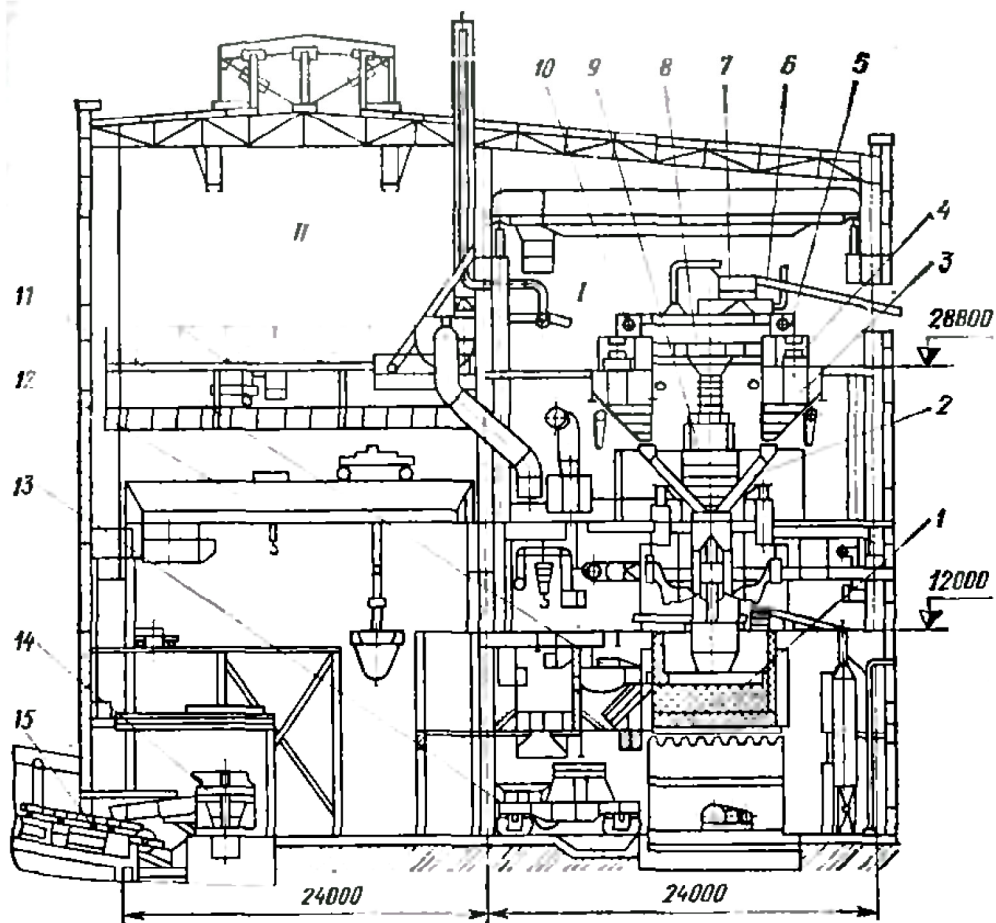


Рисунок 1.1 – Розріз феросплавного цеху (позиції приведені в тексті)

Розливний проліт обслуговують мостові крани 12 загального призначення, які, крім звичайних погрузочно–розвантажувальних робіт, роблять перенос феросплавного й жужільного ковшів з використанням спеціальної вантажозахватної траверси. Ківш із феросплавом установлюють краном на стенд у розливної машини й повертають на злив гідравлічним механізмом кантування 14. Розливання феросплавів у чушки роблять на стрічковій розливній машині 15, що принципово не відрізняється від машини для розливання чавуну. Ківш зі шлаками краном переставляють із передатного візка на шлаковоз і вивозять із цеху локомотивом для подальшої переробки шлаків.

У трансформаторному прольоті головної будівлі встановлені грубні трансформатори, апаратура керування, охолоджувачі масла й устаткування газоочистки із трубами Вентурі.

1.3 Технологія виробництва металевого марганцю

Цех № 4 спеціалізується на випуску металевого марганцю марки Мн95, який виплавляється силікотермічним трьохстадійним способом. Застосовується металевий марганець для легування й розкислення при виплавці спеціальних сталей і сплавів.

I стадія – очищення марганцевої сировини від заліза й сірки. Одержання малофосфористого передільного шлаку з вмістом Мн – 45 %, Р – не більше 0,017%.

II стадія – відновлення окислів марганцю й кремнію. Одержання силікомарганца передільного СМнП зі змістом Мн – 67%, SiO₂ – 30%, Fe – 2%, Р – 0,05%. Постачається гранульованим або дробленим у шматках не більш 40 мм із цеху № 2.

III стадія – відновлення марганцю. Одержання марганцю металевого зі змістом Мн – 96%, Si – не більше 0,8 %, Fe – не більше 2,3%, Р – не більше 0,05%.

Для виробництва ШМП78 застосовуються усереднені марганцеві концентрати (перемішані; концентрати Марганцевого й Орджонікідзевського Гока, Нікопольського басейну; концентрати перемішуються в шихтових приймачах рейферами).

- коксовий дріб'язок;
- кварцовий дріб'язок;
- відвальний шлаки силікомарганцю.

Для виплавки металевого марганцю використовується: рідкий ШМП78 (після випуску з печі), передільний силікомарганець (СМнП), і вапно. На кожну плавку готується одна колоша: ШМП78 – 100 кг, СМнП – 28 кг і вапно 30% СаО – 75 кг.

Виплавка марганцю металевого ведеться періодичним процесом:

- I. заправлення ванни;
- II. завантаження основного відновлювача СМнП;
- III. заливання ШМП78
- IV. завантаження вапна;
- V. розплавлювання шихти й додавання відновлювача, що залишився ($t \approx 1600$ °С);
- VI. випуск плавки.

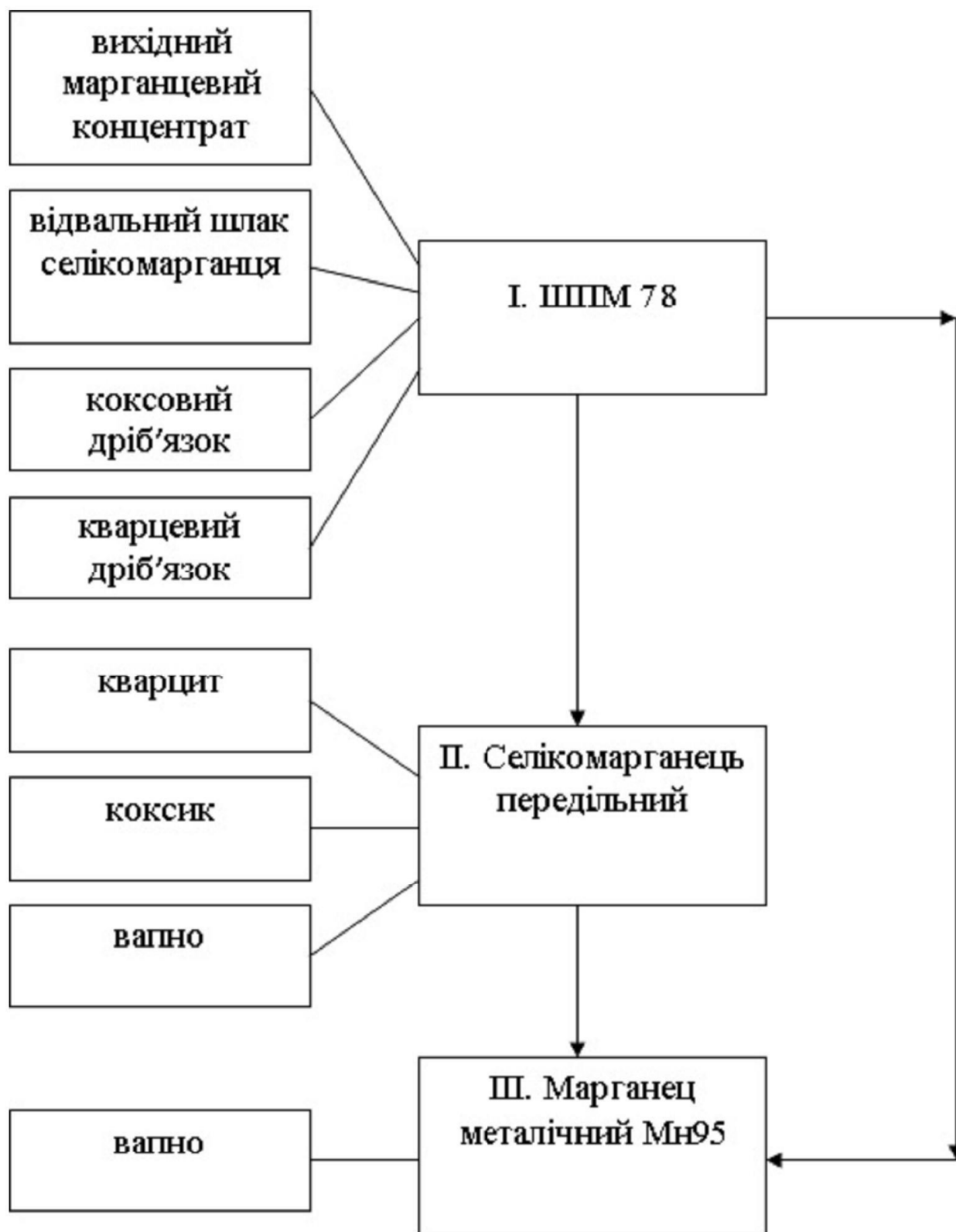


Рисунок 1.2 – Схема одержання металевого марганцю (марки Mn95)

1.4 Характеристика механічного устаткування цеху

Таблиця 1.1 – характеристика механічного устаткування сталеплавильного цеху

№ п/п	Вид устаткування	Тип, марка	Кіл–В, шт.	Місце установки	Основні показники			Примітки
					Продуктив. або вантожопід.	габ. розм., м	маса, т	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вантажопідійомне устаткування								
1.	Мостовий кран: грейферний крюковий		3 1	Шихтов. проліт	Q=10т Q=10т			h=15м h=15м
2.	Мостовий кран (гак.) розливочн.		6 5	Пічний проліт Розлив. проліт	Q=10т(5) Q=20т(1) Q=20/5т(3) Q=50/12,5т(2)	b=14м b=22м		h=16м h=20м h=10м h=16м
Транспортує устаткування								
1.	Стрічковий живильник		18	Шихтов. проліт		l=5,5м b=0,5м		
2.	Візок дозувальний		4	Пічний проліт	Q=10т		5 т	Самох.
Дробильно–сортувальне устаткування								
1	Дробарка шокова	СМД–110 СМД–108	2	Шихтов. проліт			7,5 т	Зі складним хитанням шоки
Розливочне устаткування								
1	Карусельна машина		1	Розлив. проліт	160 т/добу			
2	Розливочна камера		2		по 6 виливниць			
Складське устаткування								
1	Піч сушильна		1	Шихтов. проліт	450 т/сут.			
2	Барaban сушильний		1		100 т/сут.			
3	Бункер шихтовий		18		11 м ³			
4	Бункер завантажувальний		6	Пічний проліт	20 м ³			

1.5 «Вузькі» місця діючого цеху й заходу щодо їхнього усунення

Аналіз устаткування й виробничих процесів у цеху № 4 Запорізького феросплавного заводу показав наявність наступних вузьких місць:

1. Велика кількість обертів ванни під час плавлення, внаслідок чого збільшується кількість шлаків і непроплавленого матеріалу на краях ванни, частий вихід з ладу мурування внаслідок розмивання його металом.
2. Відсутність автоматизованої системи дозування.
3. У старій частині цеху розливання металу проводиться краном, без застосування розливної машини.
4. Відсутність фракціонування готової продукції після розливання металу.
5. Приварювання злитків до виливниць.
6. Видалення гарнісажу з ковша. Негативно впливає на роботу крана.

До заходів щодо усунення даних недоліків можна віднести:

1. Реконструкція механізму обертання ванни зі зниженням числа обертів.
2. Застосування сучасних форм дозування з установкою різних видів точних живильників, ваг і іншого дозувального встаткування.
3. Установка гуркотів для здійснення фракціонування готового марганцю.
4. Застосування різних порошкових сумішей для усунення приварювання зливків до виливниць.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд і аналіз механізмів обертання ванн феросплавних печей

У феросплавних печах у процесі плавлення електроди проплавають у шихті три колодязі; природно, шихта, яка віддалена від електродів, плавиться більш повільно. Для прискорення плавлення на деяких печах ванна повертається на 40° в одну й іншу сторону навколо вертикальної осі зі швидкістю приблизно $1^\circ/\text{сек}$ (тобто один повний оберт ванни за 6 хв). Завдяки цьому замість трьох проплаваються дев'ять колодязів, що прискорює плавку шихти й зменшується небезпека пропалювання подини електродами внаслідок нагромадження більшої кількості рідкого металу після проплавлення дев'яти колодязів. Протягом плавки, що звичайно триває 4–6 год, механізм обертання ванни сталеплавильної печі в цілому працює не більше 15–20 хв. Тривалість одного включення дорівнює 1–2 хв, перерви не менш 15 хв. Слід зазначити, що в результаті підрізування шихти киснем, а також електромагнітного перемішування необхідність у механізмі обертання ванни на електропечах малої й середньої ємності відпала.

Ванни феросплавних електропечей обертають безупинно цілодобово. Оптимальну швидкість обертання підбирають дослідним шляхом. Звичайно швидкість обертання ванн великих печей становить один оберт за 28–166 год.

За літературним даними відомо, що у феросплавних печах з обертовою ванною за інших рівних умов скорочується питома витрата електроенергії й збільшується продуктивність печі.

Механізми обертання ванн виконують із цівочним або зубчастим зачепленням.

На рис. 2.1,а схематично показаний механізм обертання ванни із цівочним зачепленням. Кожух печі з муруванням установлений на чотирьох роликах 8, розташованих на нерухомих тумбах. Ролики 7 перешкоджають зсуву ванни убік при її нахилі під час зливу металу, скочування шлаків і обертання. Привод механізму складається з електродвигуна 1, з'єданого із ведучим валом двоступінчастого черв'ячного редуктора еластичною муфтою 2.

На вертикальному валу 3 редуктора встановлена зірочка 4, зчеплена із цівками 5, розміщеними в цівочному вінці 6. Двоступінчастий черв'ячний редуктор у даному виконанні має передаточне число $i_p = 1008$, а цівочна передача $i_{ц} = 8,06$; загальне передаточне число привода $i = 8125$. Поворот ванни на кут 40° при цьому здійснюється

за час близько 1 хв. Ванну обертають після підняття електродів і склепіння печі вище піскового затвора не менш чим на 100 мм.

Досвід експлуатації механізмів обертання ванн, у яких були передбачені два самогальмівних черв'ячних редуктори (для печей ємністю 10–30 т) і закриті кожухами ролики 8 опорних тумб, виконані на підшипниках ковзання, показав повну непридатність такої конструкції для нормальної роботи печі. Це пояснюється головним чином тим, що в опорні тумби набивається пил, пальці й втулки опорних роликів зношуються, а при виході з ладу одного із приводів слідує поломка іншого.

Заміна підшипників ковзання підшипниками кочення й установка опорних тумб із відкритими роликами дозволили усунути зазначені недоліки механізмів. При цьому значно скоротилася потужність, потрібна для обертання ванни, і виявилось можливим застосувати не два, а один механізми обертання.

На рис. 2.3 показана колиска з механізмом обертання ванни й поворотом склепіння.

Механізм обертання ванни, змонтований на колисці 1 із двома сегментами 9, складається із двох електродвигунів 3 і циліндричних редукторів 2. На вихідних валах редукторів напресовані шестерні 4, що зчіплюються із зубчастими сегментами, закріпленими на кожусі печі (на рис. 2.3 сегменти не показані); кожух печі опирається кільцевим брусом на ролики чотирьох відкритих тумб 5, конструкція яких показана на рисунку праворуч.

Компонування електромеханічного привода обертання феросплавних печей можуть мати різне оформлення. На рис. 2.2 показана одна зі схем такого привода. Ванна 6 обертається навколо вертикальної осі О–О на котках 8, які перекочуються по нерухливому кільцю із середнім діаметром D_1 , установленому на фундаменті. Бічний зсув ванни запобігає вертикальною цапфою 7, що обертається в нерухливому підшипнику. Привод ванни складається з електродвигуна 1, коробки швидкостей 2 (при східчастому регулюванні швидкості), редукторів 3 і 4 і пари відкритих зубчастих коліс 5.

Через малу швидкість обертання ванни необхідне передаточне число може бути отримано лише послідовним включенням двох редукторів. Циліндричні редуктори дешевше, надійніше в роботі й легше можуть бути виконані на більшу величину

переданого крутного моменту, однак вони більше громіздкі. Тому, як правило, перший редуктор від електродвигуна роблять черв'ячним, а другий – циліндричним.

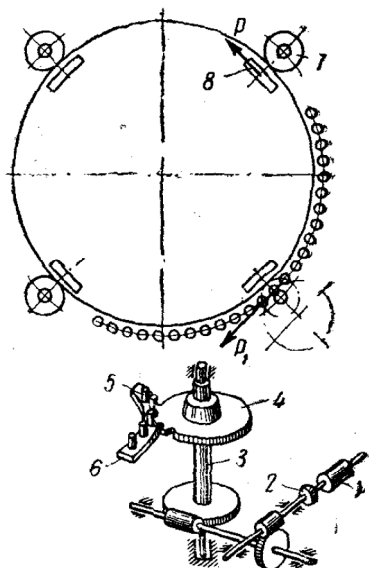


Рисунок 2.1 – Схема механізму обертання із цівочним зачепленням
(позиції наведено в тексті)

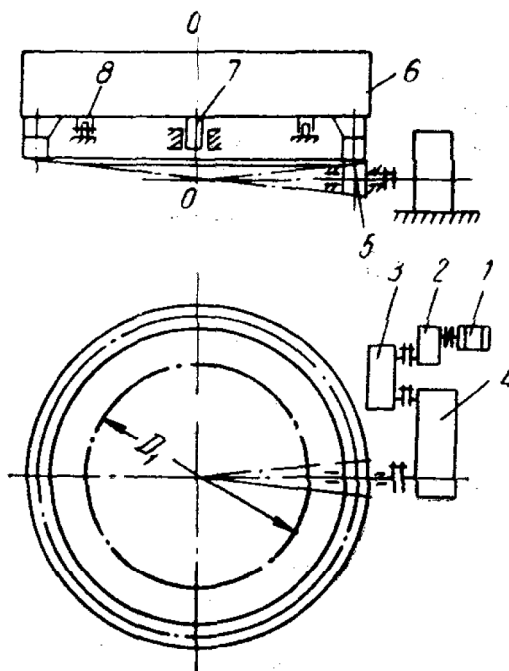


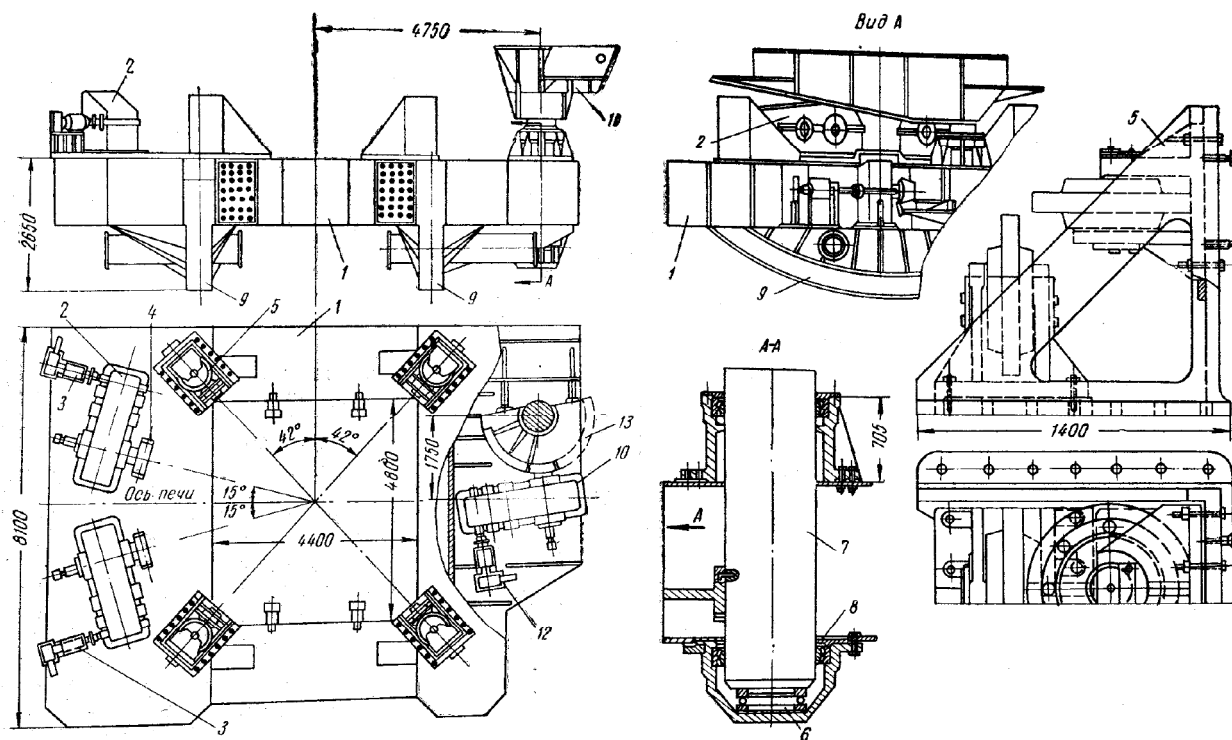
Рисунок 2.2 – Схема механізму обертання феросплавної рудовідновлювальної печі
(позиції наведено в тексті)

Основну зубчасту передачу виконують, як правило, конічною з модулем 30. Великий конічний вінець для зручності вилівка виготовляють із окремих секторів, що збираються після обробки, на болтах.

Опорну плиту виконують із монолітного залізобетону або у вигляді звареної конструкції; перевагу варто віддавати останній, як більш транспортабельній. Кругову рейку виготовляють із окремих шматків сталевого квадрата; робочу поверхню звареного кільця оброблюють.

Кільце на фундаменті встановлюють можливо точніше, тому що порушення горизонтальності робочої поверхні можуть привести до досить нерівномірного розподілу навантаження між окремими котками. Тому іноді вже змонтоване й підлите кільце потім шліфують.

Дослідження показали, що навіть після шліфування кругової рейки з точністю $\pm 0,8$ мм навантаження на окремі котки становлять від 114 до 310 кН при середнім навантаженні 200 кН на коток. Це варто враховувати при розрахунку механізму обертання ванни печі, відповідно знижуючи припустимі навантаження.



1 – коліска печі; 2 – редуктор; 3 – електродвигун механізму обертання ванни; 4 – шестірня на вихідному валу редуктора; 5 – тумба з роликами; 6 – кульовий під'ятник; 7 – вертикальний вал; 8 – сферичний підшипник; 9 – сегмент коліски; 10 – редуктор; 11 – опорна плита; 12 – електродвигун механізму повороту склепіння; 13 – конічна передача.

Рисунок 2.3 – Коліска печі з механізмами обертання ванни й повороту склепіння

2.2 Опис проекту модернізації механізму обертання ванни

У зв'язку з удосконалюванням процесу виплавки металевого марганцю в печах типу РКО–7 потужністю 7 МВА в силу розглянутих далі причин виникла необхідність реконструкції механізмів, що забезпечують її технологічний і експлуатаційний цикл.

У період плавки відбувається розмивання мурування ванни печі розплавом. З метою збільшення терміну служби мурування на ванні передбачені два зливальних носки для випуску розплаву. Етапи виплавки виконуються по черзі, на початку через один носок, а в міру зношування мурування переходять на другий, розташований із протилежної сторони ванни, тобто під кутом 180° .

До реконструкції на цих печах установлювалися механізми, що забезпечують обертання ванни зі швидкістю 3,1 об/годину. Таке обертання визначалося технологічною необхідністю, що полягає в тому, що ведення процесу виконувалося із зануреними електродами в шихту. У цьому випадку швидкість обертання ванни була погоджена зі швидкістю проплавлення тигля, і тим самим виключалася поломка електродів.

Після реконструкції печі, за рахунок удосконалювання технологічного процесу плавки, забезпечено підвищення стійкості мурування ванни шляхом установки двох льоток на різних рівнях і заміни відпрацьованої ванни на нову. Поворот ванни здійснюється головним підйомом мостового крана ливарного прольоту. Знімання ванни виконується з демонтажем і наступним установленням упорних роликів. Вихідна конструкція механізму обертання ванни при цьому була б не в змозі забезпечити необхідної швидкості обертання й, крім того, при кожному підйомі ванни вимагала б демонтажу зірки цевочного колеса. Також, відповідно до правил держтехнадзору, забороняється використання мостового крана для повороту ванни, що тягне, у свою чергу, необхідність постійного демонтажу й відновлення упорного ролика, ухвалено рішення про розробку нового механізму повороту, конструкція якого виключає зазначені недоліки. Запропоновано пропозиції по конструкції цього механізму, що передбачають:

1. використання кульової опори із приводом, розташованим під подиною ванни;
2. розміщення кульової опори й привода обертання на колісці нахилу печі;

3. орієнтовану фіксацію ванни й вільне її знімання.

Вихідні дані до розрахунку:

Вага ванни з металом, т	– 120.
Вага металу, т	– 10.
Кількість опорних куль Z , шт.	– 96.
Режим роботи механізму	– Т.

2.3 Розрахунок привода, найбільш навантажених вузлів і деталей механізму обертання ванни

2.3.1 Розрахунок механізму обертання

Кінематична схема, основні розміри й передатні відносини механізму обертання представлені на рис. 2.4.

Розрахунок механізму обертання містить у собі наступні етапи:

Обчислюється навантаження на одну кульку (рис. 2.4, поз. 2):

$$q = \frac{G}{z_1} \cdot \gamma = \frac{1200000}{96} \cdot 1,1 = 13750 \text{ Н}, \quad (2.1)$$

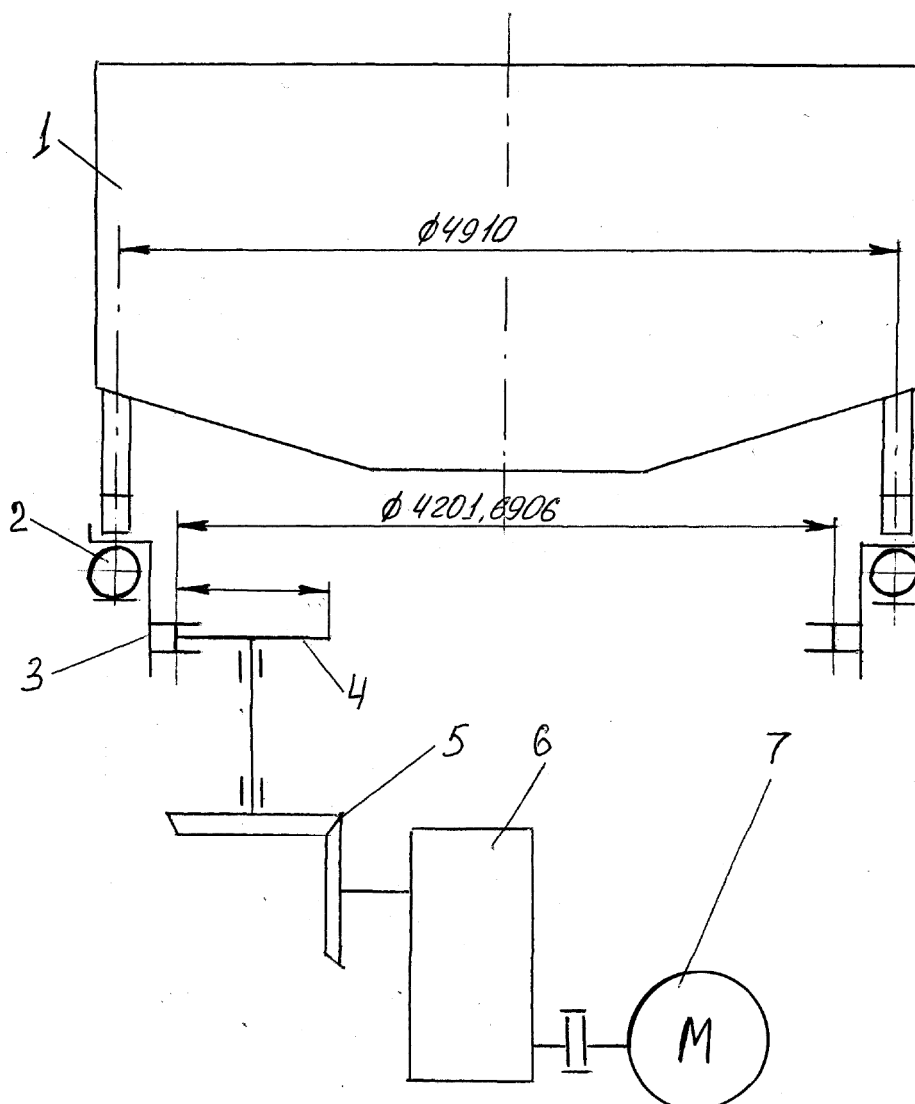
де $G = 1200000 \text{ Н}$ – вага ванни,

$z_1 = 96$ – число куль діаметром 100 мм;

$\gamma = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження на кулі.

В зв'язку з тим, що профіль канавки являє собою трапецію, зусилля на бігову доріжку передається у двох точках. Вважаючи, що сумарна площа плями контакту, при цьому, також подвоюється, доходимо висновку, що нормальні напруження при двухточковому контакті у двоє менше таких як при одноточковому:

$$\sigma_{2\text{см}} = \frac{1}{2} \sigma_{1\text{см}}, \quad (2.2)$$



1 – ванна печі, 2 – опорні кулі, 3 – цівочна шестерня, 4 – цівочна зірочка, 5 – конічна передача, 6 – редуктор, 7 – електродвигун.

Рисунок 2.4 – Кінематична схема приводу обертання ванни печі

Напруження зминання в положенні одноточкового контакту знаходиться по наступній формулі [1, с. 288]:

$$\sigma_{1cm} = \frac{3200}{\alpha_0} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right)^2} \cdot qч = \frac{3200}{0.91} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)^2} \cdot 13750 = 212, \quad (2.3)$$

де $\alpha_0 = \alpha_0(R/r)$ – коефіцієнт форми, обумовлений при $R = r = 5$ см, згідно [1, табл. 6-14, с. 288]. Звідки

$$\sigma_{2\text{см}} = \frac{1}{2} \cdot 212,28 \text{ МПа} = 106,14 \text{ МПа}$$

У той же час, для доріжки, виготовленої зі сталі 55Л, не підданій термічній обробці, [1, табл. 6-15, с. 288], $[\sigma_{\text{см}}] = 110 \text{ МПа}$. Таким чином, $\sigma_{\text{см}} < [\sigma_{\text{cv}}]$, тобто напруження зминання не перевищує припустимих меж.

Зусилля, необхідне для повороту ванни, визначиться рівнянням балансу моментів сил [2, с. 48]:

$$P \cdot d = 2G \cdot K = 2 \cdot 1200000 \cdot 0,05 = 120000 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.4)$$

Тоді

$$P = 120000 \text{ Н} \cdot \text{м} / 0,1 \text{ м} = 12000 \text{ Н}$$

де P – зусилля обертання на діаметрі 4910 мм (рис. 2.4), кг;

$d = 10$ – діаметр кулі;

G – вага ванни, кг;

K – плече моменту сил тертя кочення, см (прийняте для не шліфованої доріжки кочення куль $K = 0,05$ см [2, с. 48]).

Зусилля на цівках шестерні:

$$P_1 = \frac{P \cdot \frac{D}{2}}{\frac{D_{\text{но}}}{2}} = 12000 \cdot \frac{4910}{2} \frac{2}{4201,6905} = 14023,2 \text{ Н}, \quad (2.5)$$

де D – діаметр доріжки кочення куль;

$D_{\text{но}}$ – діаметр н.о. цівочного колеса (рис. 2.4, поз. 3), мм.

Крутний момент щодо осі ванни печі:

$$M_{\text{в}} = P_1 \cdot r = 14023,2 \cdot \frac{4.2002}{2} = 28890,57 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.6)$$

де r – радіус цівочної зірочки по зовнішньому колі.

Потужність двигуна (рис. 2.4, поз. 7):

$$N_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{в}} \cdot n_{\text{дв}}}{9740 \cdot i_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{заг}}} \cdot 1,1 = \frac{28890,57 \cdot 1000}{9740 \cdot 1272,7 \cdot 0,82} \cdot 1,1 = 3,13 \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

де $n_{\text{дв}} = 1000$ об/хв – частота обертання вала двигуна;

$i_{\text{заг}} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 10,9 \cdot 3 \cdot 38,92 = 1272,7$ – загальне передаточне співвідношення;

$\eta_{\text{заг}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,97 = 0,82$ – загальний ККД передачі,

η_1 – ККД цівочної передачі (рис. 2.4, поз. 3, 4),

η_2 – ККД зубчастої конічної пари (рис. 2.4, поз. 5),

η_3 – ККД редуктора (2.4, поз. 6);

1,1 – коефіцієнт пускової потужності.

Момент на валу цівочної зірочки (рис. 2.4, поз. 4):

$$M_{\text{зв}} = \frac{P_1}{\eta} \cdot r = \frac{14023,2}{0,92} \cdot \frac{0,3848}{2} = 2933 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.8)$$

Крутний момент на вихідному валу редуктора:

$$M_{\text{вр}} = \frac{M_{\text{зв}}}{i_2 \cdot \eta_2} = \frac{2933}{3 \cdot 0,92} = 1042,38 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.9)$$

Отриманій величині крутного моменту задовольняє редуктор циліндричний двоступінчастий 1Ц2В-200-40-12. У данім позначенні: 1Ц2В-200 – типорозмір, 40 (фактично 38,92) – передаточне відношення, 11 – варіант складання). Для обраного редуктора припустима в експлуатації величина крутного моменту (3) при роботі в повторно-короткочасному режимі ПВ – 15%: $M_{\text{Г}} = 5000$ Н·м, а в реверсивному повинна бути зменшена на 30%, тобто до $M_{\text{Г}} = 5000/1,3 = 3846,2$ Н·м (тобто отримана в п. 1.7

справжнього розрахунків величина $M_{вр}$ менше M_T). Тоді припустима в експлуатації потужність на вихідному валу редуктора 1Ц2В-200-40-12 складе:

$$N_T = \frac{M_T \cdot n_{дв}}{9740 \cdot i_3} = \frac{3846,2 \cdot 1000}{9740 \cdot 38,98} = 10,13 \text{ кВт}, \quad (2.10)$$

що значно перевищує потрібну для привода механізму обертання потужність двигуна ($N_{дв} = 3,9$ кВт).

При цьому швидкість обертання ванни складе:

$$n_v = \frac{n_{дв}}{i_{об}} = \frac{1000}{1244,7} = 0,803 \text{ хв}^{-1}, \quad (2.11)$$

2.3.2 Розрахунок елементів конструкції механізму повороту ванни

2.3.2.1 Цівочна передача

Діаметр цівки визначається з умови зношування:

$$d = 0,124 \cdot \sqrt{\frac{P_1}{\beta}} = 0,124 \cdot \sqrt{\frac{14023,2}{2,5}} = 0,03 \text{ м}, \quad (2.12)$$

де P_1 – зусилля на цівках шестерні,

$\beta = b/d$ – коефіцієнт ширини зуба, прийнятий рівним 2,5.

З конструктивних міркувань обираємо значення $d = 0,038$ м.

Далі знаходимо крок зачеплення:

$$t = \frac{d}{0,475} = \frac{0,038}{0,475} = 0,08 \text{ м}; \quad (2.13)$$

i ширина зубчастого колеса:

$$b = \beta \cdot d = 2,5 \cdot 0,038 = 0,095 \text{ м}, \quad (2.14)$$

Міцність цівки знаходимо з умови опору вигину (рис. 2.5) [4]:

$$\sigma = \frac{P_1}{0,4 \cdot d^3} \cdot \left(1 - \frac{b}{2}\right) = \frac{14023,2}{0,4 \cdot 0,038^3} \cdot \left(0,145 - \frac{0,095}{2}\right) = 62,3 \text{ МПа}, \quad (2.15)$$

де l – довжина прольоту (рис. 2.5).

Запас міцності цівок, виготовлених з матеріалу Ст45 з межею міцності 60 МПа:

$$n = \frac{60}{62,3} = 0,965, \quad (2.16)$$

Число цівок:

$$z = \frac{\pi \cdot D_{\text{НО}}}{t} = \frac{3,14 \cdot 420,16905}{8} = 165, \quad (2.17)$$

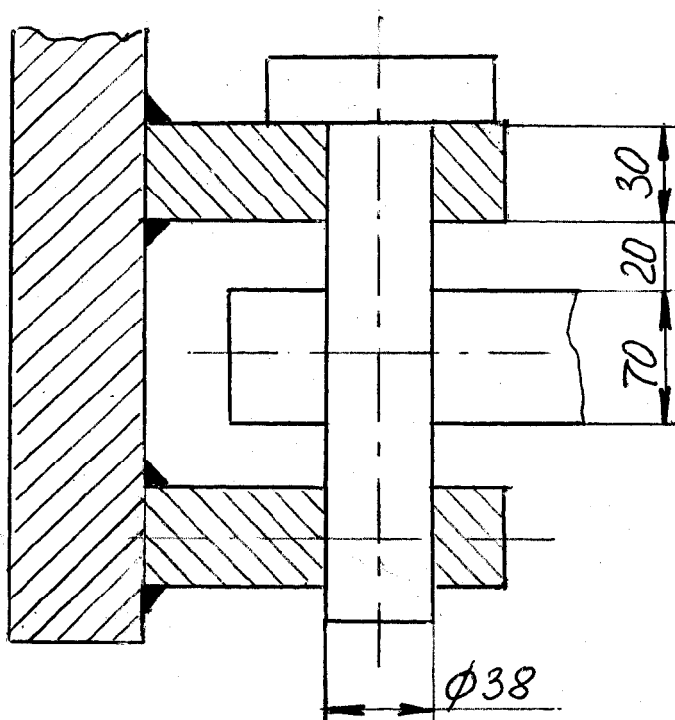


Рисунок 2.5 – Схема розрахунку цівки

2.3.2.2 Зубчаста конічна передача

Частота обертання конічної шестерні дорівнює вихідного вала редуктора:

$$n_{\text{ш}} = n_{\text{в.р}} = \frac{n}{i_3} = \frac{1000}{38,92} = 25,69 \text{ хв}^{-1}, \quad (2.18)$$

Частота обертання колеса:

$$n_{\text{к}} = \frac{n_{\text{ш}}}{i_2} = \frac{25,69}{3} = 8,56 \text{ хв}^{-1}, \quad (2.19)$$

Крутний момент на валу шестерні дорівнює крутному моменту вихідного вала редуктора:

$$M_{\text{ш}} = M_{\text{в.р}} = 1062,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Торцевий модуль зачеплення на зовнішньому діаметрі:

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_s \cdot (\psi_{\text{к}} - 0,5)}{\psi_{\text{к}}} = \frac{8 \cdot (3,33 - 0,5)}{3,33} = 6,8, \quad (2.20)$$

де $\Psi_{\text{до}}$ – відношення конусної відстані до робочої ширини концентричного зубчастого колеса: $\Psi_{\text{до}} = L/b = 240/72 = 3,33$ [6, с. 9].

Конусна відстань:

$$L = 0,5 \cdot m_s \cdot \sqrt{z_{\text{ш}}^2 + z_{\text{к}}^2} = 0,5 \cdot 8 \cdot \sqrt{20^2 + 60^2} = 252,9 \text{ мм}, \quad (2.21)$$

З рівності: $\text{tg} \varphi_{\text{к}} = i_2 = 3$, знаходимо кут початкового конуса колеса:

$$\varphi_{\kappa} = 72^{\circ}30', \quad (2.22)$$

Кут початкового конуса шестерні:

$$\varphi_{\text{ш}} = 90^{\circ} - \varphi_{\kappa} = 90^{\circ} - 72^{\circ}30' = 17^{\circ}30', \quad (2.23)$$

Кут головки зуба колеса:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{R}} &= \arctg(f_0) = \arctg(\text{tg}\Delta_{\kappa}) = \arctg\frac{m_s}{L} = \\ &= \arctg\frac{8}{252,9} = \arctg(0,031633) = 1,811895^{\circ} = 1^{\circ}48'43'' \end{aligned}$$

і шестерні:

$$\Delta_{\text{ш}} = \arctg(\text{tg}\Delta_{\text{ш}}) = \arctg\frac{m_s \cdot f_0}{L} = \arctg\frac{8 \cdot 0,031633}{252,9} = \arctg(0,0010) = 0,057332^{\circ} = 3'26''$$

Кут ніжки зуба шестерні й колеса:

$$\gamma_{\text{ш}} = \gamma_{\kappa} = \arctg\left(\frac{1,25 \cdot m_s}{L}\right) = \arctg\frac{1,25 \cdot 8}{252,9} = \arctg(0,03954) = 2^{\circ}15'51'', \quad (2.24)$$

Кут конуса виступів:

а) шестерні:

$$\varphi_{\text{еш}} = \varphi_{\text{ш}} + \Delta_{\text{ш}} = 17^{\circ}30' + 3'26'' = 17^{\circ}33'26'', \quad (2.25)$$

б) колеса:

$$\varphi_{\text{ек}} = \varphi_{\kappa} + \Delta_{\kappa} = 72^{\circ}30' + 1^{\circ}48'43'' = 74^{\circ}18'43'', \quad (2.26)$$

Кут конуса западин шестерень:

а) шестерні:

$$\varphi_{iш} = \varphi_{ш} + \gamma_{ш} = 17^{\circ}30' - 2^{\circ}15'51'' = 15^{\circ}14', \quad (2.27)$$

б) колеса:

$$\varphi_{iк} = \varphi_{к} + \gamma_{к} = 72^{\circ}30' - 2^{\circ}15'51'' = 70^{\circ}14', \quad (2.28)$$

Діаметр ділительного кола:

а) шестерні:

$$d_{дш} = m_s \cdot z_{ш} = 8 \cdot 20 = 160 \text{ мм}, \quad (2.29)$$

б) колеса:

$$d_{дк} = m_s \cdot z_{к} = 8 \cdot 60 = 480 \text{ мм}, \quad (2.30)$$

Діаметр окружності виступів:

а) шестерні:

$$D_{еш} = m_s \cdot (z_{ш} + 2 \cos \varphi_{ш}) = 8 \cdot (20 + 2 \cos(17^{\circ}30')) = 175,26 \text{ мм}, \quad (2.31)$$

б) колеса:

$$D_{ек} = m_s \cdot (z_{к} + 2 \cos \varphi_{к}) = 8 \cdot (60 + 2 \cos(72^{\circ}30')) = 484,81 \text{ мм}, \quad (2.32)$$

Еквівалентне число зубів:

а) шестерні:

$$z_{эш} = \frac{z_{ш}}{\cos \varphi_{ш}} = \frac{20}{0,9537201} = 20,9705, \quad (2.33)$$

б) колеса:

$$z_{\text{ЭК}} = \frac{z_{\text{К}}}{\cos \varphi_{\text{К}}} = \frac{60}{0,3007468} = 199,0336, \quad (2.34)$$

Перевірочний розрахунок на міцність зводиться до перевірок на запобігання пластичної деформації або тендітного руйнування при однократному навантаженні з найбільшим навантаженням і по вигину – на втомне руйнування в умовах багаторазового навантаження.

Перевірка поверхні зубів на запобігання пластичної деформації або тендітного руйнування:

Діючі контактні напруження:

$$\sigma_{\text{II}} = \frac{1045}{L - 0,5b} \cdot \sqrt{\frac{(i_2^2 + 1)^3}{i_2 \cdot b \cdot k_{\alpha}}} \cdot M_{\text{III}} = \frac{1045}{0,025 - 0,5 \cdot 0,008} \cdot \sqrt{\frac{(3^2 + 1)^3}{3 \cdot 8 \cdot 1}} \cdot 1062,5 = 580,7 \text{ МПа}$$

де b – ширина зуба;

k_{α} – коефіцієнт кута зачеплення (для некоригованих зубчастих передач: $k_{\alpha} = 1$).

Можливе найбільше короткочасне навантаження протягом усього періоду роботи передачі, що не приводить до пластичних деформацій:

$$\sigma_{\text{II,max}} = [\sigma]_{\text{II}} \cdot \sqrt{\frac{(M_{\text{III}})_{\text{max}}}{M_{\text{III}}}} = [\sigma]_{\text{II}} \cdot \sqrt{\frac{M_{\text{III}} \cdot 1,1}{M_{\text{III}}}} = [\sigma]_{\text{II}} \cdot \sqrt{1,1} = 575 \cdot \sqrt{1,1} = 603,1 \text{ МПа},$$

де $[\sigma]_{\text{II}} = C_{\text{Б}} \cdot H_{\text{Б}} \cdot K_{\text{Р}}$ – максимальна припустима контактна напруження стиску, що не приводить до втомного викрашування;

$C_{\text{Б}} = 25$ – коефіцієнт [6, табл. 17];

$H_{\text{Б}} = 23 \text{ МПа}$ – твердість поверхні зубів [6, табл. 17];

$K_{\text{Р}} = 1$ – коефіцієнт режиму роботи [6, табл. 18];

M_{III} – крутний момент на шестерні.

$(M_{\text{III}})_{\text{max}} = M_{\text{III}} \cdot 1,1$ – максимально крутний момент на шестерні (з урахуванням коефіцієнта пускової потужності).

Отже, $\sigma_{\text{II}} < \sigma_{\text{II,max}}$, тобто контактні напруження на зубах передачі не перевищують припустимих значень.

Вигибні напруження на зубах.

Еквівалентні числа зубів:

а) шестерні:

$$z_{3.ш.} = \frac{z_{ш.} \cdot \sqrt{i_2^2 + 1}}{i_2} = \frac{20 \cdot \sqrt{3^2 + 1}}{3} \cong 21;$$

б) колеса:

$$z_{3.к.} = z_{к.} \cdot \sqrt{i_2^2 + 1} = 60 \cdot \sqrt{3^2 + 1} \cong 190.$$

Коефіцієнт форми зуба [6, табл. 8, с. 15]:

а) шестерні: $z_{3.ш.} = 0,389$;

б) колеса: $z_{3.к.} = 0,516$.

Тоді вигинаючі напруження на зубах:

а) шестерні:

$$\sigma_{и.ш.} = \frac{L \cdot M_{ш.} \cdot \sqrt{i_2^2 + 1}}{b \cdot m_s \cdot y_{э.ш.} \cdot (L - 0,5b)^2} = \frac{0,025 \cdot 1062,5 \cdot \sqrt{3^2 + 1}}{8 \cdot 0,8 \cdot 0,389 \cdot (0,025 - 0,5 \cdot 0,008)^2} = 75,3 \text{ МПа},$$

б) колеса:

$$\sigma_{и.к.} = \sigma_{и.ш.} \cdot \frac{y_{э.ш.}}{y_{э.к.}} = 75,3 \cdot \frac{0,389}{0,516} = 56,7 \text{ МПа}.$$

Межа витривалості при вигині з пульсуючим циклом:

а) для матеріалу шестерні (сталь 40Х); термічна обробка – загартування, відпустка:

$\sigma_{ВР} = 490 \text{ МПа}$; $\sigma_{Т} = 655 \text{ МПа}$; $H_B = 212 \div 248$ [5, с. 144]:

$$\sigma_{-1ш.} = 0,25 \cdot (\sigma_{ВР} + \sigma_{Т}) + 5 = 0,25 \cdot (490 + 655) + 5 = 336,25 \text{ МПа};$$

б) для матеріалу колеса (сталь 45; термічна обробка – нормалізація: $\sigma_{ВР} = 245 \text{ МПа}$; $\sigma_{Т}$

$= 470 \text{ МПа}$; $H_B = 143 \div 179$ [5, с. 144]:

$$\sigma_{-1к.} = 0,25 \cdot (\sigma_{ВР} + \sigma_{Т}) + 5 = 0,25 \cdot (245 + 470) + 5 = 228,75 \text{ МПа}.$$

Передаточному числу $i_3 = 3$ [6, табл. 15] (при інтерполяції табличних даних) повинна відповідати наступна умова для відношення межі витривалості:

$$\frac{\sigma_{-1_0}}{\sigma_{-1_E}} \geq 1,175, \quad (2.35)$$

у той час, як у дійсності

$$\frac{\sigma_{-1_{ш}}}{\sigma_{-1_K}} = \frac{336,25}{228,75} = 1,470,$$

що свідчить про правильність підбора сполучення матеріалів і режимів термообробки колеса й шестерні.

Запас міцності (n) [6, табл. 20] для шестерні 2,5, для колеса – 2.

Ефективний коефіцієнт концентрації напружень [6, табл. 21]: $k_\sigma = 1,5$.

Напруження вигину, що допускається, при навантаженні однією стороною [6, с. 19] визначається залежністю:

$$[\sigma]_{II} = \frac{1,4 \cdot \sigma_{-1}}{n \cdot k_\sigma} \cdot k_{P.I}, \quad (2.36)$$

де n – запас міцності;

k_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;

$k_{P.I}$ – коефіцієнт режиму роботи; тоді, при $k_{P.I} = 1$ [6, табл. 22]:

а) для шестерні:

$$[\sigma]_{и.ш} = \frac{1,4 \cdot 336,25}{2 \cdot 1,5} = 156,92 \text{ МПа},$$

$$\text{Т.ч. } \sigma_{и.ш} = 75,3 \text{ МПа} < [\sigma]_{и.ш};$$

б) для колеса:

$$[\sigma]_{\text{и.к}} = \frac{1,4 \cdot 226,75}{2 \cdot 1,5} = 105,82 \text{ МПа},$$

$$\text{т.ч. } \sigma_{\text{и.до}} = 56,77 \text{ МПа} < [\sigma]_{\text{и.к}}.$$

Отже, вигинаючі напруження в колесі й шестерні не перевищують припустимих значень. Таким чином, перевірочний розрахунок підтверджує працездатність спроектованого механізму.

2.3.2.3 Вал цівочної шестерні

Окружне зусилля на цівочній шестерні (рис. 2.4):

$$P_{\text{д}}^{I-I} = \frac{2M_{\text{кр.}}^{I-I}}{D_{\text{зв.}}} = \frac{2 \cdot 2933}{0,0385} = 15240 \text{ Н}, \quad (2.37)$$

де $M_{\text{кр.}}^{I-I} = M_{\text{зв.}}$,

$D_{\text{зв.}}$ – діаметр цівочної зірочки.

Радіальне зусилля:

$$P_{\text{r}} = P_{\text{д}}^{I-I} \cdot \text{tg} \alpha_{\text{д}} = 15240 \cdot \text{tg} 20^{\circ} = 15240 \cdot 0,364 = 5540 \text{ Н}, \quad (2.38)$$

Згинальний момент:

$$M_{\text{из.}}^{I-I} = P_{\text{r}} \cdot l_1 = 5540 \cdot 0,045 = 249,3 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.39)$$

Наведений згинальний момент:

$$M_{\text{пр.из}}^{I-I} = \sqrt{M_{\text{из.}}^{I-I^2} + M_{\text{кр.}}^{I-I^2}} = \sqrt{249,3^2 + 2933^2} = 2943,6 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.40)$$

За умови, що матеріал вала – сталь 45, термообробка «нормалізація» (допустиме напруження на вигин: $\sigma_3 = 135 \text{ МПа}$ [7, с. 86, табл. 15], діаметр вала:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{пр.из}}^{I-I}}{\sigma_{\text{из}} \cdot 0,1}} = \sqrt[3]{\frac{2943,6}{135 \cdot 0,1}} = 0,06\text{м}, \quad (2.41)$$

З урахуванням запасу, необхідного для шліцевого з'єднання вала із цівочною шестірнею, діаметр вала необхідно збільшити $\approx 10\%$: приймаємо $d_1 = 65$ мм.

Радіальне зусилля й крутний момент:

$$P_{r_2} = 5540\text{Н}, \quad M_{\text{кр.}}^{II-II} = 2933\text{Н} \cdot \text{м}, \quad (2.42)$$

Згинальний момент:

$$M_{\text{из.}}^{II-II} = P_{r_1} \cdot l_2 = 5540 \cdot 0,123 = 681,4\text{Н} \cdot \text{м}, \quad (2.43)$$

Наведений згинальний момент:

$$M_{\text{пр.из}}^{II-II} = \sqrt{M_{\text{из.}}^{II-II^2} + M_{\text{кр.}}^{II-II^2}} = \sqrt{681,4^2 + 2933^2} = 3011,1\text{Н} \cdot \text{м}, \quad (2.44)$$

Діаметр вала знаходиться аналогічно:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{пр.из}}^{II-II}}{\sigma_{\text{из}} \cdot 0,1}} = \sqrt[3]{\frac{3011,1}{135 \cdot 0,1}} = 0,0606\text{см}, \quad (2.45)$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d_2 = 70$ мм.

Розрахунок перетину III–III.

Окружне зусилля:

$$P_{\text{д}}^{\text{III-III}} = \frac{M_{\text{кр.}}^{\text{III-III}}}{r_{\text{к}}} = \frac{2933}{0,02} = 14665\text{Н},$$

де $M_{кр.}^{III-III} = M_{кр.}^{I-I}$,

$$r_k = \frac{0,04}{2} = 0,02\text{ м} - \text{радіус колеса в середній частині по лінії зачеплення.}$$

Радіальне зусилля:

$$P_{r_3} = P_{д.}^{III-III} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{д.} \cdot \cos \varphi_{ш} = 14665 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ \cdot \cos 17^\circ 30' = 14665 \cdot 0,36397 \cdot 0,95459 = 5095,2\text{ Н.}$$

де $\varphi_{ш}$ – кут початкового конуса шестірні.

Згинальний момент:

$$M_{из.}^{III-III} = P_{r_3} \cdot l_3 = 5095,2 \cdot 0,015 = 764,28\text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Наведений згинальний момент:

$$M_{пр.из.}^{III-III} = \sqrt{M_{из.}^{III-III^2} + M_{кр.}^{III-III^2}} = \sqrt{764,28^2 + 2933^2} = 3030,9\text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Діаметр вала знаходиться аналогічно:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{M_{пр.из.}^{III-III}}{\sigma_{из.} \cdot 0,1}} = \sqrt[3]{\frac{3030,9}{135 \cdot 0,1}} = 0,0607\text{ м,}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d_3 = 70$ мм.

Розрахунок перетину IV–IV.

Радіальне зусилля й крутний момент (ті ж, що й у перетині III–III):

$$P_{r_4} = 5095,2\text{ Н, } M_{кр.}^{IV-IV} = 2933\text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Згинальний момент:

$$M_{из.}^{IV-IV} = P_{r_4} \cdot l_4 = 5095,2 \cdot 0,075 = 382,14\text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Наведений згинальний момент:

$$M_{\text{пр.из}}^{\text{IV-IV}} = \sqrt{M_{\text{из}}^{\text{IV-IV}^2} + M_{\text{кр.}}^{\text{IV-IV}^2} = \sqrt{382,14^2 + 2933^2} = 2957,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знаходимо діаметр вала:

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{пр.из}}^{\text{IV-IV}}}{\sigma_{\text{из}} \cdot 0,1}} = \sqrt[3]{\frac{2957,8}{135 \cdot 0,1}} = 0,0607 \text{ м},$$

Так як колесо на валу кріпиться шпонкою й через його ослаблення діаметр повинен бути збільшений на 5%, приймаємо:

$$d_4 = 6,07 + 0,3 = 6,38 \text{ см} = 63,8 \text{ мм}.$$

З огляду на особливі умови експлуатації привода для повороту печі, доцільно виготовити вал зі сталі 40Х (допустиме напруження при вигині 155 МПа, термічна обробка – «нормалізація» [7]).

2.3.2.4 Посилення механізму повороту печі

Існуючий механізм нахилу печі складається із двох качалок, з'єднаних між собою двома балками. Передбачена в проекті реконструкції установка на нього кулькової опори, на якій виробляється поворот ванни, вимагає для себе опорної площадки. Особливою умовою для нижньої обойми, по якій перекочуються кулі, є твердість опорної площадки. Міцність цієї площадки повинна запобігати прогин нижньої кулькової обойми. Для цього на кінцях існуючих качалок кріпляться прямі балки коробчатого перетину (див. рис. 2.6).

З їхньою допомогою утвориться прямокутна площадка, на яку встановлюється проміжне сталеве кільце, що має з однієї сторони оброблену рівну поверхню. Для виставки цього кільця в горизонтальне положення на ньому передбачені регулювальні болти й болти для його кріплення на площадці. Величина площинності верхньої поверхні проміжного кільця не повинна перевищувати 0,05 мм. Під нижньою

поверхнею кільця встановлюються прокладки для вибірки зазору між кільцями й опорною площадкою, після чого проміжне кільце закріплюється.

Як рекомендація, пропонуємо розглянути варіант одержання близької до ідеальної контактної поверхні для обпирання проміжного кільця шляхом використання сумішей, що самотвердіють (наприклад, епоксидної смоли з металевим порошком як наповнювач, у відсотковому відношенні 70% на 30% – відповідно). Для цього під проміжним кільцем необхідно передбачити ємність на зразок ванночки, дно якої буде утворено площадкою механізму нахилу, обгородженої бортиками висотою ≈ 30 мм. Причому, зовнішній діаметр ванночки повинен бути на 30 мм більше зовнішнього діаметра проміжного кільця, а внутрішній – на 30 мм менше того ж кільця. При цьому нижню поверхню прилягання проміжного кільця варто змазати тонким шаром масла щоб уникнути прилипання епоксидної смоли. Далі потрібно зробити горизонтальну вивірку верхньої поверхні кільця, як описано раніше, під зазор, що утворився, залити епоксидну суміш із боку бортів ванночки. Суміш необхідно заливати з однієї сторони (для запобігання утворення повітряних міхурів) доти, поки вільна поверхня залитої суміші не досягне рівня, що відстоїть від нижньої крайки проміжного кільця приблизно на 10 мм. Після заливання потрібна витримка не менш 3–х діб для повного затвердіння.

Розрахунок балок виконано по методиках [8, с. 136 – 9, с. 169]. Ескіз балки із вказівкою місць розташування розрахункових перетинів, схема навантаження й епюра згинальних моментів представлені на рис. 2.7, а, б, у відповідно.

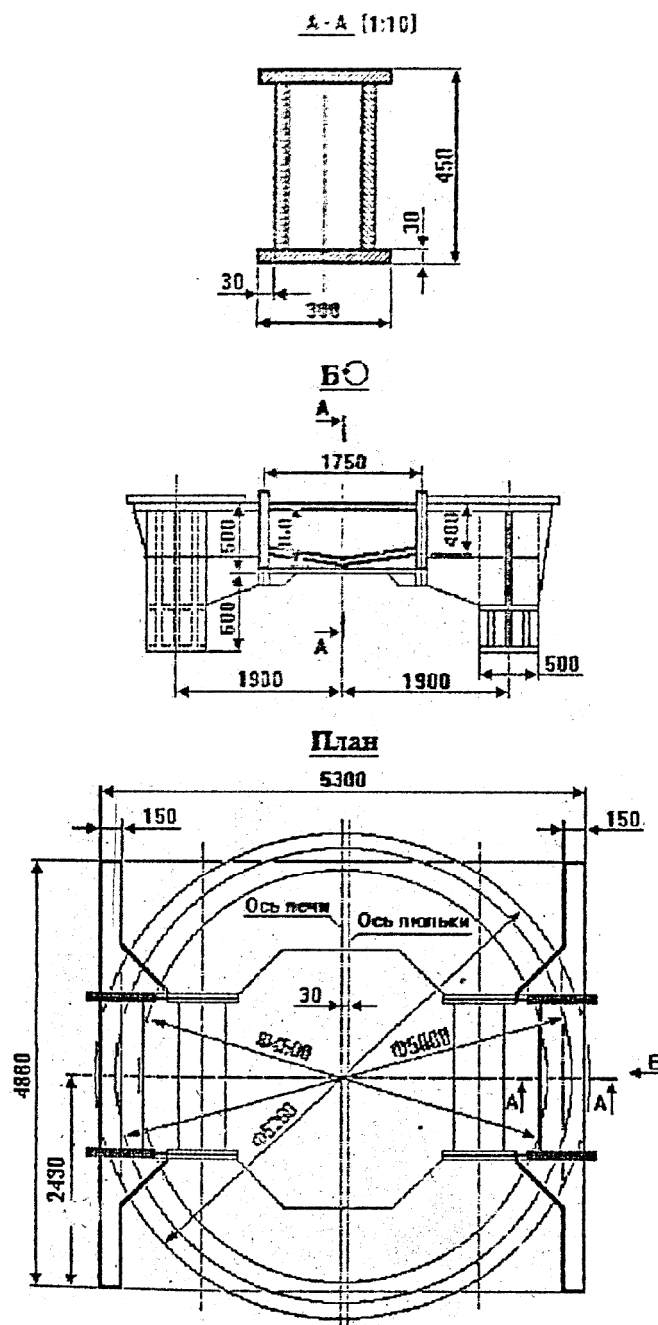


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема колиски
Рівномірно розподілене лінійне навантаження на балку (див. рис. 2.7 б):

$$q = \frac{Q/4}{L} = \frac{300000}{3,8} = 78947 \text{ Н/м}, \quad (2.46)$$

де $Q = 1200000/4 = 300000 \text{ Н}$ – частка ваги печі, що доводиться на одну із двох балок, що сприймають згинальний момент.

Розрахунок напруженого стану в перетині I-I.

Моменти інерції перетинів щодо осей x-x (рис. 2.8):

а) для поясів:

$$I_{\pi} = 2 \left[\frac{Hh^3}{12} + Hh(z_1 + 0,5h)^2 \right] = 2 \left[\frac{30 \cdot 3^3}{12} + 30 \cdot 3(18,5 + 0,5 \cdot 3)^2 \right] = 72135 \text{см}^4, \quad (2.47)$$

б) для стінок:

$$I_c = 3 \frac{h_1 H_1^3}{12} = 3 \frac{3 \cdot 39^3}{12} = 44489 \text{см}^4, \quad (2.48)$$

в) загальний:

$$I_{\text{об}}^{I-I} = I_{\pi} + I_c = 72135 + 44489 = 116624 \text{см}^4.$$

Згинальний момент при $x=1/2$:

$$M_{\text{из}} = \frac{qL^2}{8} = \frac{78947 \cdot 3,8^2}{8} = 142486,7 \text{Н} \cdot \text{м}, \quad (2.49)$$

Момент опору перетину щодо осі $x-x$:

$$W = \frac{I_{\text{об}}^{I-I}}{z} = \frac{116624}{20} = 5831,2 \text{см}^3, \quad (2.50)$$

Напруження в перетині:

$$\sigma_{I-I} = \frac{M_{\text{из}}}{W} = \frac{1424867}{5831,2} = 244,35 \text{МПа}.$$

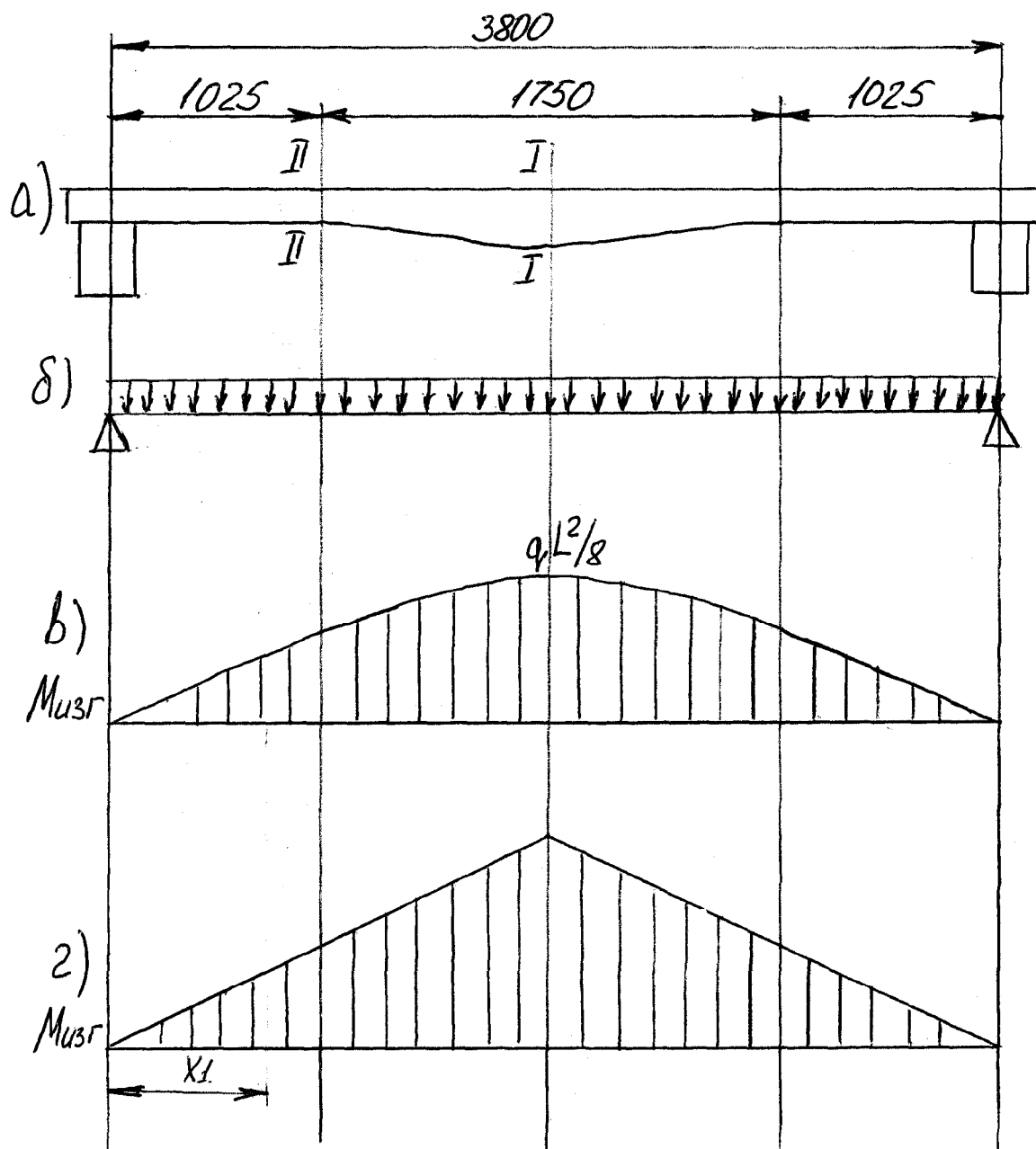
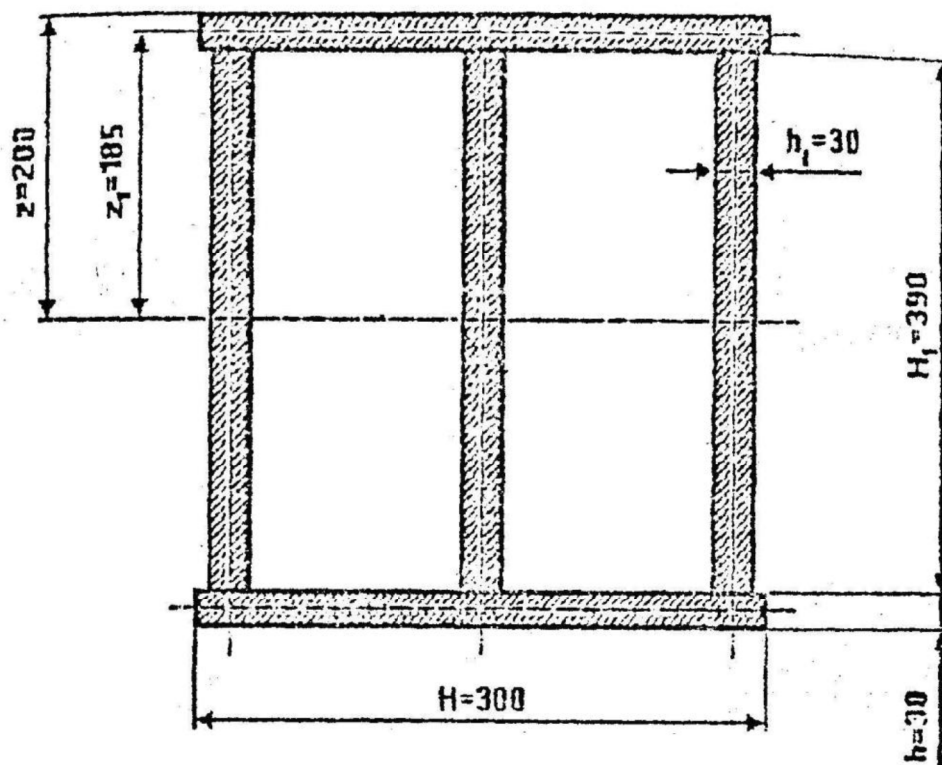


Рисунок 2.7 – Ескіз балки й розрахункові епюри

Перетин I-I



Перетин II-II

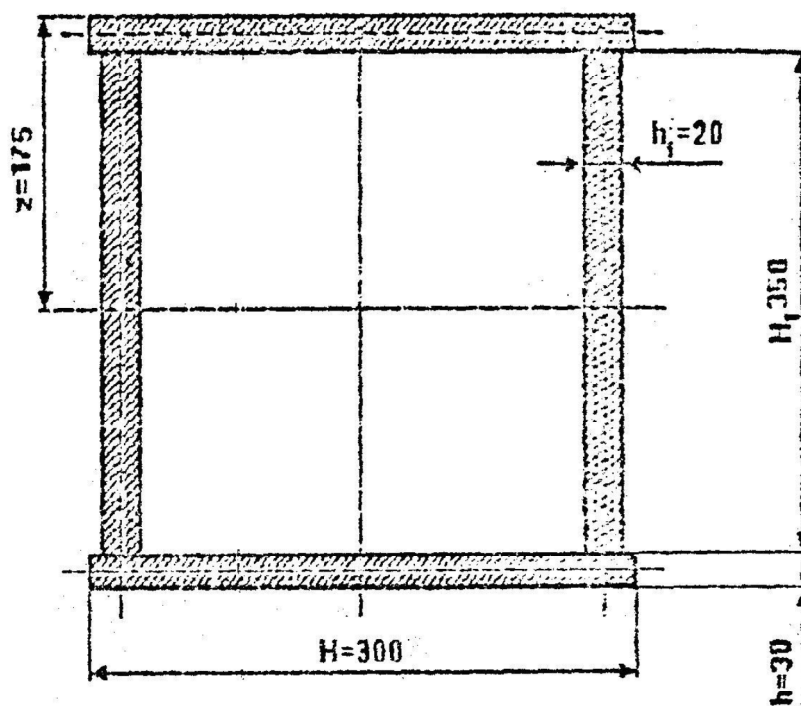


Рисунок 2.8 – Розрахункові перетини балок

Розрахунок напруженого стану в перетині II–II.

Моменти інерції перетинів щодо осей x–x (рис. 2.8):

а) для поясів:

$$I_{II} = 2 \left[\frac{Hh^3}{12} + Hh(z_1 + 0,5h)^2 \right] = 2 \left[\frac{30 \cdot 3^3}{12} + 30 \cdot 3(16 + 0,5 \cdot 3)^2 \right] = 55260 \text{см}^4;$$

б) для стінок:

$$I_c = 3 \frac{h_1 H_1^3}{12} = 3 \frac{2 \cdot 39^3}{12} = 8130 \text{см}^4;$$

в) загальний:

$$I_{II-II}^{o6} = I_{II} + I_c = 55260 + 8130 = 63390 \text{см}^4.$$

Згинальний момент при $x=1/2$:

$$M_{из} = \frac{ql^2}{8} = \frac{78947 \cdot 1,025^2}{8} = 10367 \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору перетину щодо осі x–x:

$$W = \frac{I_{II-II}^{o6}}{z} = \frac{63390}{17,5} = 3622 \text{см}^3.$$

Напруження в перетині:

$$\sigma_{II-II} = \frac{M_{из}}{W} = \frac{10367}{3622} = 28,6 \text{МПа}.$$

Стріла прогину балки змінного перетину визначається з використанням інтеграла Мору, що обчислюється графоаналітичним способом Верещагіна [10, с. 160–163]:

$$f_{I-1} = \sum_{i=1}^4 \frac{\omega_i \eta_{c_i}}{EI_{об_i}}, \quad (2.51)$$

де $i = 1, \dots, 4$ – номери ділянок навантаження;

ω_i – площа нелінійної епюри згинальних моментів на ділянках,

$$\omega_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} M_{из}(x) dx, \quad (2.52)$$

η_{c_i} – ордината лінійної епюри згинальних моментів (мал. 2.7, г) від одиничного навантаження під центром ваги площадки ω_i .

З огляду на те, що перетин балки на ділянках $i = 2, 3$ міняється незначно, приймаємо його постійним. Через симетричний характер навантаження балки досить виконати розрахунок на ділянках, що становлять половину балки, тоді (2.51) прийме вигляд:

$$f_{I-1} = \frac{2}{E} \left[\frac{\omega_1 \eta_{c_1}}{I_{об}^{I-I}} + \frac{\omega_2 \eta_{c_2}}{I_{об}^{II-II}} \right], \quad (2.53)$$

Епюра згинальних моментів, від рівномірно розподіленого навантаження являє собою квадратичну параболу:

$$M_{из}(x) = \frac{qL}{2}x - \frac{qx^2}{2}, \quad x \in [0, L], \quad (2.54)$$

З огляду на (2.54) вираження (2.52) для довільної ділянки інтегрування приймає наступний вигляд:

$$\omega_1 = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \left[\frac{qL}{2} x - \frac{qx^2}{2} \right] dx = \frac{q}{2} \left[\frac{Lx^2}{2} - \frac{x^3}{3} \right]_{x_i}^{x_{i+1}}, \quad (2.55)$$

склепінняки

$$\omega_1 = \frac{ql^2}{2} \left[\frac{Ll^2}{2} - \frac{l^3}{3} \right], \quad (2.56)$$

$$\omega_2 = \frac{q}{2} \left[\frac{L^3}{12} - \frac{Ll^2}{2} + \frac{l^3}{3} \right], \quad (2.57)$$

З достатньої для даного завдання точністю можна покласти, що центри ваги площ $\omega_{1,2}$ мають координати:

$$x_{ц.т.1} \cong \frac{2}{3}l, \quad (2.58)$$

$$x_{ц.т.2} \cong \frac{1}{2} \left(\frac{L}{2} + l \right), \quad (2.59)$$

Тоді ординати епюри згинальних моментів найдуться з умови подоби Δ_{abc} , Δ_{ade} і Δ_{abc} , Δ_{afg} :

$$\eta_{c_1} = \frac{1}{3}, \quad (2.60)$$

$$\eta_{c_1} = \frac{1}{4} \left(\frac{L}{2} + l \right), \quad (2.61)$$

Таким чином отримаємо:

$$\begin{aligned}
 f_{1-1} &= \frac{q}{E} \left[\frac{1^3}{3I_{06}^{1-1}} \left(\frac{L}{2} - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{4I_{06}^{1-1}} \left(\frac{L^3}{12} - \frac{Ll^2}{2} + \frac{l^3}{3} \right) \left(\frac{L}{2} + 1 \right) \right] = \\
 &= \frac{78,94}{2,1 \cdot 10^6} \left[\frac{102,5^3}{3 \cdot 116624} \left(\frac{380}{2} - \frac{102,5}{3} \right) + \frac{1}{4 \cdot 63390} \left(\frac{380^3}{12} - \frac{380 \cdot 102,5^2}{2} + \frac{102,5^3}{3} \right) \left(\frac{380}{2} + 102,5 \right) \right] = \\
 &= 0,145 \text{ см} = 1,45 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

Що задовольняє вимогам реального виробництва.

2.4 Розрахунки елементів вузла опорних роликів на міцність

2.4.1 Розрахунок осі на міцність

На цій осі насаджені два ролики, тому навантаження, що діє на кожен з роликів, буде дорівнювати половині розрахункової реакції.

$$R_B = R_A = R/2 = 33/2 = 16,5 \text{ кН} \quad (2.62)$$

Згідно зі схемою, максимальний згинаючий момент буде доданий в місцях посадки підшипників на вісь.

$$M_{\max} = M_A = M_B = R_A \cdot a = 16,5 \cdot 105 = 2 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.63)$$

Перевірка на міцність:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{M_{\max}}{0,1 \cdot d_0^3} = \frac{2000}{0,1 \cdot 110^3} = 15 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 210 \text{ МПа} \quad (2.64)$$

де $\sigma_{зг}$ – розрахункова згинаюча напруження;

W – момент опору поперечного перерізу осі;

$[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, з якого виготовлена вісь (для сталі 45 – $[\sigma] = 210 \text{ МПа}$).

Таким чином міцність осі забезпечується.

2.4.2 Розрахунок різьби упорного гвинта на міцність

Для усунення вібраційних навантажень необхідно щільне прилягання роликів до поверхні стійки. Ролики опорні притискаються до вертикальної стійки електродотримача двома гвинтами, за допомогою яких можна регулювати положення роликів. При такій конструкції все навантаження несуть гвинти. Тому виникає необхідність перевірки різьби гвинта на міцність. Навантаження на кожен з гвинтів дорівнює радіальному навантаженню, що діє на підшипники роликів. $F=F_T=37,5\text{кН}$. Для надійного стопоріння гвинта передбачена контргайка. Розмір різьблення: М36.

Перевірка різьблення на міцність по напрузі зминання:

$$\begin{aligned}\sigma_{зм} &= \frac{4 \cdot F \cdot p}{\pi \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot H \cdot K_m} \cdot 1000 = \frac{4 \cdot 16,5 \cdot 4}{3,14 \cdot (36^2 - 32^2) \cdot 57 \cdot 0,75} \cdot 1000 = \\ &= 16,4\text{МПа} \leq [\sigma] = 35\text{МПа}\end{aligned}\quad (2.65)$$

де p – крок різьблення (для М36 $p=4\text{мм}$);

d – середній діаметр різьби, мм;

d_1 – внутрішній діаметр різьби, мм;

H – робоча довжина різьблення, мм;

K_T – коефіцієнт нерівномірності навантаження по гвинту в різьбленні з урахуванням пластичних деформацій ($K_T=0,56\dots 0,75$). Приймаємо найбільше значення, так як різьба має великий крок;

$[\sigma]$ – допускаєма напруження зминання ($[\sigma]=30\dots 35\text{МПа}$).

Перевірка різьблення на міцність по напруженню зрізу:

$$\begin{aligned}\tau_{зр} &= \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot H \cdot K_m \cdot k} \cdot 1000 = \frac{16,5}{3,14 \cdot 32 \cdot 57 \cdot 0,75 \cdot 0,87} \cdot 1000 = \\ &= 5\text{МПа} \leq [\tau_{зр}] = 25\text{МПа}\end{aligned}\quad (2.66)$$

де k – коефіцієнт, що враховує тип різьблення ($k=0,87$ для метричного різьблення);

$[\tau_{зр}]$ – допустиме напруження зрізу ($[\tau_{зр}] = 20.. 25$ МПа).

Таким чином міцність різьби забезпечена.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Технологія монтажу плавильної печі

Монтаж печі починають із установки опорних балок, які потрібно підливати бетонною сумішшю після повного складання й випробування нахилу колиски.

Одночасно з монтажем опорних балок роблять укрупнювальне складання конструкцій і ревізію механізмів. Ці роботи виконують на робочій площадці грубого прольоту електроплавильного цеху під мостовим краном вантажопідйомністю 125/20 т.

Укрупненню піддають конструкції колиски й кожуха печі, а також вузли устаткування й окремих механізмів. Колиску збирають на стелажах з рейок у перевернутому положенні так, щоб до неї можна було приєднати опорні сегменти. Положення елементів при складанні перевіряють рівнем, при цьому допускається відхилення балок від горизонтальності в межах 1–2 мм на 1 м. По закінченні складання й вивірки роблять розсвердлювання отворів монтажних стиків, які потім клепають. Зібрана колиска разом з опорними тумбами печі важить 110 т.

Циліндричну частину кожуха печі поставляють на монтажну площадку звичайно у вигляді чотирьох частин з ребрами жорсткості. Сферична частина надходить на монтаж у вигляді двох елементів.

Із двох частин поставляється, також, опорна кільцева рейка й зубчастий сегмент для повороту печі, що приєднується до кожуха на болтах.

Циліндричну частину кожуха укрупнюють на тимчасових опорах із двотаврових балок, розташованих на висоті до 1200 мм. Це необхідно для приєднання сферичного днища. Збирають кожух на болтах, головки яких ставлять усередину й прихоплюють електрозварюванням.

До приєднання днища до кожної його половини прикріплюють електрозварюванням половину кільцевої рейки, потім половинки й днище цілком пристиковують до кожуха печі. Щоб ванна печі нахилилася щодо

вертикальної осі на 40° , до кожуха після остаточної приварки опорної рейки й заварки стику днища встановлюють на шпильках зубчастий сектор.

Колиску поміщають на опори після установки на неї чотирьох опорних колон печі, у кожній з яких розташовані два ролики – опорний і упорний. Відхилення роликів, що допускаються, по висоті й у плані становлять ± 5 мм. Регулюють положення роликів спеціальними болтами по опорній рейці.

Після установки колиски, одночасно з монтажем кожуха печі збирають механізм нахилу. Монтаж механізму нахилу починають із установки опорних місць підшипників, які перевіряють на горизонтальність і щодо осі печі. Потім корпус підшипників встановлюють на контрольні шпильки й перевіряють знову їхнє положення на горизонтальність. Вузол рейки з напрямним пристроєм, валом із провідною шестірнею й підшипниками укладають на місце. Рейку прикріплюють шарніром до кронштейна, що остаточно закріплюють після випробування механізму нахилу.

Після цього встановлюють редуктори. Якщо вони відревізовані й підготовлені до роботи, їх не розбирають. У цьому випадку перевірку виконують в одній площині по напівмуфтах. Потім монтують електродвигуни, положення яких перевіряють центруванням по напівмуфтах. Випробують механізм нахилу колиски, кілька разів, нахилиючи її вперед на 40° і назад на 15° . При випробуванні перевіряють, як шипи сегментів входять у гнізда опорних балок, а також стан підшипників вала й редуктора й зчеплення зубчастої рейки з ведучою шестірнею. Правильність зчеплення контролюють, вимірюючи плями торкання на зубах.

Механізм нахилу й опорні балки печі здають під підливу.

При випробуванні механізму нахилу регулюють гальма, перевіряють дію кінцевих вимикачів у крайніх положеннях печі, стан поверхні катання колиски по опорних балках і рейок, забезпеченість тертьових деталей змащенням.

Печі повертають навколо вертикальної осі механізмом повороту, установлюваним на колісці. Механізм складається із двох циліндричних редукторів, з'єднаних з електродвигунами муфтами. На кінцях ведених валів

редукторів посаджені ведучі шестірні, що входять у зачеплення із зубчастим сегментом, установленим на кожусі печі.

Механізм повороту монтують одночасно з механізмом нахилу печі. Монтаж починають із установки редукторів. Для цього геодезичними інструментами розбивають і закріплюють на конструкціях коліски поздовжні й поперечні осі. Перевірку на фарбу роблять по зачепленню ведучих шестірень із зубчастим сегментом. Для цього насухо протирають зубчастий сегмент, а ведучу шестірню змазують сполукою, приготовленої з масла із синькою або сажею. Спочатку перевіряють зуби одного, а потім другого редуктора.

По досягненні необхідного контакту зубів кріплять редуктори й ставлять контрольні шпильки. Потім встановлюють електродвигуни й центруванням перевіряють їхнє положення щодо редукторів по напівмуфтах.

Для завантаження печі за допомогою завантажувального кошика склепіння піднімають на 400–500 мм і відводять убік. Ці операції виконують спеціальні механізми підйому й повороту.

Механізм підйому склепіння встановлений на порталі над піччю й складається із двох електродвигунів, з'єднаних з редукторами муфтами й між собою валами. За допомогою черв'ячного колеса редуктора переміщається тяговий гвинт, до якого прикріплені ланцюги. Ланцюги через зірочки й тяги з'єднані зі зводом печі й залежно від напрямку обертання тягового гвинта піднімають або опускають склепіння.

Механізм повороту складається з вертикально встановленого на радіальних підшипниках вала. До вала прикріплений зубчастий сектор, яким повертають склепіння. На вал саджають і закріплюють литу опору, на яку встановлюють портал. Після кріплення редуктора механізму повороту починають монтаж механізму підйому.

Складання механізму підйому склепіння починають із установки кронштейнів для кріплення ланцюгів до склепіння й напрямних зірочок. Потім кріплять ланцюги, з'єднують їх тягами й до вільних кінців ланцюгів

прикріплюють тягові гвинти. По гвинтах встановлюють редуктори й з'єднують із загальним валом. Потім до редукторів приєднують електродвигуни.

Механізми підйому й повороту випробують одночасно, кілька разів піднімаючи й опускаючи склепіння на максимальний хід 500 мм. Під час випробування перевіряють роботу кінцевих вимикачів, надійність кріплення ланцюгів до склепіння, забезпеченість змащенням вузлів тертя.

Заслонку печі й механізм її підйому монтують також як і на мартенівській печі. Конструкції їх аналогічні. Монтаж виконують незалежно від монтажу інших механізмів відразу після установки корпусу печі.

Між електродом і шихтою необхідно підтримувати певну відстань для вольтової дуги. Тому електроди, утримувані електродотримачами, піднімають і опускають спеціальними рейковими механізмами.

У печі встановлені три електроди; кожний з них переміщається самостійно незалежно від інших.

Механізм підйому кожного електрода складається з каретки, що переміщається на шістнадцяти роликах по напрямній колоні. Підйом і опускання здійснюється примусово зубчастою рейкою, прикріпленою до кронштейна каретки. Рейка входить у зачеплення із ведучою шестірнею редуктора, що обертається електродвигуном. Якщо електрод опустився до шихти, рейка стискає пружину й відключає електродвигун шляховим вимикачем. Противага служить для полегшення роботи двигуна.

Нагорі каретки прикріплений електродотримач, що складається зі зблокованих на одній осі пневмоциліндра й корпусу механізму затискача зі штоків. На вильоті закріплений шарнір проміжних важелів і механізму затиснення. За допомогою механізму затискача електродів притискається пружиною до головки електродотримача хомутом.

Монтаж механізмів переміщення електродів починають із установки на литу опору напрямних колон. Їхню вертикальність перевіряють рівнем. При цьому допускається відхилення 1 мм на 1 м висоти. Колони закріплюють до опори болтами.

Збори каретки разом із пневматичним циліндром, механізмом затискача, рукавом електродотримача з поставленим на нього корпусом електродотримача, а також хомутом і важелями надягають на напрямні колони, потім установлюють кронштейни з роликami й підвішують противагу, що повинна бути заведена у колону до її установки.

На закінчення збирають механізм руху каретки. Для цього до її кронштейна на пружині підвішують штангу з рейкою, що вводять у редуктор, установлюваний на опору. Вертикальність штанги перевіряють виском, контакт зубів – на фарбу.

Механізм випробують спочатку декількома переміщеннями каретки без електрода, а потім з електродом. При цьому перевіряють надійність захвата електродів електродотримачами.

Каретка повинна бесклепіннямовно переміщатися по напрямній колоні, утримуючи в незмінному положенні рукав електродотримача. Направні ролики повинні переміщатися без заїдання. Вузли тертя варто надійно забезпечити змащенням.

При випробуванні перевіряють роботу кінцевих вимикачів, які в крайніх положеннях повинні відключати електродвигуни.

3.2 Ремонт плавильної печі

Для збільшення виробництва феросплавів необхідно не тільки максимально використовувати дугові електропечі в процесі їхньої експлуатації, але й усіляко скорочувати тривалість ремонтів. Як правило, ремонти електропечей – холодні й капітальні (останні нерідко з реконструкцією й збільшенням обсягу печей) – проводять у досить стислий термін, по сусідству з діючими печами й в умовах, коли більші обсяги вантажних потоків, що виникають при ремонтах, зосереджені на малій ділянці й не повинні порушувати нормальної роботи цеху. Тому проведення так званих швидкісних ремонтів дугових електропечей засновано на широкому впровадженні механізації, удосконаленій технології й ретельній організації робіт.

Ремонти електропечей швидкісними методами забезпечують наступними організаційно–технічними заходами: максимально можливий обсяг робіт виконують

до зупинки печі; широко застосовують метод великоблочного монтажу, при якому знову виготовлені металоконструкції й кожух збирають осторонь від печі до зупинки її на ремонт, з наступним насувом у проектне положення, розбірні роботи виконують укрупненими блоками з максимальним застосуванням механізації для збирання бою вогнетривів і інших відходів ремонту; вантажні потоки відходів ремонту, вогнетривких матеріалів і металевих конструкцій ретельно розмежують; ремонти всіх вузлів електропечі проводять по багатоярусній системі з моментальним сполученням (паралельним виконанням) різних видів робіт.

Впровадження індустріальних методів дало можливість значно скоротити тривалість ремонтів і підвищити їхню якість. Коли зношування мурування стін досягають гранично припустимої величини, небезпечної з погляду схоронності кожуха, електропечі зупиняють на холодний ремонт.

Мурування печі звичайно ремонтує обслуговуюча її бригада сталеварів із чотирьох чоловік із залученням двох мулярів і одного чергового слюсаря, що підготує інструмент і стежить за його справністю в плинні всього періоду холодного ремонту печі.

Бригада виконує наступні роботи: розбирання печі; ламання й видалення мурування з печі; підбиття укосів; установку стінних блоків і арки завантажувального вікна; очищення ванни від сміття й складання печі. З метою скорочення тривалості ремонту більшість зазначених робіт виконують за графіком із широким застосуванням механізації трудомістких операцій.

Якість і тривалість капітальних ремонтів у значній мірі залежать від успішного проведення підготовчих робіт, які необхідно починати завчасно, як тільки буде встановлений обсяг ремонтних робіт.

Перший етап підготовки до капітального ремонту печей починається з попереднього обстеження стану агрегату начальником цеху разом з його помічником по встаткуванню й начальником грубого прольоту. Разом з ремонтом печі починається ремонт механічного й кранового устаткування, що обслуговує печі.

У другому етапі підготовки капітального ремонту електропечі уточнюється відомість дефектів, складається проект організації робіт і кошторис витрат.

До складу проекту організації ремонтних робіт звичайно включаються наступні розділи: заходи щодо підготовки печі до ремонту, обсяг і розподіл робіт між

виконавцями; порядок зупинки печі й передачі її на ремонт; методи виконання демонтажних, монтажних і вогнетривких робіт; порядок забезпечення ремонту матеріалами, устаткуванням, кранами й рухливим складом; проведення робіт з ремонту механічного устаткування; питання з техніки безпеки й охорони праці; календарний графік проведення ремонтних робіт; призначаються особи, відповідальні за розбирання й виконання перерахованих заходів.

На наступному етапі підготовки до капітального ремонту помічник начальника цеху по устаткуванню відповідно до відомості дефектів і календарним графіком ремонту складає замовлення у відділі головного механіка (ВГМ).

Відділ головного механіка розробляє замовлення, визначає обсяг робіт цехів ВГМ і інших організацій. Розроблене замовлення й графік направляються виконавцям.

На заключному етапі приймаються замовлені матеріали, металоконструкції, деталі, вузли й механізми, робиться перевірка й контрольне їхнє складання; до зупинки печі ремонтується устаткування, не зв'язане безпосередньо з її роботою.

3.3 Розрахунок фундаменту

Початкові дані:

- вага обладнання встановленого на фундамент:

$$G = G_B + G_M + G_O, \text{кг} \quad (3.1)$$

де $G_B=110000$ – вага вани печі, кг;

$G_M=10000$ – вага металу в вані печі, кг;

$G_O=84000$ – вага встановлених на печі обладунків, кг.

$$G = 110000 + 10000 + 84000 = 204000 \text{кг}$$

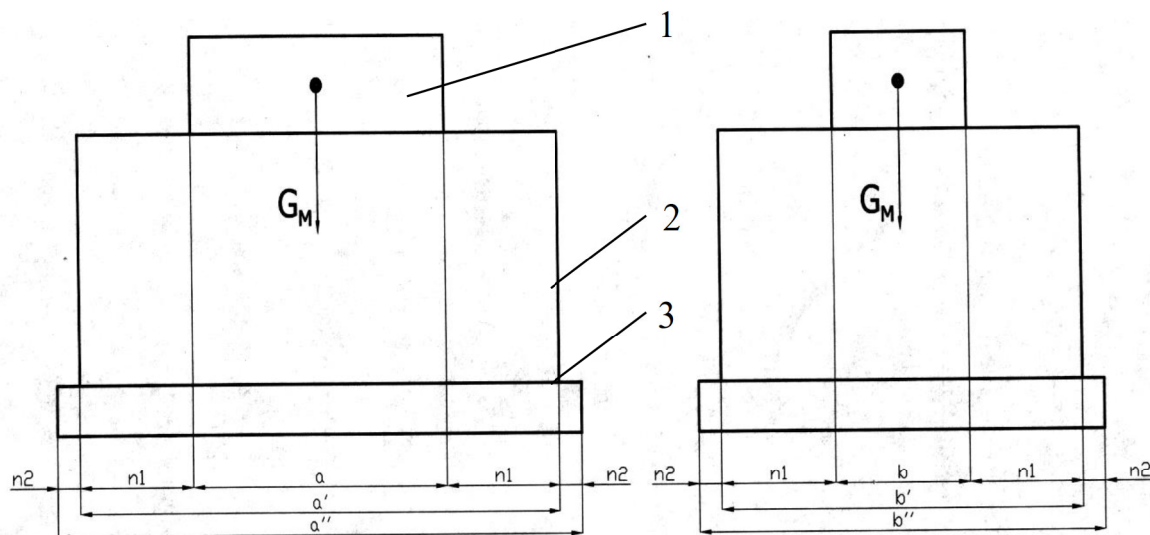
Визначаємо геометричні параметри фундаменту (схема фундаменту представлена на рис. 3.1):

$$a' = 8000 + 2 \cdot n = 8000 + 2 \cdot 1000 = 10000 \text{ мм},$$

$$b' = 6500 + 2 \cdot n = 6500 + 2 \cdot 1000 = 8500 \text{ мм},$$

$$a'' = 10000 + 2 \cdot n' = 10000 + 2 \cdot 1200 = 12400 \text{ мм},$$

$$b'' = 8500 + 2 \cdot n' = 8500 + 2 \cdot 1200 = 10900 \text{ мм}.$$



1 – обладнання; 2 – власне фундамент; 3 – підшва фундаменту

Рисунок 3.1 – Схема до розрахунку фундаменту

Об'єм фундаменту:

$$V_{\phi} = 3,5 \cdot 204 = 714 \text{ м}^3, \quad (3.2)$$

де $3,5 - \text{м}^3$ бетону доводиться на 1 т ваги встановленого обладнання.

Вага фундаменту:

$$G_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho = 714 \cdot 2,2 = 1570,8 \text{ т}; \quad (3.3)$$

де $\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$ – щільність бетону;

Визначаємо тиск на ґрунт:

$$\rho = \frac{G_M + G_{\phi}}{a'' \cdot b''} = \frac{204000 + 1570800}{1240 \cdot 1090} = 1,31 \text{ кг/см}^2 < 2 \text{ кг/см}^2; \quad (3.4)$$

Остаточно приймаємо:

$$\begin{aligned} a' &= 10000 \text{ мм}, \\ b' &= 8500 \text{ мм}, \\ a'' &= 12400 \text{ мм}, \\ b'' &= 10900 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Визначимо загальну висоту фундаменту:

$$h_{\text{зар}} = \frac{V_{\phi}}{S_{\phi}} = \frac{714}{12,4 \cdot 10,9} = 5,3 \text{ м} \quad (3.5)$$

Висота підшви фундаменту:

$$h_{\text{п}} = \frac{1}{5} \cdot h_{\text{зар}} = \frac{1}{5} \cdot 5,3 = 1,06 \text{ м} \quad (3.6)$$

Висота власне фундаменту:

$$h_{\phi} = h_{\text{зар}} - h_{\text{п}} = 5,3 - 1,06 = 4,24 \text{ м}; \quad (3.7)$$

Об'єм підшви фундаменту:

$$V_{\text{п}} = h_{\text{п}} \cdot a'' \cdot b'' = 1,06 \cdot 12,4 \cdot 10,9 = 143,3 \text{ м}^3 \quad (3.8)$$

Для підшви фундаменту приймаємо бетон Б100 (10 кг/см²)

Об'єм власне фундаменту:

$$V_{\phi} = h_{\phi} \cdot a' \cdot b' = 4,24 \cdot 10 \cdot 8,5 = 360,4 \text{ м}^3 \quad (3.9)$$

Для фундаменту приймаємо бетон Б200 (20 кг/см²)

Загальний об'єм фундаменту:

$$V_{\Sigma} = V_{\text{п}} + V_{\phi} = 143,3 + 360,4 = 503,7 \text{ м}^3.$$

Вага фундаменту:

$$G_{\phi} = V_{\Sigma} \cdot \rho = 503,7 \cdot 2,2 = 1108,14 \text{ т};$$

Уточнюємо вагу фундаменту:

$$\Delta G_{\phi} = 1570,8 - 1108,14 = 462,66 \text{ т};$$

Уточнюємо тиск на ґрунт:

$$\Delta \rho = \frac{462660}{1000 \cdot 850} = 0,54 \text{ кг/см}^2;$$

$$\rho_{\text{факт}} = \rho + \Delta \rho = 1,31 + 0,54 = 1,85 \text{ кг/см}^2 < 2 \text{ кг/см}^2$$

Умова виконується.

3.4 Розрахунок стропів

Розраховуємо стропа, необхідні для виконання монтажу механізму обертання ванни печі. Розрахунок стропів виконуємо для найбільш важкого елемента привода – редуктор 1Ц2У-200-40-12У3 масою $G_{\text{ред}} = 187 \text{ кг} = 1870 \text{ Н}$.

Зусилля в гілці стропа при куті нахилу $\alpha = 60^{\circ}$:

$$S_{\text{стр}} = \frac{G_{\text{ред}}}{n \cdot \sin \alpha} \cdot K_{\text{н}} = \frac{1,87}{2 \cdot \sin 60^{\circ}} \cdot 1,35 = 1,46 \text{ кН}, \quad (3.5)$$

де n – число гілок стропа, $n = 2$

$K_{\text{н}} = 1,35$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження на гілці стропа.

Підбор каната стропа здійснюємо по розрахунковому розривному зусиллю:

$$P_{\text{разр}} = S_{\text{стр}} \cdot K = 1,46 \cdot 6 = 8,76 \text{ кН}, \quad (3.6)$$

де K – кількість гілок стропа, $K = 6$

Приймаємо канат типу ЛК–РО конструкції 6х36(1–7–7/ 7–14)–1 о.с. ДЕРЖСТАНДАРТ 7688–80, $d_k=6,3$, розрахункова маса 1000 м каната $M_{1000} = 155,5$ кг, розрахункове розривне зусилля $P_{\text{розр}} = 23,15$ кН, маркувальна група 1800 МПа.

Для даного діаметра каната призначаємо затискачі гвинтові Е, діаметр різьблення на скобі М6, розрахунковий діаметр стрижня $d_{\text{ст}} = 0,8 \cdot 6 = 4,8$ мм. Кількість затискачів, що рекомендується, $n = 3$.

Розраховуємо число затискачів з умови:

$$2F_{\text{тр}} \geq S_{\text{стр}}, \quad (3.7)$$

де $F_{\text{тр}}$ – сила тертя між канатами;

$S_{\text{стр}}$ – зусилля в гілці стропа.

$$F_{\text{тр}} = n \cdot N_i \cdot f, \quad (3.8)$$

де n – число затискачів;

N_i – нормальне зусилля, створюване одним затискачем;

f – коефіцієнт тертя між канатами, $f = 0,15$.

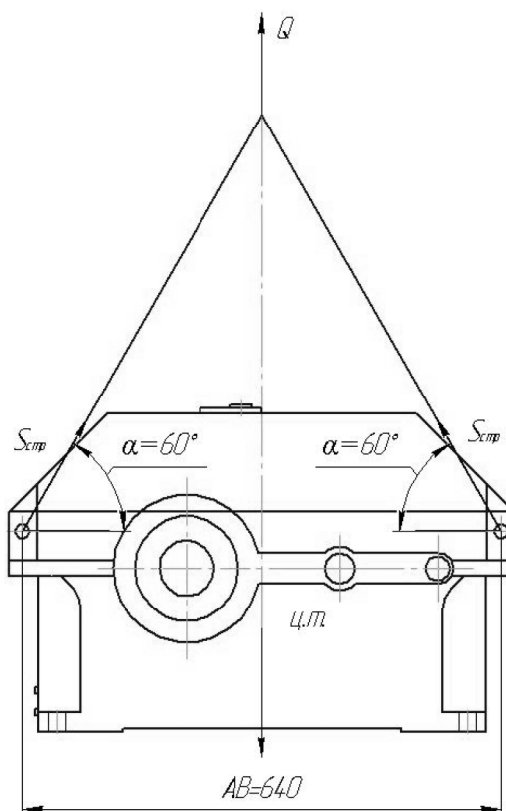


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема стропування редуктора

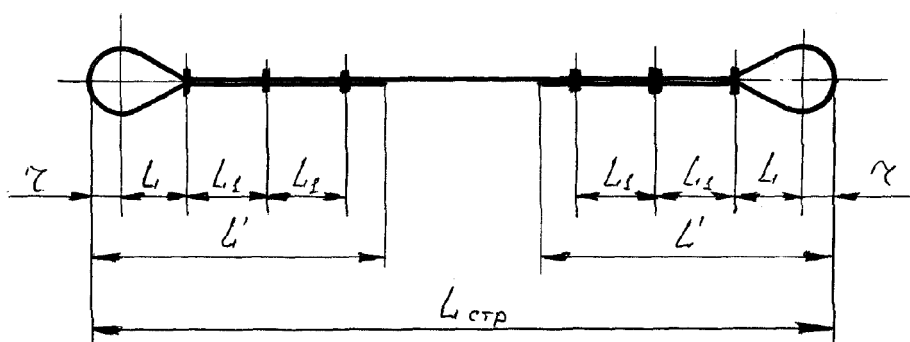


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема до визначення довжини стропа

Нормальний тиск, створюваний одним затискачем:

$$N_i = \frac{\pi d_{ст}^2 n_{ст} [\sigma]}{4}, \quad (3.9)$$

де $d_{ст}$ – розрахунковий діаметр стрижня;

$n_{ст}=2$ – кількість стрижнів у затискачі;

$[\sigma]$ – допускаєме напруження матеріалу на розрив, $[\sigma] = 120$ МПа.

Тоді число затискачів визначаємо з вираження:

$$n = \frac{2 \cdot S_{cmp}}{\pi \cdot d_{cn}^2 \cdot n_{cm} \cdot f \cdot [\sigma]} = \frac{2 \cdot 1,46 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 4,8^2 \cdot 2 \cdot 0,15 \cdot 120} = 1,12, \quad (3.10)$$

Приймаємо число затискачів $n = 3$.

Визначаємо довжину стропа приймаючи наступні розміри:

- радіус закруглення $r \approx 2d_k = 2 \cdot 6,3 = 12,6$ мм, приймаємо $r = 15$ мм;
- відстань від центра закруглення до першого затискача $L = 150$ мм;
- відстань між затискачами $L_1 = 100$ мм.

Тоді довжина ділянки стропа для затискачів і петлі дорівнює:

$$\begin{aligned} L' &= r + L + 2,5 \cdot L_1 = 15 + 150 + 250 = 415 \text{ мм} \\ 2L' &= 2 \cdot 415 = 830 \text{ мм} \end{aligned}, \quad (3.11)$$

Приймаємо довжину стропа $L_{стр} = 900$ мм.

Тоді кут нахилу стропа дорівнює:

$$\alpha = \arccos \frac{AB}{2 \cdot L_{стр}} = \arccos \frac{640}{2 \cdot 900} = 69^\circ, \quad (3.12)$$

При цьому зусилля галузі стропа складе

$$S''_{стр} = \frac{1,87}{2 \cdot \sin 69^\circ} \cdot 1,35 = 1,35 \text{ кН}, \quad (3.13)$$

Даний строп також можна використовувати при монтажі електродвигуна вага якого $G_{дв} = 470$ Н, а також гільзи гідроциліндра вага якої $G_{ц} = 3380$ Н

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих та небезпечних чинників

4.1.1 Характеристика ступеня безпеки обраних технологічних процесів, рівні їхньої механізації й автоматизації

З розвитком феросплавного виробництва й підвищенням продуктивності руднотермічних печей необхідно передбачати заходи щодо поліпшення умов праці на робочих місцях, захисту повітряного й водного басейну.

Технологічний процес виробництва феросплавів відноситься до 3 групи шкідливих процесів. Праця основних професій важка і напружена, включно-плавильників, розливальників, слюсарей, газозварників, кранових машиністів, операторів печей і розливних машин та інших. Для полегшення праці широко використовується механізація та автоматизація.

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

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

де B – рівень механізації праці, %; M - сума людино-годин механізованої праці;

R – сума людино–годин ручної праці.

Для розливальника $M= 2$ год.; $R= 6$ год.

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

Підсумкові результати розрахунків для основних професій представлені в таблиці 4.1.

За цієї таблиці можна зробити висновок, що:

- розливальник має 75% механізованої й 25% ручної праці;
- слюсар ремонтник – 37,5% механізованої, 62,5% ручної праці;
- оператор печі – 93,75% механізованої, 6,25% ручної праці;
- горновий – 12,5 % механізованої, 87,5% ручної праці.

Праця горнового й слюсара ремонтника відноситься до ручної праці, а розливальника і оператора – до механізованої.

Таблиця 4.1 – Розрахунок рівня механізації праці для різних професій

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино-годин за добу			% механізованої праці	% Ручної праці
			Вручну	За допомогою машин	Усього		
1	розливальник	2	$2 \times 2 = 4$	$6 \times 2 = 12$	16	75	25,0
2	слюсар ремонтник	4	$3 \times 4 = 12$	$5 \times 4 = 20$	32	37,5	62,5
3	сператор печі	1	$7,5 \times 1 = 7,5$	$0,5 \times 1 = 0,5$	8	93,75	6,25
4	горновий	3	$7 \times 3 = 21$	$1 \times 3 = 3$	24	12,5	87,5

4.1.2 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Умови праці в феросплавному цеху характеризуються впливом на багатьох робочих місцях таких факторів виробничого середовища, як підвищена температура повітря, інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання, забруднення повітря токсичними речовинами й пилом, утворення електричних і магнітних полів. Виконання ряду операцій пов'язане з важкою фізичною працею, а на автоматизованих виробництвах - з обслуговуванням пультів керування. Є ділянки, де утворюється і діє інтенсивний шум.

У пічному, розливному та шихтовому відділеннях, особливо в перехідний і зимовий періоди року, робітники піддаються впливу значних температурних перепадів, сильних потоків гарячого й холодного повітря.

В цеху пил виділяється в шихтовому і плавильному відділеннях. При ремонтних роботах виділяється пил вогнетривів, що може викликати силікоз. Пил містить 65-97 % з'єднань кремнію, у тому числі 70 % діоксиду кремнію. Пил виділяється при збиванні, навантаженні, транспортуванні футеровки, під час ремонту ковшів, склепіння печей. Концентрація пилу перебуває, як правило, на рівні 25- 40 мг/м³ .

Джерелом шуму є тертя і рух шихти, яка подається в печі, обладнання, що рухається: мостові крани ,розливні машини , транспортери, потяги й ін. Рівні шуму на робочих місцях досягають 100дБА і більше.

Вібрація спостерігається в кабінах крановиків, при перевозки ківшів з рідкими феросплавами ,під час роботи розливних машин й деяких інших операцій.

Шкідливості, що супроводжують процес підготовки шихти, плавки, випуску і розливанні феросплавів є: оксид вуглецю; пил, що виділяється при підготовці шихти й завантаженню її в піч і при плавленні шихти; теплове випромінювання; сухе повітря; шум і вібрація (табл. 4.2).

Аналіз шкідливих факторів виробничого середовища, наведених у таблиці, дозволяє зробити наступний висновок про умови праці розливальника:

1 Оцінка технічного й організаційного рівня:

Відповідає технологічному регламенту й проекту організації праці на робочому місці.

2 Атестація робочого місця:

Робоче місце має в наявності 4 фактори 1 ступеня, 7 факторів 3 ступені. По показниках робоче місце варто вважати з особливо шкідливими й особливо тяжкими умовами праці, що відповідає показникам списку № 1 пункту 1 . Відповідно до гігієнічної класифікації праці горновому дається 15 днів додаткової відпустки, надбавка до зарплати -24 % і видається молоко.

Таблиця 4.2 – Оцінка факторів виробничого й трудового процесу.
Професія:горновий,місце роботи – піч РКВ 7

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	3 клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1 ступ.	2 ступ.	3 ступ.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг\м ³ : 1 клас небезпеки Ангідрид хромовий	0,01	0,07			7 р	90
	Марганцю оксид	0,05	0,39			7,8 р	
	2 клас небезпеки Сірководень	10	10,8	1,08 р			90
	3-4 клас небезпеки Азоту діоксид	2,0	0,55	0,27			90
	Вуглецю оксид	20,0	5,0	0,25			
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг\м ³ Феросиліцій, феромарганець	4	18,4			4,6 р	90
3	Шум, дБА	80	104			24	90
4	Вібрація (локальна), дБА	92	115			23	83
5	Мікроклімат у приміщенні (теплий період): - температура, °С;	27/16	39			12	85
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	4200			4200	
6	Важкість й напруженість праці	категорія робіт – середня важкість, II, б помірна напруженість					
7	Кількість факторів			4	2	5	

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

У таблиці 4.3 наведені заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища на ділянці печей РКВ-7.

Таблиця 4.3 – Технічні міри захисту виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1	Запилованість	Витяжна вентиляція	КЗ 3	7800 м ³ /год	У місцях утворення пилу
2	Запиленість	Респіратор ЗІЗОД	ШБ-1М	≤10 мг/м ³	Індивідуально
3	Шум	Навушники протишумові, біруші	Одноразові	Придатний до 110 дБА	Індивідуально
4	Температура	Утеплена куртка, ватяні брюки Костюм х/б рукавиці	Тн 20 Ти 15	t _г ≥ -20°C t _д ≥ 15°C	Індивідуально
	-холодний період				
	-теплий період				
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж, що й при запиленості + костюм х/б, рукавиці	Пм	≤12 мг/м ³	Індивідуально

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту.

При відсутності засобів захисту наведених вище шкідливості спричиняють появу окремих ознак профзахворювань (глухота, підвищений тиск), а також спричиняють росту патологій з короткочасною втратою працездатності (теплові удари).

Для поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці у плавильному цеху приймаються заходи для зменшення забруднення виробничого середовища:

- бездимне завантаження печей;
- систематичний контроль за станом стиків стиків, кришок люків і стояків;
- контроль за станом газопроводів і апаратури з метою ліквідації просочування газу;
- зменшення пиловидалення при завантаженні і видалення шихти із бункерів;
- використання установок для допалювання феросплавного газу;
- забезпечення повного видалення газу від робочих майданчиків.

4.3 Виробнича санітарія

4.3.1 Мікроклімат

Для забезпечення робочих місць і приміщень необхідному мікроклімату і чистого повітря використовують різноманітні заходи і пристрої. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення надлишків теплоти використовують механічну і природну витяжну вентиляцію. Холодне повітря надходить через вікна, двері, ворота, а тепле видаляється через ліхтарі.

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

В холодний період року багато уваги приділяється герметизації приміщення з метою збереження частки тепла необхідного для підтримання допустимого мікроклімату в цеху. Для цього припливні жалюзі відкриваються тільки на висоті не нижче 1,8м, залізничні і автомобільні ворота обладнаються повітряними завісами. Робітникам, що працюють в зонах без значних тепловиділень виділяють теплу одягу.

Таблиця 4.4 – Значення припустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні

Період року	Характеристика виробничих приміщень по надлишковим тепловиділенням	Категорія робіт з важкості	На постійні роб. місцях			Температура за постійним робочим місцем, °С
			Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	
Теплий	>23 Вт/м ³	11б	16/27	70	0,2-0,5	29
Холодний	Менше 23 Вт/м ³	11б	15/21	75	До 0,4	23

4.3.2 Природне й штучне освітлення виробничих приміщень

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків й їхніх захворювань.

Характеристика приміщення ділянки печей:

– характер робіт	середня точність
– розмір об'єкта розпізнавання, мм	від 0,5 до 1
– розряд зорової роботи	IV
– підрозряд роботи	V
– контрастність об'єкта розрізнення	середня
– фон	середній
– рівень освітленості E_n , лк	200

Під час ремонту встаткування передбачене штучне освітлення.

На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного висвітлення), аварійне - не менше 50% робочого. Евакуаційне освітлення застосовують для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення. Охоронне освітлення використовують у неробочий час. При необхідності частину світильників того або іншого виду освітлення можна використати для чергового освітлення.

Штучне освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального висвітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого висвітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі, сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків. Застосовуються сучасні енергозберігаючі лампи люмінесцентні чи світлодіодні типу LED потужністю 100-200 Вт та світильники «Астра». При наявності пилу у повітрі цеху краще діють дугові ртутні лампи типу ДРЛ, потужністю до 1000 Вт з світильниками прямого світла.

Згідно ДБН 8.2.5-28-2006 для приміщень, у яких проводяться роботи 6-го розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається комбіноване освітлення.

Природне висвітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату, тому КПО для нього буде обчислюватися за формулою:

$$KEO_n^4 = KEO_n^3 \cdot m \cdot e = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\%, \quad (4.2)$$

де KEO_n^3 – значення КПО для 3-го поясу світлового клімату;

m – коефіцієнт світлового клімату;

e – коефіцієнт сонячного клімату.

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

Для розрахунку штучного освітлення визначають необхідний світловий потік лампи кожного світильника:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (4.3)$$

де E – найменша освітленість, лк;

k – коефіцієнт запасу;

S – освітлювана площа приміщення, m^2 ;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості, для люмінесцентних ламп приймають $z = 1,1$;

p – коефіцієнт використання світлового потоку;

N – кількість світильників.

Значення p визначається залежно від індексу приміщення, що визначається:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.4)$$

де A и B – довжина й ширина приміщення, м;

Розглянемо машинний зал печі : $A=30$ м; $B=20$ м ; h – висота підвісу світильників над розрахунковою поверхнею, $h=4$ м

$$i = \frac{20 \cdot 30}{4 \cdot (20 + 30)} = 3,0$$

Тоді коефіцієнт використання, тобто відносна частка потоку лампи, що падає на поверхню S , дорівнює 78% ($=0,78$).

Визначаємо кількість світильників:

$$N = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \Phi_{\lambda} \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 1,1}{1 \cdot 35000 \cdot 0,78} = 7,2 \text{ шт}$$

де E – найменша освітленість для газорозрядних ламп у плавильних цехах

$E = 150$ лк);

$k=2$; $S=600m^2$; для люмінесцентних ламп приймають $z = 1,1$;

n – число ламп у світильнику, $n=1$;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік лампи, $\Phi_{\text{л}}=35000$ лм.

Вибираємо тип лампи: ДРЛ – 700, потужністю 700 Вт; світильники «Астра–32» з однією лампою в кожному .

Освітленість приміщень і робочих поверхонь повинна бути не менш значень, зазначених у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Карти освітленості для феросплавного цеху

Найменування відділення, ділянки, робочого місця й допоміжних приміщень	Р _о зряд зорової роботи	Освітленість, (лк) і коефіцієнт запасу					
		При люмінесцентних лампах			При лампах нагродження		
		Система комбінованого освітлення	Система загального освітлення	Коеф.запасу	Система комб. освітлення	Система загальноого освітлення	Коеф. запасу
Пічний і розливний проліт	VII	150	150	1,8	–	50	1,5
Вертикальна поверхня печей	VII	150	150	1,8	–	50	1,5
Пульти керування печами	IV	1000	300	1,5	500	150	1,3

4.3.3 Виробничий шум і вібрація

По походженню шум буває механічний, виникаючий у результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому й робочому ході; аерогідродинамічний, що виникає при більших швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, виникаючий у результаті зіткнення твердих тіл; термічний, генеруємий при згорянні газоподібного палива в горілках і форсуночних пристроях. Шум різної інтенсивності й частоти, довгостроково впливаючи на працюючих, приводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні

функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, що сприймається й аналізується корою головного мозку, шум приводить до перенапруги центральної нервової системи й розладу функцій внутрішніх органів і систем людини.

Для зменшення шуму в джерелі його утворення заміняють ударні взаємодії деталей без ударними, зворотно–поступальні рухи обертальними. Демпфірують коливання ударних деталей й окремих вузлів агрегату шляхом зчленування їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, азбестом й ін.; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь (ДСТУ 12.1.029–80 ССБП).

4.4 Технічні рішення по виробничій санітарії

4.4.1 Об'ємно–планувальні рішення будинків і споруджень

Загальні принципи об'ємно-планувальних рішень будинків феросплавного цеху визначаються в значній мірі необхідністю створення найбільш сприятливих умов для організованого природного видалення з них надлишків тепла. Тому всі плавильні й нагрівальні агрегати, місця розливання й остигання сплаву й розміщаються в одноповерхових будівлях. Ці споруди не мають стельових перекриттів, а їхні покрівлі обладнаються уздовж і поперек розташованими аераційними ліхтарями типу, що не задуваються.

Цех розташовується так, що забезпечується гарне провітрювання. Для надходження в приміщення цеху зовнішнього повітря бічні огороження будинків на всю довжину по обидва боки обладнані на різних рівнях фрамугами, що розкриваються. Верхні фрамуги служать для надходження повітря в холодний період року, а нижні - для повітря в теплий період.

Вентиляційні пристрої в приміщеннях цеху повинні забезпечувати температуру, вологість і швидкість руху повітря, а також нормативний зміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони .

Площини, розташовані на висоті більше 0,6м від поверхні підлоги, перехідні містки, сходи, прорізи, люки, канали, прямки обгороджені поруччям із суцільним обшиванням по низі.

Допоміжні служби гарячих цехів: контори, лабораторії цехів і т.д., а також санітарно-побутові приміщення (роздягальня, духова, їдальня й т.п.) розміщуються, як правило, в окремому будинку, що примикає до одному з фасадів основного виробничого будинку, або з'єднуються з ним теплим переходом.

Взаємне розташування будинків і цехів на території заводів або окремих ділянок виробництва в одному будинку виробляється з урахуванням основних вантажопотоків і послідовності технологічного процесу, що має істотне гігієнічне значення, тому що відсутність зустрічних або потоків, що перетинають, знижує небезпека травматизму.

4.4.2 Опалення й вентиляція

Найважливіше значення для нормальної життєдіяльності людини має наявність чистого повітря необхідного хімічного складу й маючого оптимальну температуру, вологість і швидкість руху. Ці параметри регламентуються ДСТУ, НПАОП, БНІП, СН «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги. Повітря робочої зони» й «Санітарні норми проектування промислових підприємств».

На підтримку цих параметрів відповідно до нормативних документів спрямовані заходи щодо опалення, і вентиляції.

Опалення основних виробничих приміщень передбачається паром з температурою 120⁰С і повітряне, сполучене із припливною вентиляцією. Приплив здійснюється великими установками, розташованих групами. У місцях, де умови формування струменя дозволяють створити необхідні температурні умови й рухливість повітря в робочій зоні й у місць можливих пило виділень (0,15-0,3м/с), застосовують струминну подачу повітря. У приміщеннях

невеликої висоти з більшою кількістю встаткування, роздача повітря здійснюється повітродозподільними насадками безпосередньо в робочу зону.

Виходячи з категорій виконуваних робіт їх важкості і характеристики виробничих приміщень по надлишкам явного тепла, з урахуванням періодів року (теплий, холодний), установлюють параметри повітряного середовища для робочої зони пічного і розливного відділення.

Більша швидкість руху повітря в теплий період року відповідає максимальній температурі повітря, менша - мінімальній температурі повітря. Природна вентиляція здійснюється за допомогою аерації - організованого регульованого природного повітрообміну.

4.5 Техногенна безпека

4.5.1 Засоби пожежної безпеки

Цех по пожежонебезпеці має категорію Г(негорючі речовини в гарячому стані). Адміністративна будівля цеху ставиться до III ступеня вогнестійкості (будівля з несучими конструкціями, що огорожені, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитових негорючих матеріалів) згідно ДБН 1.1.-7.2002. Інші приміщення цеху мають наступну категорію пожежної небезпеки: відділення трансформаторних камер-В, тобто пожежонебезпечні виробництва з горючими мастилами і їх парами; шихтове відділення, склад готової продукції- категорію Д, неспалимі матеріали в холодному стані. Межі вогнестійкості конструкцій:

- несучі й сходові клітки – 1год.;
- само несучі – 0,5год.;
- зовнішні несучі - 0,25год.;
- внутрішні несучі - 0,25 год.;
- колони - 1 год.;
- сходові площадки, щаблі, балки, марші сходових кліток -0,5год.;
- плити, настили й інші несучі конструкційні перекриття - 0,75 год..

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники ВП-10 (5 шт.), ВВ-2 (14 шт.), ВВП-1Д (8 шт.), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири й ін.).Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами.

На території цеху забороняється:

- закривати й захаращувати проїзди, під'їзди й підходи до будівлі, водопровідним і пожежним гідрантам;
- виключати окремі ділянки водогінної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб, що не пройшли інструктаж пожежного технімуму;
- користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не по прямому призначенню;
- застосовувати відкритий вогонь при огляді встаткування й комунікацій.

4.5.2 Заходи, спрямовані на ліквідацію надзвичайних ситуацій

Під час експлуатації і ремонтних роботах в цеху можливі небезпечні ситуації.

У плавильному відділенні: підвищена загазованість, висока температура і значні теплові випромінювання .У шихтовому відділенні безпеку представляють рухаючі частини стрічкових транспортерів і живильників .Для швидкої зупинки встановлено уздовж них аварійні вимикачі. Ремонтні роботи проходять при наявності працюючих рядом печей. План організації ремонту обов'язково включає заходи забезпечення безпеки ремонтних робіт і експлуатації печей. При обслуговуванні систем газовідводу працює не менше 2-х чоловік. При огляді і ремонту обладнання використовують біркову систему. Ключ-бірку має електроустаткування +плавильних печей, вантажні крани, приводи стрічкових конвеєрів та інше технологічне обладнання.

Оперативною частиною плану ліквідації аварій (ПЛА) і аварійних ситуацій (ПЛАС) повинні охоплювати всі види можливих аварій.

При залишенні ПЛА так само враховується порушення нормальних виробничих умов і режимів роботи, відключення електроенергії, припинення роботи вентиляції, вимикання освітлення, припинення подачі сировини, палива, газу, води, пара, порушення технологічного процесу або режиму роботи агрегатів, апаратів, пилоочисного і газових установок, комунікацій, загоряння від газових розривів і вторинних напрямків блискавок, які можуть привести до аварії.

До аварійних ситуацій в феросплавному цеху можливо віднести: пожежі при виплесках рідкого сплаву, наявність горючого феросплавного газу і коксу в шихті, вибухонебезпечної пилу, розриви і пожежі на газопроводах. В одну позицію плану може включатися один або кілька виробничих місць, якщо заходи з порятунку людей з місць однакові. Допускають об'єднання в одну позицію можливих випадків вибуху і пожежі. При цьому для зазначених аварій необхідно передбачити окремі заходи.

Заходи з порятунку людей і ліквідації аварій повинні розроблятися з урахуванням взаємозв'язку з комунікацій і взаємного розташування виробництв, цехів, відділень, установок і інших об'єктів.

В оперативній частині ПЛА повинні бути передбачені:

- а) заходи з порятунку людей і ліквідації аварій, конкретно по кожному передбаченому нагоді аварій;
- б) особи, відповідальні за виконання передбачених заходів та контроль за виконавцями;
- в) дії газорятувального підрозділи і пожежної частини в початковий момент з порятунку людей і ліквідації аварій;
- г) місця знаходження коштів для ліквідації аварій.

Розглянемо заходи, спрямовані на ліквідацію розриву газопроводу (табл.4.6).

Таблиця 4.6 - Заходи з ліквідації аварії при пошкодженні газопроводу в будівлі цеху

Заходи з порятунку людей і ліквідації аварії	Особи відповідальні за виконання	Дії газорятувального підрозділи і пожежників	Місця знаходження засобів порятунку людей
1. По гучному зв'язку попередити всіх про аварію, а при його пошкодженні окриком	Газовщик або хто перший помітив аварію	Обстежити місце аварії і надати допомогу постраждалим	Газозахисна апаратура знаходиться в газовій будці
2.Видалити усіх людей із загазованої зони	Начальник зміни, майстер печі і старший газівник	Майстер феросплавної печі зобов'язаний вивести людей з робочих місць за межі цеху	Відкрита територія біля цеху
3.Виставити попереджувальні знаки або людей для обмеження загазованої зони	Майстер, бригадир	Не допускати людей в небезпечну зону	Протигази на складі
4.Визвати рятувальників, працівників медпункту і пожежну частину	Майстер печі	При необхідності надавати допомогу	Територія заводу
5. Припинити транспортування продуктів плавки	Майстер печі, диспетчер цеху	Забезпечувати контроль	Феросплавна піч, розливне відділення
6.Відключити газопостачання до печі	Старший газовик, газівник	Не допускати порушень	Територія цеху
7.Повідомити про аварію начальника цеху або його заступників	Начальник зміни, майстер	Бути на зв'язку Брати до уваги розпорядження	Територія заводу

4.6 Інженерний розрахунок природної вентиляції приміщення цеху

Для створення допустимого мікроклімату цеху ,особливо влітку, необхідно використання витяжної вентиляції : механічної або природної. Враховуючи наявність в цеху місцевої витяжки у місцях шкідливих викидів газу і пилу з використанням системи газоочищення, теплові викиди мають незначне забруднення. Виникає можливість більш ефективно використати природну

вентиляцію, що не потребує дорогих енерговитрат і обладнання. Природна вентиляція (аерація) це організований і регульований повітрообмін. Для аерації в цеху влаштовані три ряди отворів у поздовжніх стінах будівлі: перший ряд – на рівні 1м від підлоги, другий – 4,2м і третій – на рівні підкранових балок. Таке розміщення отворів дозволяє збільшити повітрообмін улітку, а взимку, закривши нижні прорізи, зменшити його й забезпечити за рахунок тепла приміщення підігрів холодного повітря перше, ніж воно дійде до робочих місць. На даху влаштований витяжний аераційний ліхтар з кутом відкриття стулок 80° . При розрахунку загального повітрообміну на теплий період року (як самого несприятливого для аерації) переважною шкідливістю в цеху є надлишки явної теплоти.

Кількість необхідного припливного повітря, $\text{м}^3/\text{год.}$:

$$L_{np} = \frac{Q_{я} - C_{\epsilon}(t_{pz} - t_{np})}{C_{\epsilon}(t_{yx} - t_{np})} + L_{mo}, \quad (4.5)$$

де $Q_{я}$ – надлишки явної теплоти в приміщенні цеху, кВт;

L_{mo} – кількість повітря, що видаляє з робочої зони місцевю витяжкою, $\text{м}^3/\text{с}$;

C_{ϵ} – теплоємність повітря ($C_{\epsilon} = 1,005 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$);

t_{pz} – температура робочої зони, $^{\circ}\text{C}$;

t_{np} – температура припливного повітря, $^{\circ}\text{C}$ (для теплого періоду дорівнює температурі зовнішнього повітря);

t_{yx} – температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення, $^{\circ}\text{C}$.

Температуру повітря, що видаляється, t_{yx} визначаємо за формулою:

$$t_{yx} = \frac{t_{pz} - (1 - m)t_{np}}{m}, \quad (4.6)$$

де m – коефіцієнт, обумовлений залежно від відношення площі, займаної тепловиділяючим устаткуванням до площі приміщення цеху (приймаємо рівним 0,6).

$$t_{yx} = \frac{t_{pz} - (1-m)t_{np}}{m} = \frac{32 - (1-0,6) \cdot 20}{0,6} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Надлишки явної теплоти в приміщенні цеху складаються з тепловиділень від рідкого феросплаву і шлаку, що виходить з печі та остигає на повітрі. Тепловиділення, кВт:

$$Q_1 = N_y \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4, \quad (4.7)$$

де N_y – номінальна потужність устаткування, кВт;

k_1, k_2, k_3, k_4 – відповідно, коефіцієнти використання настановної потужності (0,7–0,9); завантаження устаткування (0,9); одночасності роботи встаткування (1,0); переходу тепла в приміщення (0,1–0,7).

$$Q_1 = 2500 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 900 \text{ кВт}$$

Тепловиділення від металу, що остигає, кВт:

$$Q_2 = \frac{G_m}{3600} \cdot C_m \cdot (t_n - t_k),$$

де G_m – годинна продуктивність цеху, кг/год.;

C_m – теплоємність сплаву при середній температурі, кдж/кг, $^\circ\text{C}$;

t_n й t_k – відповідно початкова й кінцева температура злиwkів, що остигають, $^\circ\text{C}$.

$$Q_2 = 3500/3600 \cdot 0,425(1450-1200) = 103,3 \text{ кВт}$$

Кількість теплоти вступник у приміщення від сонячної радіації, кВт:

$$Q_3 = g_{\text{ост}} \cdot F_{\text{ост}} \cdot A_{\text{ост}} \cdot 10^{-3},$$

де $g_{\text{ост}}$ – величина радіації через 1 м^2 заклоєної поверхні (приймаємо рівної 83 Вт/м^2);

$F_{\text{ост}}$ – площа поверхні скла, м^2 ;

$A_{\text{ост}}$ – коефіцієнт, що залежить від характеристики скла (приймаємо рівним $0,8$);

$$Q_3 = 83 \cdot 100 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 7\text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти Q , кВт:

$$Q_{\Sigma} = 900 + 103,3 + 7 = 1010\text{ кВт}$$

Кількість припливного повітря

$$L_{np} = \frac{1010 - 1,005(32 - 22)}{1,005(40 - 22)} + 1,2 = 50,8\text{ м}^3/\text{с}$$

Для оптимальної роботи на робочих місцях необхідно здійснювати приплив холодного повітря в розмірі $50,8\text{ м}^3/\text{с}$.

Розрахунок площі припливних $F_{\text{пр}}$ і витяжних $F_{\text{вит}}$ прорізів приміщення цеху, м^2 :

$$F_{\text{пр}} = G / \mu_1 \cdot \sqrt{2gh_{np} \rho_{y\delta} (\rho_n - \rho_{y\delta})}, \quad (4.8)$$

$$F_{\text{вид}} = G / \mu_2 \cdot \sqrt{2gh_{\text{выт}} \rho_{y\delta} (\rho_n - \rho_{y\delta})}, \quad (4.9)$$

де μ_1, μ_2 – коефіцієнти втрат, які приймаються $\mu_1=0,56$; $\mu_2=0,57$.

$h_{пр}, h_v$ – відстань від нейтральної зони до центрів відносно припливних і витяжних прорізів, м:

$$h_{пр}=H_1-h_v, \quad (4.10)$$

$$h_v=H_1/(0,64 \cdot \rho_v/\rho_3+1), \quad (4.11)$$

$$h_v=8/(0,64 \cdot 1,33/1,34+1)=4,89 \text{ м},$$

де H_1 – відстань по вертикалі між центрами припливних і витяжних прорізів;

ρ_v, ρ_3 – щільність повітря, відповідно, що видаляється й поступає, кг/м^3 ;

$$\rho_v=1,293+3,7 \cdot 10^{-3} \alpha_v, \quad (4.12)$$

де α_v – коефіцієнт, для теплого періоду року – 10, для холодного – 25;

$$\rho_3=1,293+3,7 \cdot 10^{-3} \alpha_3 \quad (4.13)$$

де α_n – коефіцієнт, для теплого періоду року – 13, для холодного – 28.

$$\rho_{уд}=1,293+3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10=1,33, \quad \rho_n=1,293+3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 13=1,34$$

$$h_{пр}=8-4,89=3,11 \text{ м}.$$

$$F_{пр}=50,8/0,56 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,11 \cdot 1,33 \cdot (1,34 - 1,33)} = 100 \text{ м}^2$$

Таким чином

$$F_{вид}=50,8/0,57 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,89 \cdot 1,33 \cdot (1,34 - 1,33)} = 89 \text{ м}^2.$$

Згідно розрахунків площа припливних отворів відрізняється від площі витяжних ліхтарів на 11%, що відповідає вимогам інженерних розрахунків природної вентиляції.

Враховуючи обставини, що тепле повітря підіймається догори різко погіршуються умови праці кранових машиністів. В зв'язку з цим пропонується використання додаткової механічної вентиляції на рівні розміщення мостових кранів (креслення А1 в графічній частині дипломного проекту).

Висновки

1. Ознайомлення з устаткуванням цеху виробництва рафінованих феросплавів ЗФЗ показало, що одним з основних вузьких місць є незадовільна робота механізму обертання печі РКО–7, яка проявляється в збільшеній швидкості обертання ванни печі, внаслідок чого погіршується умова плавлення шихти й загальні показники плавки (витрата електроенергії, великий відхід шлаків і ін.).
2. На підставі проведеного огляду й аналізу технічної літератури встановлено, що механізми обертання ванн електродугових печей мають однотипні конструкції привода й, як наслідок, ті самі недоліки.
3. Модернізована конструкція ванни печі дозволить знизити швидкість обертання ванни в 4 рази й дозволить заощадити до 10% електроенергії, шихтових матеріалів і збільшити вихід готової продукції.
4. Виконані розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей і вузлів указують на досить високу працездатність і надійність механізму.
5. Для забезпечення необхідних показників роботи машини слід враховувати вимоги щодо її монтажу та експлуатації, які наведено в розділі 3.
6. Дана робота може бути рекомендована до застосування в реальних умовах металургійного виробництва.

Список використаної літератури

1. Zaporozhye Ferroalloy Plant JSC "Zaporizhstal". АТ «ЗФЗ». URL: http://zfh.com.ua/p_nash-zavod/ (дата звернення: 16.04.2024).
2. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Published in 2006 by CRC Press Taylor & Francis Group. 583 p.
3. Hrechanyi O., Vasilchenko T., Badlo V., Chuvalskyi M., Padalka O., Parkhomenko V. Analysis of constructive factors affecting the fatigue strength of metallurgical equipment parts. *Системні технології*. 2023. Т. 145. № 2. С. 19–29. URL: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-2-145-2023-03>.
4. Гречаний О. М., Васильченко Т., Бадло В. В., Чувальський М. В., Падалка О. О., Пархоменко В. В. Аналіз факторів, що впливають на втомну міцність деталей металургійного обладнання. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2023: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції* Дніпро: УДУНТ, 2023. С. 23–26.
5. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
6. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352с.
7. Розрахунки вантажопідйомних та транспортуючих машин / Ф. К. Іванченко та ін. К. : Вища шк., 1978. 576 с.
8. Погорелов С. В., Ведмідь Ю. П. Підйомно-транспортні машини: лаб. практикум. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 48 с.
9. Іванченко Ф. К. Конструкція та розрахунок підйомно-транспортних машин. К. : Вища шк., 1988. 424 с.

10. Проценко О.М. Методичні вказівки до розрахунку силових і кінематичних параметрів приводів у курсовому проектуванні. Суми: Сумський державний університет, 2011. 72 с.
11. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник. Харків: Харківський політехнічний інститут, 2020.
12. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2-ге вид. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
13. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 288 с.
14. 11. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 236 с.
15. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : Підручник. – 4-е вид., перероб. і доп. – Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. – 379 с.
16. Ковтун Р.М. Складання металоконструкцій: підручник. Київ: Вища освіта, 2006. 560 с. ISBN: 966-8081-59-5
17. Вискребенцев Е.П. Допуски та посадки гладких циліндричних з'єднань у завданнях та прикладах: навч. посіб. Алчевськ: Дон ДТУ, 2005. 214 с. ISBN 966-310-070-2
18. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
19. НПАОП 0.00–4.01–08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc–page?id_doc=28566.
20. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

21. ДБН В.2.5–28–2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН–В.2.5–28–2006.pdf>.
22. Правила улаштування електроустановок. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravya-ulashtuvannya-elektroustanovok> (дата звернення: 03.10.2023).
23. ДБН В.1.1–7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1–7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf>.
24. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч. посіб. / К. Н. Ткачук, та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.
25. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документація</u>		
A1			ДП.022053.100 СК	Креслення складальне		
				<u>Деталі</u>		
		1		Обойма верхня	1	
		2		Обойма нижня	1	
		3		Гребінка	1	
		4		Захват верхній	3	
		5		Захват нижній	3	
		6		Цівка	165	
		7		Шайба	165	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		8		Болт М24×65.46 ДСТ 7808-70	60	
		9		Шайба 24 65Г ДСТ 6402-70	60	
		10		Шпінт 6,3×50 ДСТ 397-79	165	
		11		Штифт 30×70 ДСТ 12207-79	2	
		12		Шарик 60.000-100 ДСТ 3722-81	100	
		13		Шарик 100.000-200 ДСТ 3722-81	100	
				<u>Матеріали</u>		
		14		Шнур асбестовий ШАОН20 ДСТ 1779-83	1	17,4 м
		15		Шнур асбестовий ШАОН20 ДСТ 1779-83	1	18,3 м
		16		Дріт 2-0-4 ДСТ 3282-74	1	17 м
		17		Змащування графітне УССА ДСТ 3333-80	1	4,258 кг
ДП.022053.100						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Качкаров				Лит.	Лист
Пров.	Сайкова				4	
И.контр.	Васильченко				МОНУ	
Утв.	Власов				ІННІ ім. Ю. М. Потебні ЗНУ	
					зр. 6.1331-с	
Опора кулькова						
Копіював					Формат А4	

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документація</i>						
A1			ДП.022053.400 ОП	Складальне креслення		
<i>Деталі</i>						
		1		Крильчатка	1	
		2		Повітрявод	1	
		3		Сітка фільтрувальна	1	
		4		Прокладка	1	
		5		Рама	1	
		6		Поперечина	1	
<i>Стандартні вироби</i>						
		7		Болт М16-6d×70 ГОСТ 7798-70	4	
		8		Гайка М16-6Н ГОСТ 5915-70	4	
		9		Шайба 16 ГОСТ 11371-78	4	
		10		Шайба 16Г ГОСТ 6402-70	4	
		11		Болт М10-6d×40 ГОСТ 7798-70	6	
		12		Гайка М10-6Н ГОСТ 5915-70	6	
ДП.022053.400						
Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата
Разрад. Качкаров		Пров. Сайкова				
Н.контр. Васильченко		Утв. Власов				
Витяжна вентиляція				Лит.	Лист	Листов
				Д		
				МОНУ ІННІ ім. Ю. М. Потебні ЗНУ зр. 6.1331-с		

