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 Удосконалення обладнання для зневоднення шихтових матеріалів

Виконав: студент групи 6.1333-с2

Білецький Д. О.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Керівник Гречаний О.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 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 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Білецького Давида Олеговича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Удосконалення обладнання для зневоднення шихтових матеріалів
керівник кваліфікаційної роботи доцент, Ph.D. Гречаний О.М.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “23“ грудня 2025 року № 1831-с.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 13 червня 2026 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи виробничого цеху
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. Сушильний барабан – 1А1; 2 Привод сушильного барабана – 1А1; 3. Корпус барабана у зборі – 2А1; 4. Футерування барабана і установка насадок – 1А1; 5. Контрольоване затягнення стрижня болта – 1А1; 6. Газоочищення – 1А1.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
2	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
3	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
4	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційої роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	13.04.2026 – 04.05.2026	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	05.05.2026 – 10.05.2026	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	11.05.2026 – 17.05.2026	
4	Виконання графічної частини проєкту	18.05.2026 – 31.05.2026	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	01.06.2026 – 09.06.2026	
6	Перевірка проєкту консультантами	10.06.2026 – 11.06.2026	
7	Попередній захист проєкту	12.06.2026	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проєкту	Згідно з графіком	

Здобувач _____ Білецький Д. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Гречаний О. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Білецький Д. О. Удосконалення обладнання для зневоднення шихтових матеріалів

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, керівник О. М. Гречаний. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2026.

Проаналізовано вантажопотоки цеху з виробництва феросплавів. Розглянута конструкція установки для зневоднення шихти барабанного типу. Запропонований варіант модернізації сушильної установки. Виконані розрахунки, що обґрунтовують запропоноване технологічне рішення. Приділено увагу питанням техногенної безпеки на дільниці підготовки шихти.

Ключові слова: шихта, зневоднення, сушильна установка, барабан, конвеєр-ґуркіт, фундаментні болти, циклон

ABSTRACT

Biletskyi D. O. Improvement of Equipment for Dewatering Charge Materials

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in higher education, specialty 133 - Industrial engineering, adviser O. M. Hrechanyi. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2026.

The cargo flows of the ferroalloy production plant were analyzed. The design of a drum-type batch dehydration unit was considered. A variant of the modernization of the drying unit was proposed. Calculations were made to substantiate the proposed technological solution. Attention was paid to the issues of technogenic safety at the batch preparation site.

Keywords: batch, dehydration, drying unit, drum, conveyor-gurkit, foundation bolts, cyclone

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 7
1.1 Загальний опис технологічного вантажопотоків отримання основної продукції 7
1.2 Коротка харектеристика обладнання для підготовки шихти 28
1.3 Пропозиції щодо удосконалення конструкції лінії зневоднення шихтових матеріалів 30
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 32
2.1 Теоретичне обґрунтування модернізації лінії зневоднення шихти 32
2.2 Розрахунок основних параметрів вібраційного конвеєра-гуркоту та ковшового елеватора 38
2.3 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна приводу сушильного барабана 48
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА 54
3.1 Загальні положення при прийманні, підготовці та монтажі сушильного барабану 54
3.2 Розрахунок фундаменту під монтаж сушильного барабану 67
3.3 Розрахунок фундаментальних болтів 71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 74
4.1 Техніка безпеки та виробнича санітарія 74
4.2 Техніка безпеки при експлуатації агрегатів лінії зневоднення шихти 77
4.3 Забезпечення вимог електробезпеки 78
4.4 Забезпечення вимог протипожежної безпеки 80
4.5 Вибір газоочисного обладнання 82
Висновки 87
Список використаної літератури 88
ДОДАТКИ 92

ВСТУП

Металургійна промисловість є однією з базових галузей економіки України. Ефективність металургійного виробництва залежить від багатьох факторів. Однією з основних операцій підготовки сировини є її зневоднення та сушіння, що забезпечує необхідні технологічні властивості матеріалів для проведення наступних виробничих процесів.

Підвищена вологість негативно впливає на процеси дозування та змішування компонентів шихти, погіршує сипкість матеріалу та ускладнює його рівномірний розподіл. Крім того, надлишкова волога збільшує витрати теплової енергії під час виплавки феросплавів, що призводить до зниження продуктивності агрегатів та збільшення собівартості продукції.

Для видалення надлишкової вологи широко використовуються сушильні установки різних типів. Серед них найбільшого поширення набули сушарки барабанного типу, які відзначаються простотою конструкції, надійністю роботи, та відносно невисокими експлуатаційними витратами. Сушильний барабан – циліндричний агрегат, що обертається навколо своєї осі та забезпечує інтенсивний контакт шихтового матеріалу з потоком нагрітого газу. Завдяки цьому створюються сприятливі умови для випаровування вологи та досягнення необхідного ступеня висушування матеріалу. Незважаючи на широке застосування сушильних барабанів, вони не позбавлені певних недоліків.

У зв'язку з цим розробка та впровадження конструктивних удосконалень сушильного обладнання є важливим напрямком розвитку сучасних технологій підготовки сировини.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 99 сторінок, на яких 19 рисунків, 1 таблиця, 7 додатків. Бібліографічний список має 41 найменування літературних джерел.

Об'єкт проєктування – обладнання сушильної установки для зневоднення шихти.

Мета роботи – конструктивне удосконалення сушильного барабану.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Загальний опис технологічного вантажопотоків отримання основної продукції

На сьогодні Акціонерне товариство «Запорізький завод феросплавів» є одним із провідних підприємств феросплавної галузі України та належить до числа найбільших виробників феросплавної продукції в Європі. Вигідне географічне розташування підприємства поблизу потужної сировинної та енергетичної бази Придніпровського регіону, а також наявність розвиненої транспортної інфраструктури створюють сприятливі умови для стабільної виробничої діяльності та подальшого розвитку заводу [1-3].

Поєднання сучасних виробничих потужностей, надійного ресурсного забезпечення та ефективної логістичної системи дає можливість підприємству щорічно випускати значні обсяги кременистих і марганцевих феросплавів, які користуються попитом як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках. Важливу роль у зміцненні ринкових позицій заводу відіграє активна співпраця з українськими та зарубіжними партнерами, що сприяє розширенню збуту продукції та підвищенню конкурентоспроможності підприємства [1-3].

За тривалий період функціонування завод сформував потужний науково-технічний та виробничий потенціал, основу якого становлять висококваліфіковані інженерно-технічні працівники, наукові фахівці та досвідчений виробничий персонал. Завдяки ефективному використанню кадрових і технічних ресурсів підприємство успішно здійснює виробничу, фінансово-економічну та зовнішньоекономічну діяльність, постійно впроваджує сучасні технології та вдосконалює виробничі процеси [1-3].

У результаті послідовного розвитку та модернізації виробництва АТ «Запорізький завод феросплавів» перетворилося на потужне підприємство ринкового типу, яке займає вагоме місце у вітчизняній металургійній галузі та

має високий авторитет серед виробників феросплавної продукції не лише в Україні, а й далеко за її межами [1-3].

До основної виробничої структури заводу відносяться чотири плавильні цехи.

У першому плавильному цеху здійснюється виробництво товарного силікомарганцю, який є одним із основних видів продукції підприємства. Плавильний цех №2 спеціалізується на випуску низькофосфорного феромарганцю та переробного силікомарганцю. Останній використовується виключно як сировина для подальшої переробки в цеху №3. У третьому плавильному цеху організовано виробництво металевого марганцю, а також вапна, яке застосовується як у технологічному процесі виплавки марганцю, так і для приготування вапняного молока, що використовується під час фарбування виливниць розливних машин. Крім того, вироблене вапно забезпечує потреби ремонтно-будівельного підрозділу підприємства. У плавильному цеху №4 здійснюється виплавка феросиліцію різних марок, зокрема ФС25, ФС45 та ФС65, які широко використовуються в металургійній галузі.

Безперебійна робота основних виробничих підрозділів забезпечується діяльністю допоміжних цехів. Постачання запасних частин, вузлів та деталей для технологічного обладнання здійснює ремонтно-механічний цех. Ремонт, технічне обслуговування та відновлення електрообладнання покладено на електромеханічний цех. Працівники ремонтно-механічного цеху виконують планово-попереджувальні ремонти мостових кранів, а також виготовляють кожухи для набивних електродів, що використовуються у плавильних цехах №1 та №4. Значну роль у підтриманні виробничої інфраструктури відіграє ремонтно-будівельний цех, силами якого здійснюються ремонти виробничих і допоміжних будівель та споруд, а також виготовляється тара для пакування та транспортування готової продукції.

Внутрішньозаводські та зовнішні вантажоперевезення виконуються різними видами транспорту. Для транспортування сировини, матеріалів і готової продукції використовуються залізничний транспорт, вантажні автомобілі,

трактори та електрокари, що забезпечує ефективну логістику на всіх етапах виробничого циклу.

Сировинна база підприємства сформована за рахунок поставок матеріалів із провідних родовищ України та ближнього зарубіжжя. Для виробництва феросплавів використовуються марганцеві руди Нікопольського та Чіатурського родовищ. Кварцит надходить з Овруцького родовища Житомирської області, а вапняк і доломіт постачаються з Єленівського родовища. Графітовані електроди та електродна маса поставляються підприємством «Укрграфіт». Сталева стружка, яка застосовується як металевмісна добавка у виробництві, надходить від машинобудівних і металообробних підприємств України. Відновником у феросплавному виробництві слугує кокс, який постачається коксохімічними підприємствами регіону. Енергозабезпечення заводу здійснюється через дві високовольтні підстанції Ф-1 та Ф-2, через які надходить необхідна для роботи електропечей електроенергія.

Підтримання високого технологічного рівня виробництва та забезпечення стабільної якості продукції досягається завдяки використанню сучасних засобів вимірювання, контролю та автоматизованого збору інформації. Важливою особливістю підприємства є значна увага до екологічної безпеки виробництва. Усі електропечі обладнані ефективними системами газоочищення, які забезпечують зниження викидів пилу та шкідливих речовин в атмосферу. Використання розливних машин для формування злитків феросплавів сприяє рівномірному розподілу хімічних елементів по всьому об’єму металу, що позитивно впливає на якість готової продукції. Додатково функціонують дробильно-сортувальні комплекси, які дозволяють отримувати продукцію різних фракцій відповідно до вимог споживачів.

На підприємстві також реалізується комплексна програма утилізації та повторного використання відходів власного виробництва. Впровадження ресурсозберігаючих технологій сприяє підвищенню економічної ефективності діяльності заводу, розширенню співпраці з партнерами, збільшенню прибутковості виробництва та одночасному вирішенню актуальних екологічних

завдань. Такий підхід забезпечує стабільний розвиток підприємства та підвищує його конкурентоспроможність на ринку феросплавної продукції.У майбутньому завод планують зробити безвідходним виробництвом, що відповідає сучасним вимогам. Для цієї мети реконструйовано плавильний цех №3, надалі планують реконструювати плавильний цех №4, а також встановити очисники повітря, які забезпечують очищення газів, що відходять від печей [1-3].

Четвертий феросплавний цех, призначений для виробництва феросиліцію, був споруджений та поетапно введений в експлуатацію протягом 1964–1966 років. Комплекс цеху являє собою сукупність трьох окремих виробничих корпусів, які функціонально об'єднані в єдиний безперервний технологічний цикл. До складу цеху входять:

– плавильний корпус;
– корпус підготовки та подачі шихтових матеріалів;
– склад готової продукції.

Така структура забезпечує послідовне виконання всіх основних операцій технологічного процесу – від приймання та підготовки сировини до виплавки феросплавів, їх обробки та відвантаження споживачам. Ілюстративне планувальне рішення плавильного корпусу наведено на рисунку 1.1.

Плавильний корпус, який часто називають головним виробничим корпусом цеху, являє собою великогабаритну промислову споруду довжиною понад 250 м. Будівля має два основні прольоти: пічний та ливарний. Ширина пічного прольоту становить 18 м, тоді як ширина ливарного прольоту досягає 24 м. Таке компонування забезпечує раціональне розміщення основного технологічного обладнання, а також створює необхідні умови для виконання транспортних і ремонтних операцій.

У пічному прольоті встановлено вісім потужних руднотермічних електропечей закритого типу. Шість агрегатів належать до типу РКЗ-21 та мають встановлену потужність 21 МВА кожен. Ще дві печі виконані за типом РКЗ-28 із номінальною потужністю 28 МВА. Усі плавильні агрегати оснащені механізмами обертання ванни.

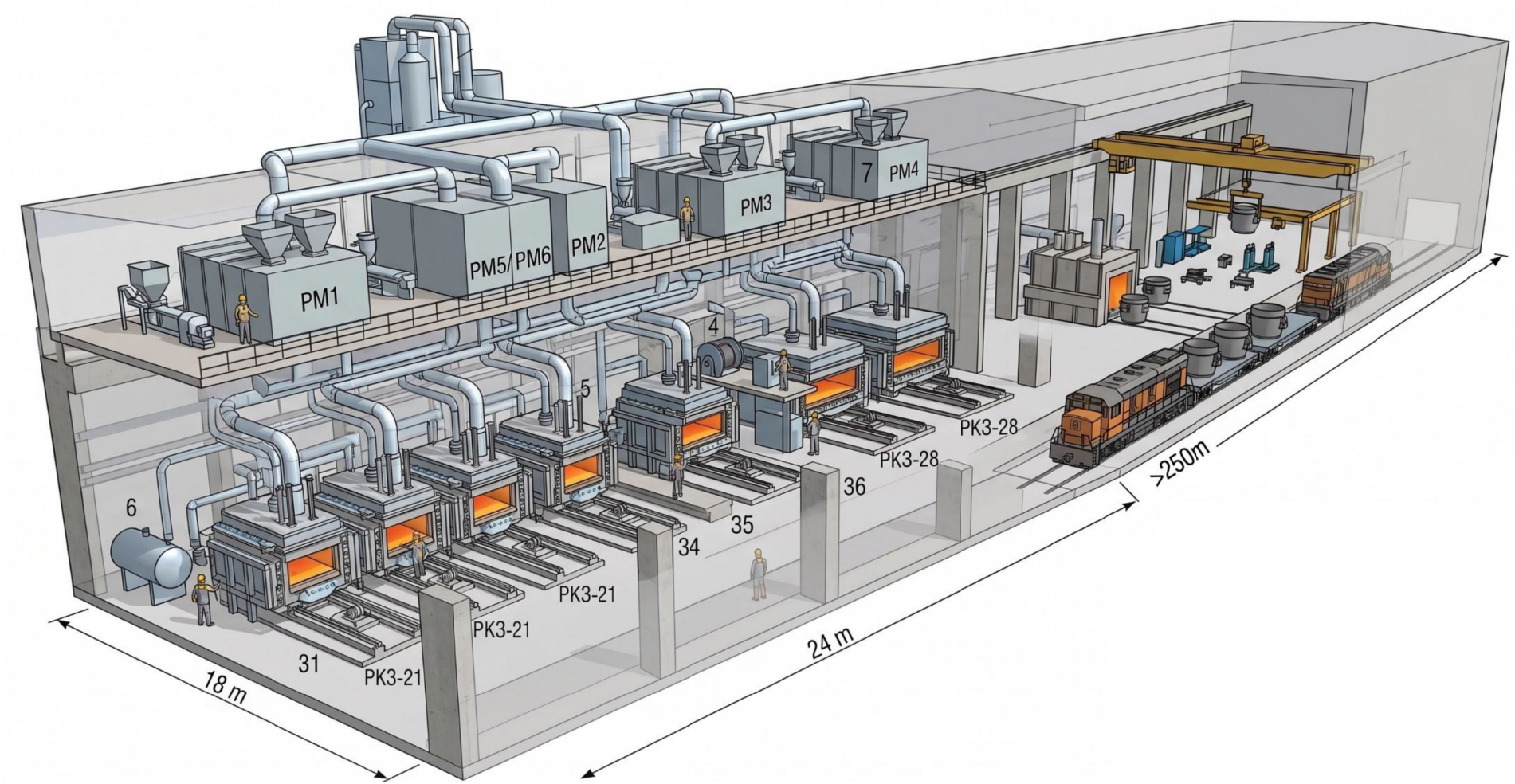


Рисунок 1.1 – Ілюстративний план плавильного корпусу: 1 - залізничний шлях; 2- сушка ковшів; 3- ділянка ремонту ковшів; 4- лебідка; 5- бункер для електродної маси; 6- автоклав; 7- розливна машина; 8 –піч

Обертання ванни при вирбництві феросплавів сприяє більш рівномірному перебігу металургійних процесів і покращує умови ведення плавки. Крім того, печі обладнані водоохолоджуваними склепіннями, які забезпечують надійний тепловий захист конструкцій та підвищують довговічність обладнання.

Використання закритих руднотермічних печей має суттєві технологічні та економічні переваги порівняно з традиційними відкритими феросплавними агрегатами. У відкритих печах значна частина пічних газів безконтрольно згоряє в зоні колошника, що призводить до додаткових втрат енергії, погіршення санітарно-гігієнічних умов праці та збільшення витрат відновників приблизно на 10 %. Закриті печі дозволяють ефективно збирати та утилізувати до 85–90 % утворюваних технологічних газів, використовуючи їх як вторинний енергетичний ресурс. Одночасно значно знижується теплове випромінювання в робочій зоні, що позитивно впливає на безпеку праці та умови роботи обслуговуючого персоналу [4].

Електроживлення кожної руднотермічної печі здійснюється від трьох однофазних пічних трансформаторів потужністю 5500 кВА кожний. Трансформатори розміщені у спеціалізованих пічних підстанціях, розташованих між сусідніми плавильними агрегатами, що забезпечує компактність схеми електропостачання та мінімізує втрати електроенергії під час її передачі до печі. На первинні обмотки трансформаторів подається напруга 10 кВ, яка в подальшому трансформується до параметрів, необхідних для ведення процесу електротермічного відновлення та виплавки феросиліцію.

Для забезпечення безперервної та безпечної роботи технологічного обладнання цех щодоби споживає значні обсяги технічної води. Вода використовується переважно для охолодження найбільш теплонавантажених елементів руднотермічних печей, зокрема електродотримачів, струмопідводів, водоохолоджуваних склепінь, пічних трансформаторів, а також вузлів систем газоочищення. Ефективне функціонування системи водяного охолодження є однією з головних умов підтримання стабільного технологічного режиму та забезпечення довговічності обладнання.

Усі плавильні агрегати оснащені сучасними гідравлічними системами, призначеними для перепуску та переміщення самоспікальних електродів. Використання гідравлічних приводів дозволяє здійснювати точне регулювання положення електродів відносно ванни печі, що має важливе значення для підтримання оптимальних електричних параметрів процесу плавки та рівномірного розподілу теплової енергії в реакційній зоні.

Операції з нарощування металевих кожухів електродів, а також завантаження електродної маси повністю механізовані. Для виконання цих робіт використовуються мостові крани, які забезпечують транспортування та монтаж необхідних конструктивних елементів. Механізація зазначених процесів дозволяє суттєво знизити трудомісткість робіт, підвищити продуктивність праці та покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

Одним із важливих технічних рішень, уперше реалізованих у практиці феросплавного виробництва на підприємстві, стало широкомасштабне регулювання подачі повітря для обдування мантелів печей. Крім того, у холодний період року передбачено попередній підігрів повітря, що сприяє стабілізації температурного режиму роботи обладнання та запобігає утворенню конденсату в технологічних комунікаціях.

Для контролю та забезпечення надійної роботи плавильних агрегатів, систем відведення пічних газів і газоочищення, а також підтримання необхідного тиску газу під склепінням печі застосовується комплекс контрольно-вимірювальних приладів та автоматизованих засобів контролю. Спеціальні датчики безперервно здійснюють вимірювання основних технологічних параметрів і передають отриману інформацію на реєструвальні прилади та пульти керування. Це дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення від встановленого режиму та забезпечувати стабільність технологічного процесу.

Важливим елементом інженерної інфраструктури цеху є потужна вентиляційна система, призначена для видалення шкідливих газів, пилу та надлишкового тепла з виробничих приміщень. Відсмоктування газів, що виділяються через льотки печей, здійснюється за допомогою

високопродуктивних димовідсмоктувачів типу ВД-18, які забезпечують ефективне видалення газоподібних продуктів плавки та підтримання належних санітарно-гігієнічних умов у робочій зоні.

Кожна руднотермічна піч обладнана спеціалізованою системою уловлювання та очищення колошникового газу. Система газоочищення закритої печі складається з двох незалежних технологічних ліній: робочої та резервної. Наявність резервного блоку забезпечує високу надійність функціонування системи та дозволяє проводити ремонтні й профілактичні роботи без зупинки основного виробництва.

До складу комплексу газоочищення входять такі основні елементи: газоприймальна склянка, похилий зрошувальний газохід, скрубер, труба Вентурі, краплевловлювач та вакуумний насос. Сукупна робота цих апаратів забезпечує ефективне очищення пічних газів від пилових частинок і шкідливих домішок, що дозволяє не лише покращити екологічні показники виробництва, але й створює можливість подальшого використання очищеного газу як вторинного енергетичного ресурсу.

Однією з найважливіших виробничих ланок феросплавного цеху є відділення підготовки шихтових матеріалів (склад шихти), схема якого наведена на рисунку 1.2. Саме на цій дільниці здійснюється приймання, зберігання, підготовка, дозування та подача сировинних компонентів до руднотермічних печей. Від ефективності роботи шихтопідготовчого комплексу значною мірою залежить стабільність технологічного процесу, якість готової продукції та економічні показники виробництва.

У відділенні впроваджено високий рівень механізації та автоматизації виробничих операцій. Усі процеси, пов'язані з транспортуванням, підготовкою, дозуванням і подачею шихтових матеріалів, виконуються за допомогою спеціалізованого обладнання, що дозволяє мінімізувати ручну працю, підвищити продуктивність та забезпечити високу точність формування шихтових сумішей.

Склад шихти являє собою комплекс взаємопов'язаних технологічних відділень, розташованих у межах однієї трьохпрольотної виробничої будівлі. До

його складу входять дільниці зберігання сировини, підготовки матеріалів та дозування шихти. Незважаючи на функціональну самостійність кожного підрозділу, усі вони об'єднані в єдину транспортно-технологічну систему, що забезпечує безперервність виробничого процесу.

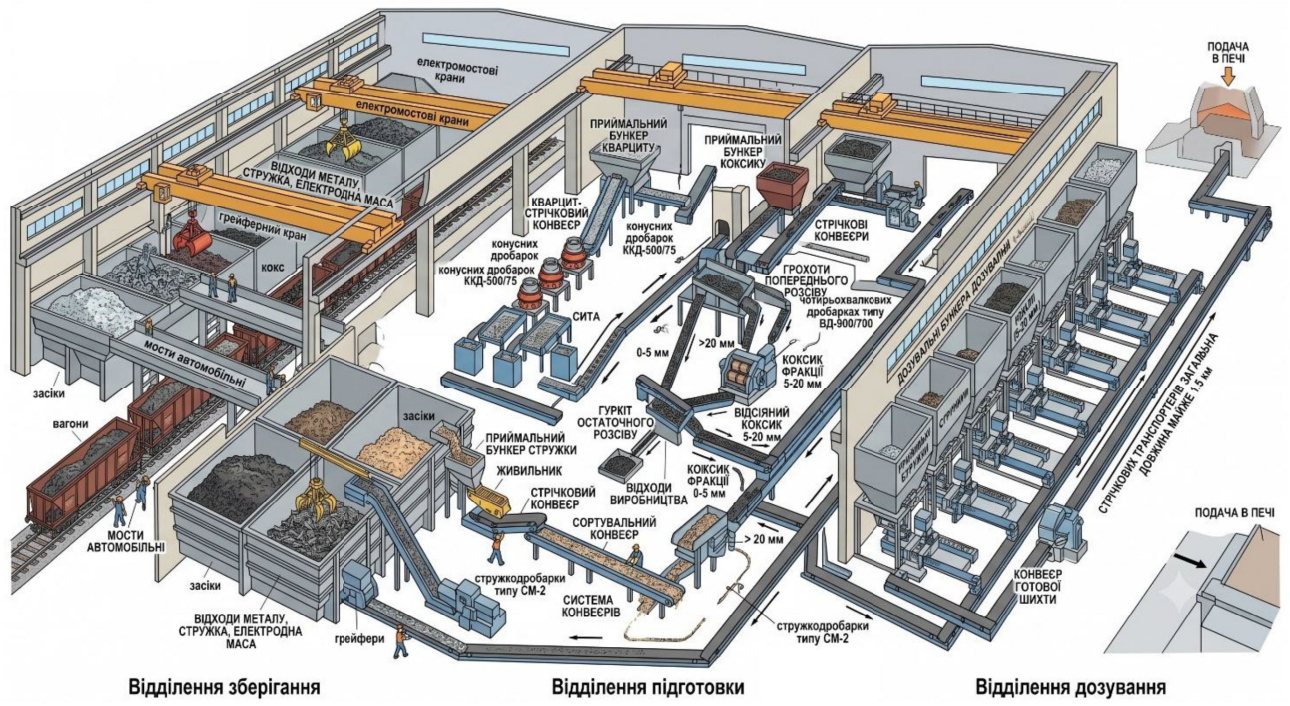


Рисунок 1.2 – Схема вантажопотоків відділення підготовки шихтових матеріалів

Для виконання вантажно-розвантажувальних і транспортних операцій відділення оснащене значною кількістю підйомно-транспортного обладнання. Тут експлуатуються електромостові, грейферні та електромагнітні крани, автомобілерозвантажувальні мости, а також розгалужена мережа стрічкових конвеєрів. Загальна довжина конвеєрних ліній становить майже 1,5 км, що забезпечує безперервне транспортування матеріалів між окремими технологічними дільницями.

Основні шихтові компоненти зберігаються у спеціальних засіках, обладнаних для приймання та накопичення різних видів сировини. Кварцит і кокс, що надходять залізничним транспортом, розвантажуються безпосередньо з

вагонів через нижні люки за допомогою автомобілерозвантажувального мосту. Металеві відходи, стружка та електродна маса завантажуються й переміщуються грейферними механізмами. Усі операції з приймання та розвантаження сировини повністю механізовані, що забезпечує високу продуктивність і безпеку праці.

Підготовка кварциту передбачає його транспортування грейферними кранами до дробильного відділення, де матеріал піддається подрібненню в конусних дробарках [5]. Після цього кварцит проходить стадію класифікації за крупністю на грохотах. Відсортований матеріал за допомогою системи стрічкових конвеєрів подається до накопичувальних бункерів, звідки надалі використовується для формування шихтових сумішей.

Підготовка коксика включає кілька послідовних технологічних операцій. Після надходження до приймального бункера матеріал за допомогою конвеєрної системи транспортується на ґуркоти попереднього розсіву. У результаті сортування коксик розділяється на три фракції: дрібну (0-5 мм), робочу (5-20 мм) та крупну (понад 20 мм). Крупна фракція спрямовується на додаткове подрібнення в чотиривалкових дробарках [6], після чого повертається до циклу підготовки.

Коксик фракції 5-20 мм відповідає технологічним вимогам і транспортується окремими конвеєрними лініями безпосередньо до дозувальних бункерів. Дрібна фракція (0-5 мм), а також матеріал після повторного подрібнення проходять остаточний контрольний розсів. За результатами класифікації дріб'язок відокремлюється та направляється на склад відходів виробництва [7], тоді як кондиційна фракція надходить до системи дозування шихти.

Особливе місце в технологічному циклі займає підготовка металевої стружки, яка використовується як один із компонентів шихти. Процес її обробки здійснюється безпосередньо на складі шихтових матеріалів і включає операції сортування, подрібнення та накопичення.

Металева стружка надходить до приймального бункера, звідки за допомогою живильника подається на сортувальний стрічковий конвеєр. У

процесі транспортування виконуються операції відбору сторонніх домішок і попереднього сортування матеріалу. Після цього стружка направляється до спеціалізованих стружкодробарок, де здійснюється її подрібнення до необхідних розмірів. Підготовлений матеріал накопичується у відповідних засіках, а під час формування шихти подається до дозувальних бункерів для подальшого змішування з іншими компонентами.

Таким чином, відділення шихтопідготовки являє собою складний багатофункціональний виробничий комплекс, оснащений сучасними засобами механізації та автоматизації. Його робота забезпечує отримання шихти необхідного гранулометричного та компонентного складу, що є однією з визначальних умов ефективної та стабільної роботи руднотермічних печей при виплавці феросиліцію.

Завершальним етапом підготовки шихтових матеріалів є їх точне дозування та подача до плавильних агрегатів. Для виконання цих операцій у дозувальному відділенні функціонують шість незалежних дозувальних вузлів, кожен з яких здатний працювати автономно та забезпечувати необхідний режим підготовки шихти для відповідних руднотермічних печей. Спрощену схему дозувального вузла наведено на рисунку 1.3

До складу кожного дозувального вузла входять шість витратних бункерів, комплект живильників і вагових дозаторів безперервної дії. Конструктивно вузол поділений на два взаємопов'язані підвузли, що забезпечує гнучкість експлуатації обладнання та підвищує надійність роботи всієї системи дозування. Залежно від технологічного призначення використовуються дозатори різної продуктивності, годинна пропускна здатність яких становить 125, 100, 65, 40 та 20 т/год.

Для формування шихти, призначеної для закритих руднотермічних печей, застосовується сучасна система комплексного автоматизованого багатокомпонентного дозування безперервної дії. Використання такої системи дозволяє підтримувати заданий склад шихтової суміші з високою точністю, що

є необхідною умовою стабільного перебігу процесів електротермічного відновлення та отримання феросиліцію необхідної якості.

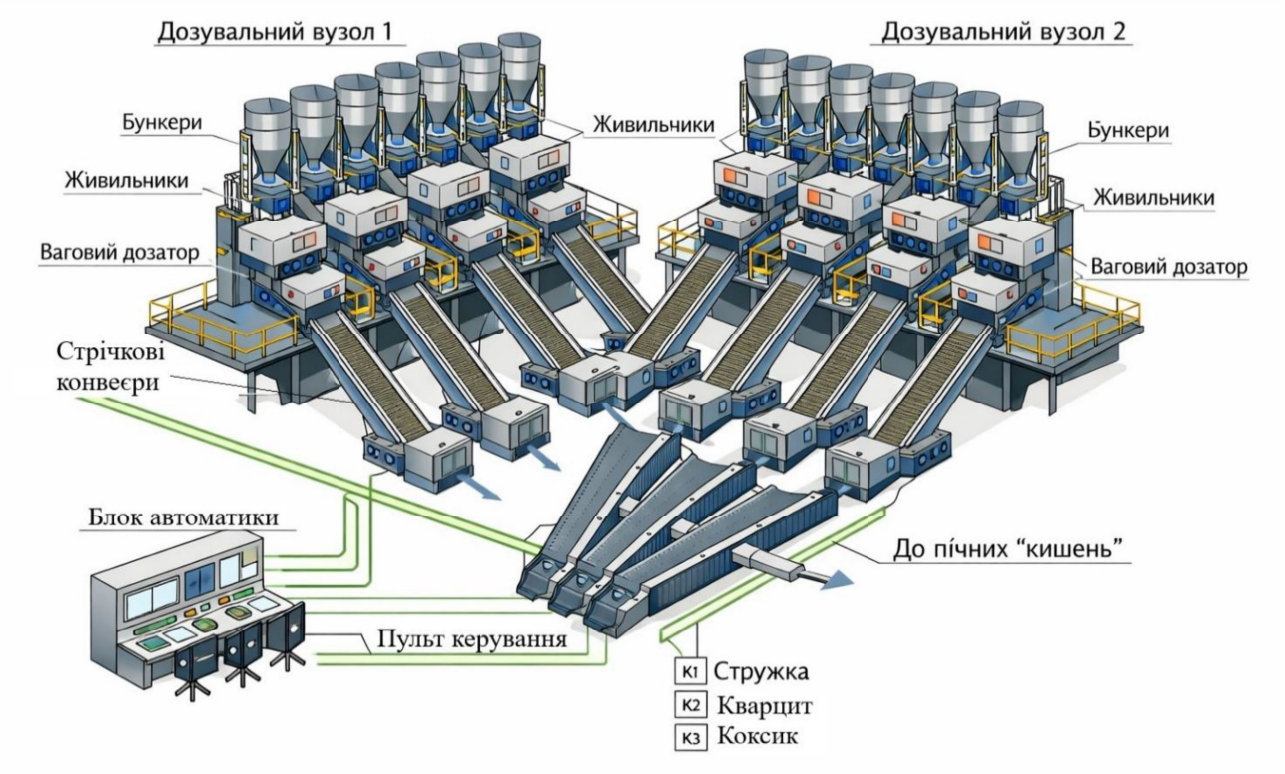


Рисунок 1.3 – Спрощена схема дозувального вузла

У випадку трикомпонентного дозування формування однорідної шихтової суміші відбувається без використання спеціальних змішувачів. Перемішування компонентів забезпечується природним шляхом у процесі транспортування матеріалів стрічковими конвеєрами. Багаторазові перепади висот під час переміщення шихти від дозувального відділення до пічних приймальних бункерів («кишень») сприяють рівномірному розподілу окремих складових та утворенню однорідної суміші.

Автоматизована система дозування являє собою складний комплекс засобів контролю, управління та регулювання технологічного процесу. До її складу входять пристрої місцевого ручного керування та контролю продуктивності дозаторів, блоки комутації дозувальних агрегатів, засоби дистанційного управління, системи автоматичного та взаємопов'язаного

автоматичного регулювання, а також пристрої сигналізації та блокування. Окрему групу обладнання становлять системи електроживлення та вагові дозатори безперервної дії, які безпосередньо забезпечують відмірювання необхідної кількості компонентів.

Система автоматизації дозволяє здійснювати управління кожним дозувальним блоком як безпосередньо з місцевого щита керування, так і централізовано з диспетчерського пункту. Централізоване керування забезпечує можливість дистанційного контролю параметрів роботи обладнання, ручного оперативного втручання та реалізації різних режимів автоматичного регулювання технологічного процесу.

Особливістю системи є можливість автоматичного підтримання заданих співвідношень між окремими компонентами шихти. Основною схемою регулювання є трьохкомпонентне дозування за співвідношенням «металева стружка – кварцит – коксик». Одночасно система забезпечує реалізацію режимів двокомпонентного автоматичного регулювання, зокрема за схемами «стружка – кварцит» або «кварцит – коксик». При необхідності продуктивність окремих дозаторів, що подають коксик або металеву стружку, може коригуватися оператором у ручному режимі, що підвищує гнучкість управління технологічним процесом.

Після завершення дозування підготовлена шихта безперервним потоком транспортується до плавильних агрегатів. Подача матеріалів здійснюється через систему спеціальних ізольованих трубопроводів та труботічок, які забезпечують надійне транспортування шихти без втрат і забруднення навколишнього середовища. Така організація процесу дозволяє підтримувати стабільне завантаження печей та створює необхідні умови для безперервного перебігу плавки.

Завантаження основної шихти до печей здійснюється безперервно протягом усього технологічного циклу. Коригувальні добавки та спеціальні компоненти вводяться відповідно до виробничого графіка, як правило, на початку кожної робочої зміни. Завдяки точному дозуванню та автоматизованому

контролю забезпечується постійність хімічного складу шихти, що позитивно впливає на стабільність електричних режимів роботи печей, ступінь вилучення кремнію та якість готового феросиліцію.

Після надходження шихтових матеріалів у пічний простір розпочинається безперервний процес плавки, під час якого під дією високих температур та електричної енергії відбуваються складні фізико-хімічні процеси відновлення оксидів кремнію та утворення феросиліцію заданого складу.

Технологічна сутність процесу виплавки феросиліцію полягає у відновленні кремнію з його природного оксиду – кремнезему (SiO_2) – за допомогою вуглецевих відновників. Процес відновлення є складним комплексом фізико-хімічних перетворень, які відбуваються за високих температур у руднотермічних електропечах. Оскільки реакції відновлення кремнію характеризуються значним ендотермічним ефектом і супроводжуються великим споживанням теплової енергії, їх реалізація можлива лише за умов інтенсивного електричного нагрівання шихти.

Джерелом кремнію у виробництві феросиліцію є кварцит, основним компонентом якого є діоксид кремнію. Як відновники використовуються різні вуглецевмісні матеріали, зокрема коксик, кам'яновугільний кокс та інші матеріали з високим вмістом фіксованого вуглецю. Під дією високих температур, що досягають у реакційній зоні кількох тисяч градусів, відбувається відновлення кремнезему з утворенням елементарного кремнію та газоподібних продуктів реакції.

На відміну від виробництва технічного кремнію, під час виплавки феросиліцію до складу шихти додатково вводять залізовмісні компоненти, найчастіше металеву стружку або інші залізні відходи. Присутність заліза має важливе технологічне значення, оскільки відновлений кремній активно розчиняється в рідкому залізі з утворенням залізокремнієвого сплаву. Утворення рідкої металевої фази сприяє своєчасному виведенню кремнію із зони високотемпературних реакцій, запобігаючи його повторному окисненню та втратам у вигляді летких сполук.

Реальний механізм виплавки феросиліцію є надзвичайно складним і включає велику кількість послідовних та паралельних реакцій між твердими, рідкими й газоподібними фазами. У процесі плавки відбуваються реакції відновлення оксидів, утворення проміжних карбідів та субоксидів кремнію, розчинення кремнію в залізі, а також численні тепло- і масообмінні процеси. Крім того, значний вплив на перебіг плавки мають гранулометричний склад шихтових матеріалів, електричний режим роботи печі, температура реакційної зони та газодинамічні умови в робочому просторі агрегату.

Проте для спрощеного опису процесу виплавки феросиліцію, як і більшості феросплавів, зазвичай використовують сумарну реакцію прямого відновлення основного оксиду рудної складової твердим вуглецем. Для кремнезему така реакція може бути представлена у вигляді [8]:

$$SiO_2+2C=Si+2CO \qquad (1.1)$$

Найбільш обґрунтованою вважається схема процесу, яка передбачає протікання комплексу взаємопов'язаних хімічних реакцій за участю проміжних продуктів, виявлених у різних зонах руднотермічної печі. До таких продуктів належать газоподібний монооксид кремнію (SiO) та твердий карбід кремнію (SiC), відомий також під назвою карборунд. Саме ці сполуки відіграють ключову роль у механізмі відновлення кремнію та подальшому утворенні феросиліцію.

У високотемпературній зоні печі, де відбувається інтенсивна взаємодія кремнезему з вуглецем, спочатку утворюється газоподібний монооксид кремнію. Ця сполука є нестійкою за умов плавки та бере участь у подальших реакціях відновлення. Одночасно частина кремнію взаємодіє з вуглецем з утворенням карбіду кремнію, який є одним із найважливіших проміжних продуктів процесу.

Подальше відновлення кремнію здійснюється в результаті взаємодії карбіду кремнію з кремнеземом та газоподібним монооксидом кремнію. Таким чином, утворення SiO та SiC є необхідними проміжними стадіями складного багатостадійного процесу електротермічного відновлення кремнію. Саме тому

сучасні уявлення про механізм виплавки феросиліцію базуються не на прямому відновленні діоксиду кремнію вуглецем, а на сукупності взаємопов'язаних реакцій, серед яких визначальне значення мають реакції утворення монооксиду кремнію та карбіду кремнію, що можуть бути представлені такими рівняннями:

$$SiO_2+C=SiO+CO; \quad (1.2)$$

$$SiO_2+3C=SiC+2CO; \quad (1.3)$$

$$SiO_2+2SiO=3Si+2CO; \quad (1.4)$$

$$SiO+SiC=2Si+CO. \quad (1.5)$$

Завершальним етапом процесу виплавки феросиліцію є випуск готового сплаву з руднотермічної печі та його подальша обробка. Залежно від продуктивності агрегату та технологічного режиму роботи випуск металу здійснюється 4–5 разів протягом зміни. При роботі печі на номінальній потужності інтервал між окремими випусками не повинен перевищувати двох годин, оскільки надмірне накопичення рідкого металу в горні негативно впливає на електричний режим плавки, стан електродів і стабільність роботи агрегату в цілому. Тривалість одного випуску для печі, що працює у штатному режимі, як правило, не перевищує 20 хвилин. Такий режим забезпечує своєчасне видалення металу із плавильного простору та підтримання оптимального рівня розплаву в печі.

Випущений феросиліцій надходить у спеціальні розливні ковші, футеровані вогнетривкою шамотною цеглою. Вогнетривка футеровка захищає металевий корпус ковша від дії високих температур і агресивного впливу рідкого металу та шлаку. Під час заповнення ковша контролюється рівень металу, який не повинен перевищувати встановленої технологічної позначки. Це необхідно для забезпечення безпечного транспортування розплаву та запобігання його

переливанню під час переміщення.

Після завершення випуску метал витримується в ковші протягом 25…30 хвилин. За цей час відбувається часткове відстоювання розплаву та більш повне відокремлення шлакової фази від металу під дією різниці густин. Витримка сприяє покращенню якості готового феросплаву, зменшенню вмісту неметалевих включень та підвищенню однорідності хімічного складу продукції.

Після завершення процесу відстоювання ковші транспортуються до розливного прольоту, де виконуються операції подальшої обробки та формування товарної продукції. Розливний проліт безпосередньо примикає до пічного прольоту та є завершальною виробничою дільницею плавильного цеху. Саме тут відбувається остаточне перетворення рідкого феросиліцію на готову продукцію, придатну для зберігання, транспортування та реалізації споживачам.

У розливний проліт надходить увесь метал, виплавлений у руднотермічних печах. Після виконання операцій розливання, охолодження та первинної обробки готовий феросплав направляється на склад готової продукції, де здійснюються його накопичення, сортування та підготовка до відвантаження. Надалі продукція відправляється споживачам відповідно до виробничої програми підприємства.

Основу технологічного обладнання розливного прольоту становлять машини безперервного розливання феросиліцію, призначені для формування зливків заданих розмірів і конфігурації. Рідкий метал надходить у виливниці або спеціальні форми, де відбувається його поступове затвердіння. Для прискорення процесу кристалізації та забезпечення необхідної структури сплаву застосовуються системи охолодження, які підтримують заданий температурний режим на всіх стадіях розливання.

Після завершення операції випуску та витримки феросиліцію в ковші рідкий метал транспортується до розливного відділення. Переміщення ковша від руднотермічної печі до машини безперервного розливання здійснюється за допомогою електромостового крана. У розливному прольоті головного корпусу ківш встановлюється на спеціальний кантувальний пристрій, призначений для контрольованого зливання металу у форми.

Конструкція кантувального механізму включає траверсу, шарнірно з'єднану з несучою рамою та гідравлічними циліндрами приводу. Після встановлення ковша на траверсу здійснюється його плавне нахиляння за допомогою двох гідроциліндрів. Переміщення штоків гідроциліндрів забезпечує поступовий поворот ковша навколо осі обертання, що дозволяє регулювати швидкість зливання металу та підтримувати рівномірність потоку.

Розплавлений феросиліцій безперервним струменем надходить у заливний жолоб, футерований вогнетривкими матеріалами для захисту конструкції від впливу високих температур. Із заливного жолоба метал спрямовується до виливниць (мульд), закріплених на безперервно рухомому ланцюговому конвеєрі машини розливання.

Геометричні параметри виливниць, а також кут нахилу конвеєрної траси підібрані таким чином, щоб забезпечити стабільне заповнення форм без переливання металу. У процесі руху конвеєра кожна виливниця послідовно проходить стадії заповнення, охолодження, затвердіння та вивантаження готової продукції.

Після заповнення рідким металом виливниці переміщуються спочатку похилою, а потім горизонтальною ділянкою конвеєра в напрямку розвантажувального вузла. У цей період відбуваються процеси кристалізації та охолодження феросиліцію. Для забезпечення необхідної швидкості тепловідведення застосовується комбінована система охолодження.

На початковій ділянці конвеєра охолодження виливниць здійснюється водою, яка подається через систему трубопроводів верхнього та нижнього охолодження. Інтенсивне водяне охолодження сприяє швидкому відведенню тепла від стінок виливниць і прискорює процес затвердіння металу. Додатково на всій горизонтальній частині конвеєра застосовується примусове повітряне охолодження. Потужний повітряний потік створюється димососом і забезпечує ефективне зниження температури як металу, так і самих виливниць.

Після завершення процесу кристалізації ланцюг конвеєра огинає приводну зірочку кінцевої станції. У результаті зміни положення виливниць затверділі

чушки феросиліцію під дією власної ваги випадають із форм та через спеціальний викидний похилий жолоб надходять у металевий накопичувальний короб місткістю близько 3 м³. Звідти готова продукція транспортується на подальші операції сортування, дроблення або складування.

Для видалення залишків металу, які можуть прилипати до внутрішньої поверхні виливниць після розливання, у кінцевій частині конвеєра встановлено спеціальний ударний механізм. Під дією ударних навантажень відбувається очищення форм від залишків затверділого феросиліцію, що забезпечує їх підготовку до наступного циклу роботи.

Після розвантаження порожні виливниці повертаються до зони заливання по зворотній гілці конвеєра у перевернутому положенні. Під час руху здійснюється їх підготовка до повторного використання. Для запобігання приварюванню металу та захисту робочої поверхні від термічного й хімічного впливу внутрішні стінки виливниць покриваються тонким шаром вапняного молока. Захисне покриття створює розділовий шар між формою та розплавом, що значно полегшує подальше виймання готових чушок.

Нанесення вапняної суспензії виконується за допомогою двох автоматичних обприскувачів, установлених під трасою конвеєра. Після обробки поверхні форми проходять стадію сушіння, яка здійснюється газовими пальниками. Видалення вологи перед черговим циклом заливання є необхідною умовою безпечної експлуатації обладнання, оскільки потрапляння води в контакт із рідким металом може спричинити інтенсивне пароутворення та аварійні ситуації.

Для забезпечення надійної та довговічної роботи обладнання машин безперервного розливання всі вузли тертя та рухомі елементи конвеєрних систем оснащені централізованою системою подавання густого мастила. Використання такої системи дозволяє підтримувати оптимальний режим змащування підшипників, шарнірних з'єднань, роликів і приводних механізмів, зменшуючи інтенсивність зношування деталей та підвищуючи експлуатаційну надійність обладнання.

Розливні машини розташовані таким чином, щоб забезпечити максимально раціональну організацію подальшого транспортування готової продукції. Після завершення процесу розливання та охолодження чушки феросиліцію надходять безпосередньо на склад готової продукції. Тут сплав накопичується у спеціальних металевих контейнерах або коробах, де проходить остаточне природне охолодження протягом приблизно 16 годин. Після досягнення необхідної температури продукція підлягає зважуванню, обліку та підготовці до відвантаження. Надалі феросиліцій завантажується у залізничні вагони та транспортується споживачам відповідно до виробничої програми підприємства.

Виплавка феросиліцію здійснюється в трифазних руднотермічних електропечах змінного струму, які забезпечують створення високотемпературної реакційної зони, необхідної для відновлення кремнезему вуглецем. Електричний режим роботи печей визначається технологічними вимогами до процесу плавки та характеристиками вироблюваного сплаву. Як правило, напруга на низькій стороні пічних трансформаторів становить 130–200 В, тоді як сила струму досягає 35–60 кА і більше. За таких параметрів у робочому просторі печі виділяється значна кількість теплової енергії, необхідної для перебігу ендотермічних реакцій відновлення кремнію.

У відкритих феросплавних печах завантаження підготовленої шихти здійснюється безперервно за допомогою завалочних машин системи Плюйка. Матеріали подаються невеликими порціями переважно в місця найбільш інтенсивного осідання шихти, які відповідають зонам максимального тепловиділення. Такий спосіб завантаження забезпечує рівномірність технологічного процесу та сприяє підтриманню стабільного електричного режиму роботи печі.

Особливістю виплавки феросиліцію є те, що основна частина електричної енергії виділяється в зоні електричних дуг та в місцях контакту електродів із шихтовими матеріалами. У результаті навколо кожного електрода формується локальна високотемпературна область, яку прийнято називати реакційним

тиглем. Саме в цій зоні відбувається найбільш інтенсивне нагрівання шихти, плавлення матеріалів і протікання основних реакцій відновлення кремнезему.

У міру витрачання шихтових матеріалів у реакційному тиглі їх місце під дією сили тяжіння займають нові порції шихти, що надходять із верхніх шарів завантаження. Безперервний рух матеріалів донизу забезпечує підтримання необхідної пористості шихтового стовпа поблизу електродів. Пухка структура матеріалів сприяє вільному проходженню технологічних газів, інтенсифікує теплообмінні процеси та створює сприятливі умови для перебігу реакцій відновлення.

Найбільш інтенсивне газоутворення спостерігається саме в зоні реакційного тигля. Тут утворюються значні об'єми оксиду вуглецю, монооксиду кремнію та інших газоподібних продуктів. У процесі підйому через верхні шари шихти ці гази передають їй значну частину своєї теплової енергії, забезпечуючи попереднє нагрівання матеріалів ще до їх потрапляння в область високих температур.

Із віддаленням від електродів температура поступово знижується, а щільність шихтових матеріалів збільшується. Одночасно зменшується інтенсивність газовиділення та швидкість перебігу відновлювальних реакцій. Поблизу стінок печі температура часто є недостатньою для плавлення матеріалів, унаслідок чого формується щільний спечений шар шихти, який виконує роль своєрідної теплоізоляційної оболонки та захищає футеровку від надмірного теплового впливу.

Гази, що утворюються в зоні електричних дуг, проходячи через шихтовий стовп, не лише нагрівають матеріали, але й беруть участь у хімічних перетвореннях. Якщо у верхніх шарах шихти присутні оксиди металів, які легко відновлюються, вони можуть відновлюватися оксидом вуглецю ще до потрапляння в реакційну зону. Таким чином, газова фаза активно бере участь у загальному процесі відновлення.

Важливим явищем є також конденсація парів кремнію та монооксиду кремнію під час їх контакту з відносно холодними шарами шихти. Ефективність

цього процесу значною мірою залежить від характеру руху газів у печі. Чим більшою є площа проходження газового потоку через шихтовий стовп, тим меншою стає його швидкість і тим інтенсивніше відбувається конденсація парів кремнієвмісних сполук. Це дозволяє зменшити втрати кремнію та підвищити ступінь його вилучення у готовий сплав.

Для забезпечення рівномірного розподілу газових потоків навколо кожного електрода підтримується невеликий конус із шихтових матеріалів. Наявність такого конуса підвищує опір прямому виходу газів поблизу електродів і сприяє їх більш рівномірному проходженню через усю площу колошника. Завдяки цьому покращуються умови теплообміну та зменшуються втрати цінних компонентів.

У випадку звуження стовпа пухких матеріалів навколо електродів порушуються нормальні умови газообміну та теплопередачі. Це призводить до погіршення попереднього нагрівання шихти, збільшення втрат кремнію внаслідок випаровування та зростання тиску газів усередині печі. За таких умов можуть утворюватися так звані «нориці» — локальні канали інтенсивного виходу газів. Через них із печі виноситься значна кількість парів кремнію та монооксиду кремнію, що негативно впливає на техніко-економічні показники процесу та знижує вихід готового феросиліцію.

1.2 Коротка харектеристика обладнання для підготовки шихти

До цієї групи відносяться: ваги автоматичні та кранові конвеєрні, змішувачі, сепаратор магнітний, приводні візки, сушильні барабани.

Найбільш цікавими та важливими у цій групі є сушильні барабани, які представляють собою установки для зневоднення компонентів шихти згідно вимог технологічного процесу. Такі апарати встановлені у складовому (для сушіння та перемішування шихти) та у плавильному (для сушіння флюсу) відділеннях цеху. Загальний вид установки зображено на рисунку 1.4.

Сушильний барабан є апаратом безперервної дії. Призначений для теплової обробки невибухонебезпечних, нетоксичних сипучих матеріалів.

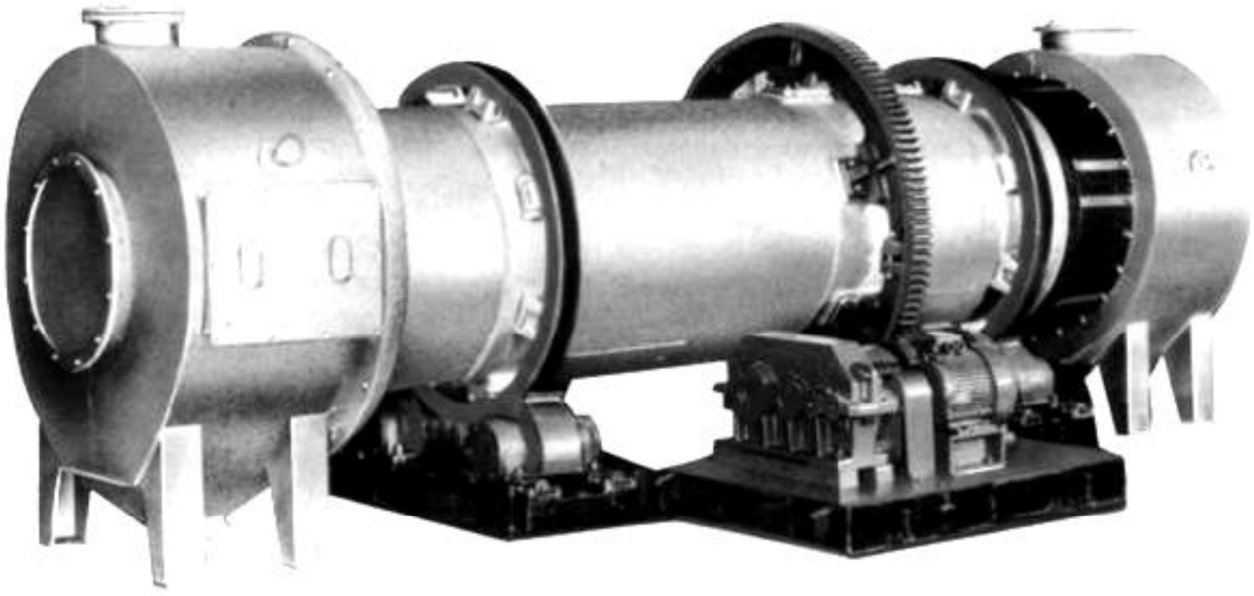


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд установки для зневоднення шихти

Барабани сушильні бувають двох видів: прямоточні та протиточні. Прямоточному відповідає праве розташування приводу, протиточному – ліве, із боку завантаження.

Структурну схему безпосередньо сушильного барабана наведено на рисунку 1.5.

Технічна характеристика сушильного барабана:

- діаметр барабана, м 1,6
- довжина барабана, м 8
- продуктивність, т/год 2,5
- число обертів, об/хв 2,6
- характер роботи безперервно
- загальна вага установки, кг 13 900
- ухил осі барабана до горизонту, град 30
- вид палива газоподібне

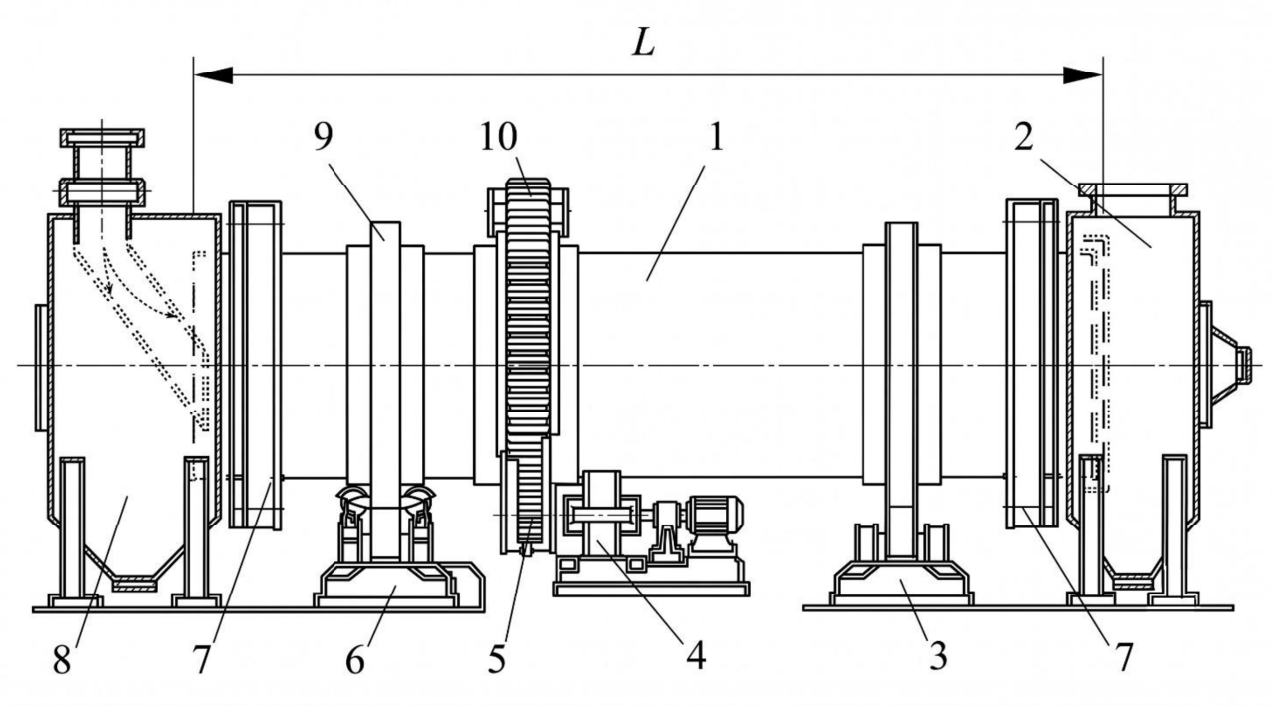


Рисунок 1.5 – Структурна схема сушильного барабану: 1 – барабан; 2 – розвантажувальна головка; 3 – опорна станція; 4 – привід; 5 – зубчастий вінець; 6 – упорна станція; 7 – ущільнення; 8 – розвантажувальна камера; 9 – бандажі; 10 – кожух

1.3 Пропозиції щодо удосконалення конструкції лінії зневоднення шихтових матеріалів

Існуюча лінія зневоднення була розрахована, ще в часи до незалежності України. Її розрахункова продуктивність становила 15 т/год, що на момент проєктування повністю відповідало виробничим потребам підприємства. Проте внаслідок зростання обсягів виробництва, зміни вимог до якості продукції та підвищення вимог щодо енергоефективності технологічних процесів наявне обладнання вже не забезпечує необхідних техніко-економічних показників роботи. У зв'язку з цим питання модернізації та реконструкції лінії набуває особливої актуальності.

Аналіз роботи існуючого комплексу показує, що на сьогодні вихід придатної продукції становить близько 80 %, тоді як решта матеріалу переходить

у відходи або повертається на повторну переробку. Одночасно спостерігається перевищення нормативних витрат енергоресурсів. Зокрема, питомі витрати електроенергії та природного газу на виробництво однієї тонни готової продукції значно перевищують проєктні показники, що негативно впливає на собівартість продукції та конкурентоспроможність виробництва в цілому.

Встановлене барабанне сито при поділі на фракції піднімає шихтові матеріали на висоту 1 м, при цьому через тертя і удари об сито близько 10 % придатної фракції перетворюється на пил і відправляється на переплавку.

Проблема невідповідності існуючої потужності та необхідної для гранулятора та сушильного барабана може бути вирішена зміною потужності приводу або числа обертів робочої частини машини. Однак конструкція барабанного сита та елеватора не дозволяє вносити зміни в привод, так як у першому випадку при зменшенні кількості обертів сита не забезпечиться просіювання, а в другому – відцентрове розвантаження елеватора.

Застосування вібраційного просіювання дозволить більш ефективно розділяти шихту, не розбиваючи придатну фракцію. Щоб не вводити додаткового транспортера між сушильним барабаном та віброситом, рекомендується встановити вібраційний конвеєр-ґуркіт. Він дасть можливість одночасно транспортувати та розділяти на фракції шихту. Крім того, встановлення вібраційного конвеєра-ґуркоту вирішить проблему плавлення ковшів елеватора, яка існує на сьогодні. Температура шихти на виході з барабана на порядок перевищує допустиму для ковшів елеватора температуру, це призводить до їх швидкого зносу. На виході з конвеєра-ґуркоту температура буде близькою до температури навколишнього середовища.

Таким чином, впровадження вібраційного конвеєра-ґуркоту замість існуючої схеми транспортування та класифікації дозволить підвищити вихід придатної продукції, скоротити втрати матеріалу внаслідок його подрібнення, знизити енерговитрати виробництва, покращити умови експлуатації обладнання та забезпечити підвищення загальної ефективності роботи лінії зневоднення й підготовки шихтових матеріалів.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Теоретичне обґрунтування модернізації лінії зневоднення шихти

Пройшовши сушильний барабан барабан, шихта віддає вологу до заданого показника вологості. З сушильного барабана шихта подається в елеватор, в якому піднімається на висоту вісім метрів та вивантажується у барабанне сито для поділу на чотири фракції. Шихта поділяється на такі фракції: дуже велика (3-10мм), велика (1-3мм), дрібна (0,5-1мм), пил (менше 0,5 мм). Далі дуже велика фракція і пил відводяться в спеціальний бункер для браку і згодом транспортуються або на додрібнення або на оґрудкування або агломерацію.

У процесі транспортування на елеваторі та при поділі на фракції у вібраційному ситі вологість шихти продовжує падати. Після поділу шихта набуває температуру, близьку до температури навколишнього середовища та задану вологість. Тому барабанне сито та елеватори відносять безпосередньо до лінії сушіння, а транспортерні лінії – до завантаження в бункери готової продукції.

З метою економії простору цеху, електроенергії, збільшення виходу придатної продукції та скорочення витрат на обслуговування обладнання пропонується замінити елеватор та барабанне сито одним вібраційним конвеєром-ґуркотом. Крім того, для кращої адаптації сушильного барабана до виробництва флюсу необхідно внести зміни до перевалочного пристрою агрегату. Це дозволить ефективніше використовувати газ та перенести зону найбільших температур далі від опорно-упорної станції (рис.1.4), що позитивно вплине на працездатність опорних вузлів.

Конвеєр-ґуркіт вібраційний за принципом дії аналогічний простому вібраційному конвеєру, однак має деякі конструктивні особливості, описані нижче, що дозволяють розділяти матеріал на фракції в процесі транспортування [9]. Таким чином, цей апарат здатний одночасно виконувати функції транспортера та сита.

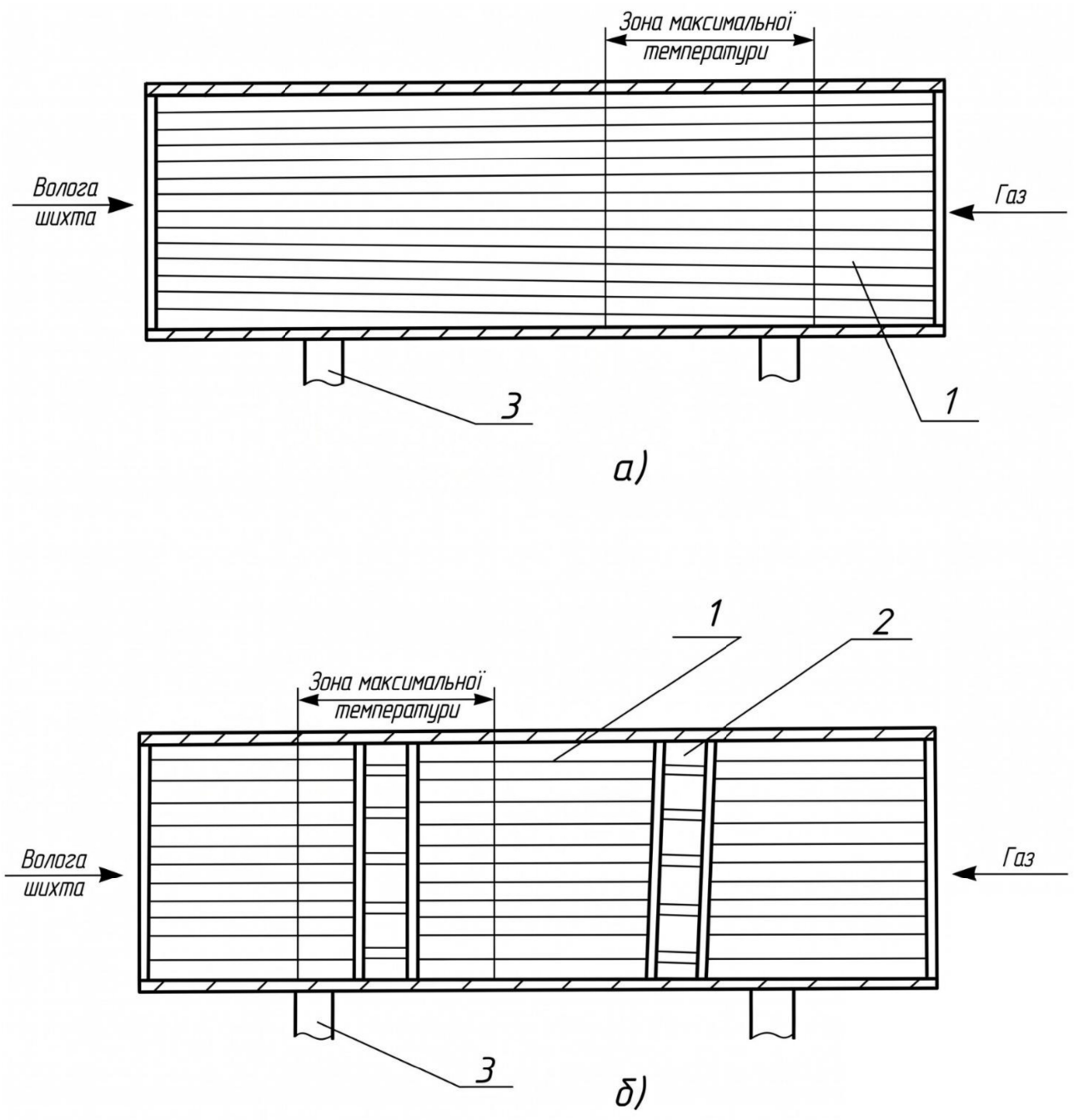


Рисунок 2.1 – Схема розподілу температурних зон сушильного барабана: а – базовий варіант, б – проєктуємий варіант. 1 – підйомно-лопатевий перевалочний пристрій; 2 – розподільний із закритими осередками перевалочний пристрій; 3 – опорні ролики

Хитним називається конвеєр, що є підвішеним або спирається на раму жолоб (трубу), який здійснює коливальні рухи для переміщення вантажу, що знаходиться в жолобі (трубі) [10].

Конвеєр, що коливається, в якому переміщення вантажу здійснюється силами інерції без відриву його від жолоба, називається інерційним. Конвеєр, у якому переміщення вантажу здійснюється мікрокидками з відривом частини вантажу від жолоба, називається вібраційним. У цих конвеєрах амплітуда коливань вбирається у 0,5…15мм, а частота – понад 7,5…50 коливань на секунду [11].

Вібраційні конвеєри розрізняються: за напрямом переміщення вантажу – горизонтальні, пологонахильні та вертикальні; за способом кріплення вантажонесучого елемента – на вільних пружних підвісках-амортизаторах та на похилих напрямних стійках; за кількістю одночасно коливальних мас – одномасні, двомасні, багатомасні; за динамічною врівноваженістю – неврівноважені та врівноважені; за кількістю вантажонесучих елементів (жолобів або труб) – одноелементні та двоелементні; за характеристикою та налаштування пружної системи – з резонансним, дорезонансним або зарезонансним налаштуванням. На рис. 2.2 наведено схеми основних типів вібраційних конвеєрів.

Вібраційний конвеєр підвісної конструкції з одномасною системою, що вільно коливається, складається з вантажонесучого елемента 1, вільно підвішеного на амортизаторах 2 і одержує спрямовані коливання від електромеханічного відцентрового приводу – вібратора 3, розташованого під кутом 20…30 градусів до напрямку коливання. В іншому конструктивному варіанті вантажонесучий елемент може спиратися на амортизатори.

Широко застосовуються горизонтальні двотрубчасті динамічно врівноважені віброконвеєри на пружних стійках. Коли одна труба рухається вперед, інша назад, але в обох трубах вантаж завжди рухається в одному (заданому) напрямку. Кривошипно-шатунний механізм навантажений незначно, так як вага маса має резонансну налаштування. Вантаж рухається у бік відхилення нижнього шарніра коромисла стосовно вертикальної площини, що проходить через верхній шарнір. Також, в конвеєрі (рис.2.2, в) врівноважуючим елементом може бути спеціальна балка.

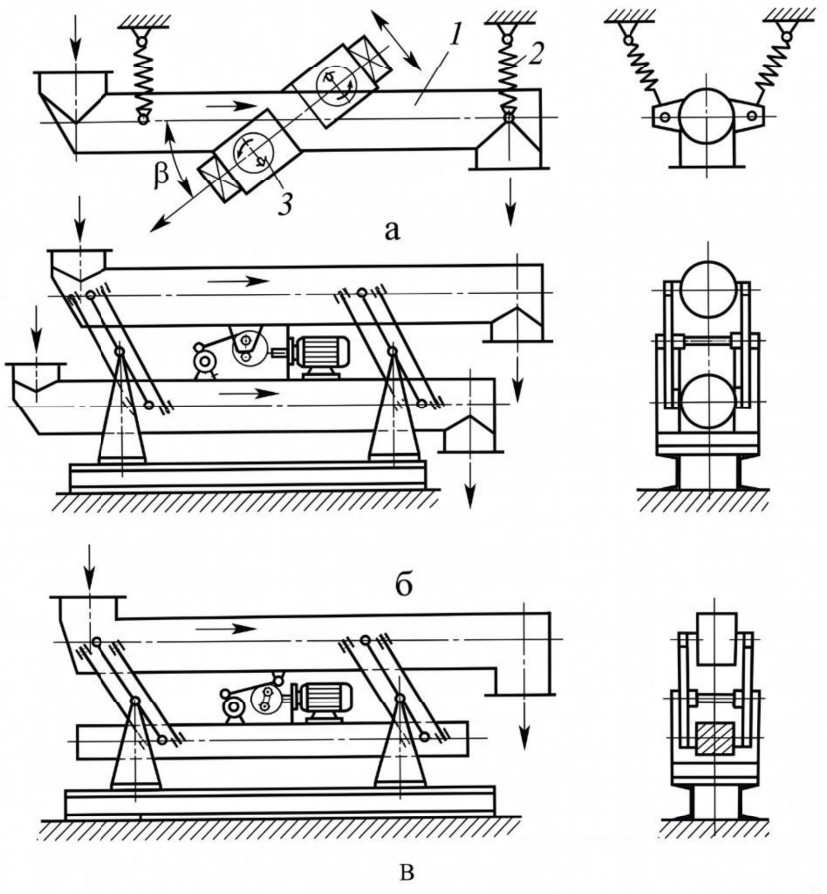


Рисунок 2.2 – Типові схеми основних типів вібраційних конвеєрів: а – однотрубний на пружинних підвісках із електровібратором; б – двотрубний на пружних стійках з ексцентриковим вібратором; в – однотрубний на пружних стійках з ексцентриковим вібратором та врівноважуючою балкою

Колом застосування конвеєрів, що гойдаються, є герметичне транспортування пилу, гарячих, хімічно агресивних насипних вантажів. Ці конвеєри не можуть транспортувати липкі вантажі та погано транспортують тонкодисперсні пилоподібні вантажі (наприклад, цемент).

Вантажонесучими елементами є стандартні труби та жолоби, які робляться звареними (зазвичай прямокутного перерізу) з листової сталі завтовшки 3...5мм (або з профільного прокату). Для абразивних вантажів застосовується зносостійка сталь.

Конструкція вібраційного конвеєра-ґуркота відрізняється від вібраційного конвеєра тим, що дно жолобів виконано не суцільним, а як сито. Залежно від технологічних потреб вибирається кількість сит та його параметри.

В даному випадку необхідний конвеєр-ґуркіт, здатний розділяти матеріал на чотири фракції (дуже велика, велика, дрібна і пил), отже необхідно встановити три сита з різними параметрами. Встановлювати сита слід у певній послідовності:

1. велике (2,8 мм);
2. середня (1,6 мм);
3. дрібне (0,4 мм).

Найбільш підходящим для даної лінії сушіння флюсів є горизонтальний двосекційний динамічно врівноважений вібраційний конвеєр-ґуркіт на пружних стійках (рис. 2.3). Верхній жолоб має два різні сити, одне з них (велике) встановлено в середині жолоба і має довжину 1м, а інше розташоване на дні.

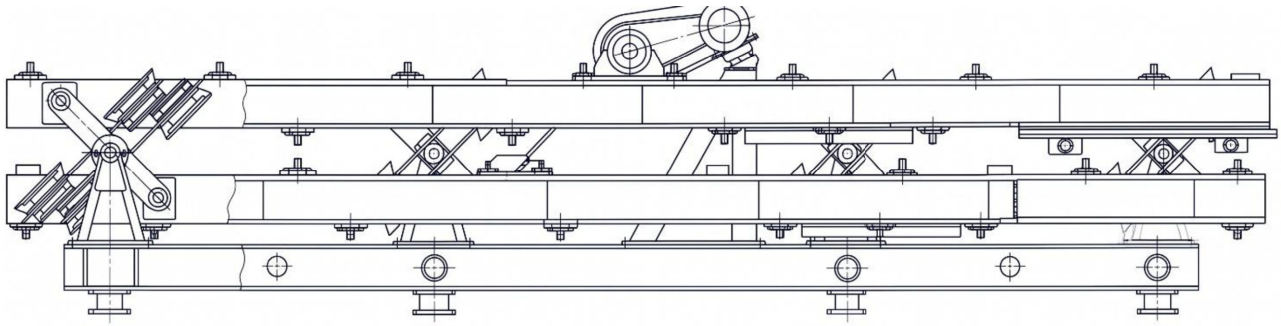


Рисунок 2.3 – Конвеєр-ґуркіт вібраційний на пружних стійках

Сито для дуже великої фракції має малу довжину у зв'язку з тим, що його призначення це відсівання дуже великих шматків, вміст яких у загальній масі шихти вкрай мало.

Наприкінці великого сита є тічка, через яку дуже велика фракція потрапляє в бункер для браку, розташований під конвеєром-ґуркотом.

Друге сито призначене для відділення дрібної фракції та пилу від великої фракції. Воно має довжину 3 м і є частиною дна ринви. Після трьох метрів, коли поділ фракцій закінчено, дно жолоба виконано суцільним, тому що суцільне дно є більш стійким до зношування, а необхідності подальшого поділу немає. Таким

чином, верхній жолоб протягом перших трьох метрів виконує функції сита та транспортера, а далі лише вібраційного транспортера.

Пройшовши середнє сито, дрібна фракція та пил потрапляють у другий (нижній) жолоб для подальшого поділу. Протягом 5 метрів дно нижнього жолоба виконане ситом, далі суцільним, як і верхньому жолобі. Велика довжина дрібного сита обумовлена тим, що поділ дрібних фракцій, порівняно з великими, потребує більшого проміжку просівання.

Дрібне сито пройде тільки пил, після чого він потрапляє в бункер для браку, встановлений протягом усієї довжини дрібного сита, тобто протягом 5 м.

При транспортуванні та поділі на фракції шихта віддаватиме значну частину тепла, і на виході з конвеєра-ґуркоту його температура буде близькою до температури навколишнього середовища. Це значною мірою зменшить знос елеватора. Більш того, через високу температуру шихти доводиться зменшувати заповнюваність ковшів елеватора, щоб уникнути їх деформацію. Найменша температура дозволить збільшити заповнюваність ковшів та підвищити ККД елеватора.

Сушильні апарати з барабанами, що обертаються, є апаратами безперервної дії і застосовуються в хімічній, гірничо-хімічній, лісохімічній, рудній, вугледобувній промисловостях, у будівельному виробництві та в інших галузях народного господарства і призначаються для теплового сушіння сипучих матеріалів при внутрішньому конвективному або контактному обгортку. розведеним повітрям.

Існує чотири основні типи перевалочних пристроїв, що застосовуються у сушильних барабанах (рис. 2.4). У нашому випадку встановлений протиточний сушильний барабан із підйомно-лопатевим перевалочним пристроєм. Технічна характеристика та короткий опис сушильного барабана наведено в розділі 1.2.

У даній конкретній технологічній лінії найбільш ефективним є застосування комбінованого перевалочного пристрою, що включає елементи підйомно-лопатевого і розподільного із закритими осередками. Це дасть

можливість перенести основне полум'я пальників до центру барабана, таким чином зона найбільших температур переміститься до початку барабана (рис.2.1).

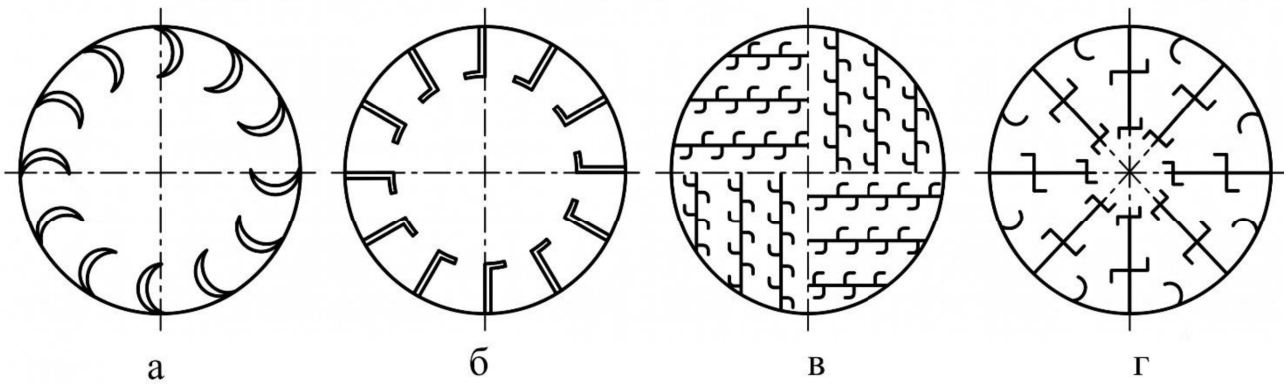


Рисунок 2.4 – Типи перевалочних пристроїв сушильного барабана: а – лопатевий; б – підйомно-лопатевий; в – розподільний; г – розподільний із закритими осередками

Мокра шихта, потрапляючи в барабан, зустріне полум'я і вже на першій стадії сушіння віддасть більше вологи, яка у вигляді пари тут же, за допомогою витяжки забирається з барабана і не взаємодіє з шихтою. Також позитивним моментом у перенесенні основної зони сушіння є те, що шихта на виході матиме меншу температуру, це зменшить зношування обладнання, що знаходиться безпосередньо після барабана в технологічній лінії. Переміщення основної зони сушіння можливе тільки при використанні комбінованого перевалочного пристрою, так як при старій конструкції перевалочного пристрою і новій зоні сушіння буде мати місце недогрівання флюсу, і як наслідок незадовільна вологість флюсу.

2.2 Розрахунок основних параметрів вібраційного конвеєра-гуркоту та ковшового елеватора

Вихідні дані для розрахунку основних параметрів вібраційного конвеєра-гуркоту:

– насипна маса руди, ρ, т/м^3 1,6
– продуктивність, Q, т/год 2,5
– максимальна крупність шматка, z_{max}, мм 10
– мінімальна крупність шматка, z_{min}, мм 10
– довжина конвеєрв, L, м 10,85
– середній кут напрямку коливань, град 30
– коефіцієнт режиму роботи, R 2
– амплітуда коливань труби, а, мм 4

Визначимо кутову швидкість збудника коливань [12-14]:

$$\omega=\sqrt{\frac{R\cdot g}{a\cdot\sin\beta}}=\sqrt{\frac{2\cdot 9,81}{0,004\cdot\sin 30}}=99,05 \text{ рад/с} \qquad (2.1)$$

Частота обертання ексцентрикового валу [15]:

$$n_{кр}=\frac{30\omega}{\pi}=\frac{30\cdot 99,05}{3,14}=946,29 \text{ хв}^{-1} \qquad (2.2)$$

Швидкість транспортування вантажу визначимо за формулою [13]:

$$\upsilon=\kappa_1 a\omega\cos\beta\sqrt{1-\frac{1}{R^2}}=0,3\cdot 0,004\cdot 99,05\cdot\cos 30\cdot\sqrt{1-\frac{1}{2^2}}=0,089\approx 0,099 \text{ м/с} \qquad (2.3)$$

де k_1=0,3 – коефіцієнт для кускового вантажу, залежить від розміру частинок.

Знаходимо необхідну площу перерізу вантажу у двох ринвах:

$$A=\frac{Q}{(3600\cdot\upsilon\cdot\rho)}=\frac{2,5}{(3600\cdot0,09\cdot1,6)}=0,007\ м^2 \qquad (2.4)$$

Знаючи загальну площу вантажу, знаходимо необхідну площу однієї ринви, з урахуванням коефіцієнта заповнення:

$$A_р=\frac{A}{j\cdot\psi}=\frac{0,007}{2\cdot0,01}=0,355\ м^2, \qquad (2.5)$$

де j = 2 – кількість жолобів;

ψ= 0,01 – коефіцієнт заповнення

Відповідно до стандарту та технологічних вимог підбираємо ринву з наступними параметрами: висота – 300 мм, ширина – 1000 мм.

Частота власних коливань системи при резонансному налаштуванні – $\omega_0=\omega=99,05$ рад/с

Загальна маса частини конвеєра, що коливається, разом з вантажем і прикріпленими до ринви деталями:

$$m=m_Т+m_П+m_Г\lambda=528,09+50+58,6\cdot0,15=586,88\ \ кг \qquad (2.6)$$

Приймаємо масу ринви m при товщині та щільності металу з якого вона виготовлена (відповідно $\delta_Т$=33 мм $\rho_{ст}$=7800 кг/м^3):

$$m_Т^{/}=q_TL=37,44\cdot10,85=406,224\ кг, \qquad (2.7)$$

де $q_Т$ – маса одного метра ринви, визначаємо за формулою:

$$q_Т=\rho\cdot\delta\cdot(2\cdot h+b)=7800\cdot0,003\cdot(2\cdot0,3+1)=37,44\ кг/м \qquad (2.8)$$

Призначаємо масу ринви разом із прикріпленими до неї деталями:

$$m_T=1,3m_T^{/}=1,3\cdot406,224=528,09 \text{ кг}, \quad (2.9)$$

де 1,3 – коефіцієнт, що враховує масу прикріплених до ринви деталей.

Орієнтовна маса частини приводу, пов'язаної з ринвою $m_п\approx50$ кг

Маса вантажу, що знаходиться в одному жолобі:

$$m_B=q_Г L=5,4\cdot10,85=58,66 \text{ кг}, \quad (2.10)$$

де q_B – маса 1м вантажу, що знаходиться в жолобі:

$$q_B=\frac{Q}{2\cdot3,6\cdot\upsilon}=\frac{3,5}{2\cdot3,6\cdot0,09}=5,4 \text{ кг/м} \quad (2.11)$$

Нсобхідну жорсткість пружної системи знайдемо як [16]:

$$C=\omega^2 m=99,05^2\cdot586,88=57,58\cdot10^5 \text{ Н/м} \quad (2.12)$$

Сумарну жорсткість пружної системи можна як сумужорсткостей ресор, великих і малих гумометалевих шарнірів:

$$C=C_1+C_2+C_3 \quad (2.13)$$

Звідси жорсткість ресор:

$$C_1=C-C_2-C_3=5758000-320000-576000=48,62\cdot10^5 \quad Н/м$$

Для орієнтовних розрахунків приймаємо: число стійок у конвеєрі 8 (по чотири з кожного боку), число великих гумометалевих шарнірів в одній стійці – 4, найбільших шарнірів 32; число малих гумометалевих шарнірів 64; наведену жорсткість одного великого шарніра $C_2^{//}$=10000 Н/м

Наведена жорсткість всіх великих шарнірів:

$$C_2=C_2^{/}z=10000\cdot32=320000 \text{ Н/м} \quad (2.14)$$

Одного малого шарніра $C_3^{/}$=9000 Н/м, тоді усіх малих шарнірів:

$$C_3=C_3^{/}z_{шм}=9000\cdot64=576000 \text{ Н/м}$$

Кількість ресор 16, жорсткість однієї ресори:

$$C_1^{/}=C_1/z_p=4862000/16=303875 \text{ Н/м} \quad (2.15)$$

Прийнявши ширину ресори 0,1 м, довжину 0,8 м визначимо її товщину:

$$\delta=\kappa\cdot l\cdot\sqrt[3]{\frac{C_1^{/}}{bE}}=0,26\cdot0,8\cdot\sqrt[3]{\frac{303875}{0,1\cdot2,15\cdot10^{11}}}=0,0049 \text{ м} \quad (2.16)$$

Приймаємо товщину ресори 5 мм.

Визначимо напруження вигину в місці закладення ресори [17]:

$$\sigma=\frac{6E\delta a\kappa_3}{l^2}=\frac{6\cdot2,15\cdot10^{11}\cdot0,005\cdot0,004\cdot0,68}{0,8^2}=82,2 \text{ МПа}<[\sigma]=110 \text{ МПа} \quad (2.17)$$

де k_3 – rоефіцієнт, що враховує концентратори напружень при гумових прокладках між ресорами.

Потужність електродвигуна для конвеєра довжиною понад 10м визначається за формулою [10]:

$$P \approx \frac{\kappa_{тр} Q}{10^3 \eta}\left(10\kappa_3 + (L-10)\kappa_4 + \frac{H}{0{,}367}\right) =$$

$$= \frac{1{,}5 \cdot 3{,}5}{10^3 \cdot 0{,}9}\left[10 \cdot 4 + (10{,}85-10) \cdot 3 + \frac{0}{0{,}367}\right] = 0{,}262 \text{ кВт}, \qquad (2.18)$$

де $k_{тр}$ – коефіцієнт транспортабельності вантажу: для шматкових та зернистих вантажів (пісок, вугілля, зерно) 1,5;

η – ККД механізмів приводу, приймаємо рівним 0,9;

k_3, k_4 – коефіцієнти, що враховують питомі витрати потужності при переміщенні вантажу масою 1т на 1м

H – висота підйому вантажу.

Враховуючи те, що привод конвеєра-ґуркоту включає два двигуни, за рекомендаціями [18] підбираємо двигун 4АА56А4У3 з такими параметрами: потужність – 0,12 кВт; частота обертання валу – 1375 хв $^{-1}$.Частота обертання валу двигуна не відповідає заданій частоті обертання ексцентрикового валу, тому в привод варто включити клинопасову передачу [19].

У зв'язку зі зменшенням температури шихти, що транспортується елеватором, зникає необхідність підвищення швидкості руху стрічки. Встановлений у лінії елеватор розрахований на продуктивність 30 т/год, що не відповідає потребам підприємства. Тим не менш, враховуючи перспективи розвитку підприємства, незначну різницю в кількості споживаної електроенергії, а також все ж таки трохи більшу температуру шихти, ніж передбачено для гумової стрічки, повна заміна елеватора недоцільна. Достатньо внести корективи в привод та основні вузли елеватора. Компенсація високої температури відбуватиметься за рахунок малої заповненості ковшів.

Таким чином, вихідними даними для розрахунку будуть:

– продуктивність елеватора Q = 30 т/год;

– висота підйому H = 22м;

– щільність шихти ρ= 1,6 т/м ^{3} .

Для транспортування шихти приймаємо стрічковий елеватор із розставленими глибокими ковшами та швидкістю руху стрічки V= 1,6 м/с. Вибираємо стрічку із чотирма прокладками; тоді діаметр приводного барабана $D_б$=125 ·4=500 мм та радіус барабана $r_б$=0,25 м. Частота обертання барабана при V – 1,6 м/с:

$$n=\frac{60\cdot V}{\pi\cdot D_б}=\frac{60\cdot 1,6}{3,14\cdot 0,5}=61 \text{ об/хв} \qquad (2.19)$$

Полюсна відстань за формулою:

$$h_п=895/n^2=895/61^2=0,24 \quad м$$

Оскільки $h_п < r_б$, забезпечується відцентрове розвантаження ковшів.

Тоді за формулою [, формула (11.13)] при коефіцієнті заповнення ψ=0,8:

$$i_0/t_k=\frac{Q}{3,6\cdot V\cdot\rho\cdot\psi}=\frac{30}{3,6\cdot 1,6\cdot 1,6\cdot 0,8}=4,34 \text{ л/м} \qquad (2.20)$$

Обираємо глибокий ківш шириною 50 мм і об'ємом 2 л; тоді ширина стрічки $B_л$ = 300 мм та крок ковшів t_k=0,4 м.

При прийнятих параметрах ковшів та швидкості руху стрічки задана продуктивність забезпечується при коефіцієнті заповнення ковшів:

$$\psi=\frac{t_k\cdot Q}{3,6\cdot V\cdot\rho\cdot i_0}=\frac{0,4\cdot 30}{3,6\cdot 1,6\cdot 1,6\cdot 2}=0,7$$

Можна було б зменшити швидкість до 1,4 м/с, проте вона є нестандартною і не забезпечує відцентрового розвантаження.

Лінійна маса стрічки типу 2 за із чотирма прокладками з тканини БКНЛ-65 становить $m_л = 2,55$ кг/м.

Тоді

$$q_л = g \cdot m_л = 9,81 \cdot 2,55 \approx 25 \text{ Н/м}$$

Маса глибокого ковша шириною 250 мм – 3,38кг.

Тоді

$$q_0 = q_л + g \cdot m_k / t_k = 25 + 9,81 \cdot 3,38 / 0,4 = 108 \text{ Н/м}$$

Визначимо корисне навантаження:

$$q_Г = \frac{g \cdot Q}{3,6 \cdot V} = \frac{9,81 \cdot 3,38}{0,4} = 52 \quad Н/м$$

Лінійне навантаження на завантаженій гілки:

$$q = q_0 + q_Г = 108 + 52 = 160 \ Н/м$$

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 2.5) найменший натяг стрічки слід очікувати в точці 1. Розрахунок ведемо в загальному вигляді, оскільки невідомий натяг S_4 гілки, що збігає, з приводного барабана, необхідний для забезпечення потрібного тягового зусилля. Приймаємо $S_1 = S_0$. Натяг у точці 2 з урахуванням опору на оборотному барабані та зачерпування вантажу визначаємо за формулою для важких умов роботи при ξ=1,08 і $K_{зач}$=2:

$$S_2 = \xi \cdot S_1 + W_{зач} = 1,08 \cdot S_0 + K_{зач} \cdot q_Г = 1,08 \cdot S_0 + 2 \cdot 52 = 1,08 \cdot S_0 + 104 \quad (2.21)$$

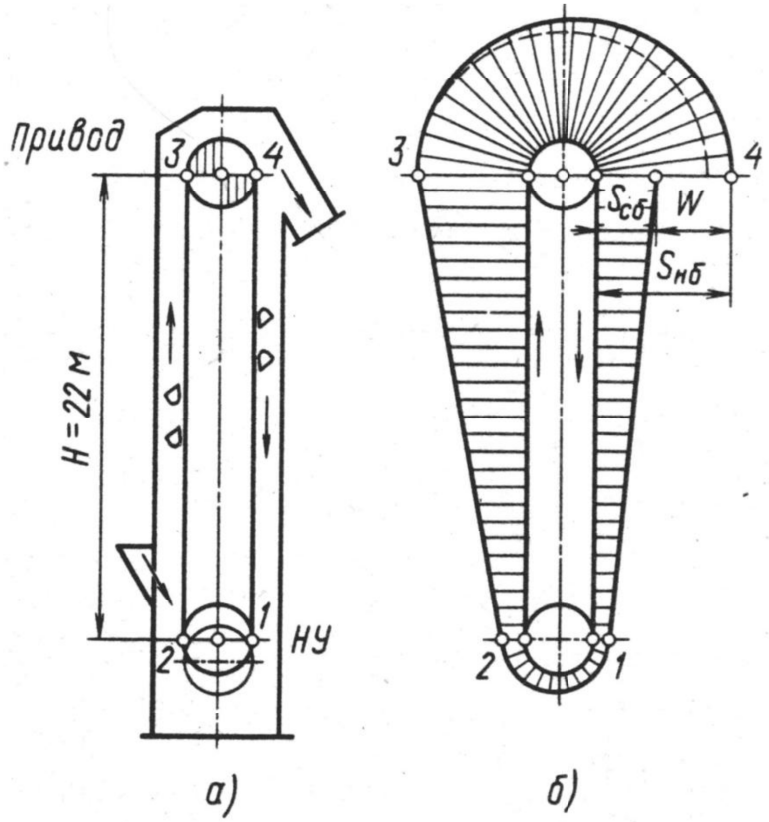


Рисунок 2.5 – – Схема до розрахунку ковшового елеватора: а – схема елеватора; б – діаграма навантаження стрічки

Натяг у точці 3 визначимо користуючись співвідношенням:

$$S_3 = S_{нб} = S_2 + q \cdot H = 1{,}08 \cdot S_0 + 104 + 160 \cdot 22 = 1{,}08 \cdot S_0 + 3630$$

При підрахунку проти руху стрічки:

$$S_4 = S_{сб} = S_1 + q_0 H = S_0 + 108 \cdot 22 = S_0 + 2380$$

З теорії фрикційного приводу маємо [20]:

$$S_{нб} \leq S_{сб} \cdot e^{\mu\alpha}, \qquad (2.22)$$

Тоді в нашому випадку:

$$S_3 \leq S_4 \cdot e^{\mu\alpha}$$

Для сталевого барабана коефіцієнт тертя μ= 0,1 і при α= 180 ^{0} отримуємо $e^{\alpha\mu}$= 1,37.

Звідси

$$S_3 \leq 1{,}37 \cdot S_4 \qquad (2.23)$$

Підставляючи отримані вище вирази, отримаємо:

$$1{,}08 \cdot S_0 + 3630 \leq 1{,}37 \cdot (S_0 + 2380)$$

З розв'язання цього рівняння отримуємо $S_0 > 290$ Н. Для забезпечення запасу зі зчеплення приймаємо S_0=500 Н.

Тоді

$$S_3 = S_{AB} = 1{,}37 \cdot 2880 \approx 4000 \text{ Н}.$$

$$S_4 = S_{AB} = S_0 + 2380 = 2880 \text{ Н}$$

Необхідне число прокладок у стрічці при K_p = 55 Н/мм і запас міцності K = 10 знаходимо за формулою:

$$i = \frac{K \cdot S_{max}}{B \cdot K_p} = \frac{10 \cdot 4000}{300 \cdot 55} = 2{,}43 \qquad (2.24)$$

Враховуючи ослаблення стрічки болтами та необхідність міцного закріплення ковшів на стрічці, залишаємо прийняту стрічку із чотирма прокладками.

Окружне зусилля на приводному барабані з урахуванням втрат на ньому:

$$W = (S_3 - S_4) \cdot \xi = (4000 - 2880) \cdot 1{,}08 = 1210 \quad H$$

Потужність приводного двигуна при ККД приводного механізму η=0,85 і коефіцієнт запасу К $_3$=1,25:

$$N = \frac{K_3 \cdot W \cdot V}{1000 \cdot \eta} = \frac{1{,}25 \cdot 1210 \cdot 1{,}6}{1000 \cdot 0{,}85} = 2{,}8 \text{ кВт} \qquad (2.25)$$

Приймаємо електродвигун із наступними параметрами: тип 4А112МА6У3, потужність 3 кВт, частота обертання 955 хв $^{-1}$.

2.3 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна приводу сушильного барабана

Вихідні дані до розрахунку потужності приводу сушильного барабана:

- діаметр барабана, D, мм 1600
- довжина барабана, L, мм 8000
- продуктивність, Q, т/год 2,5
- ухил осі барабана до горизонту, град. 3
- характер работи безперервно
- габарити, довжина х висота х ширина, мм 9850х3550х2800
- загальна вага установки, G_y кг 13900
- вага барабана, $G_б$, кг 9620
- кут статичного ухилу шихти, φ_0, град. 10
- кут динамічного ухилу шихти, $\varphi_д$, град. 70

– ступінь заповнення, φ, % 12,1
– кількість опорних роликів, шт 4
– діаметр опорних роликів, $D_р$, мм 400
– діаметр бандажів, $D_б$, мм 2200
– питома вага шихти, γ,т/м^3 1,6

Потужність електродвигуна сушильного барабана витрачається на подолання наступних навантажень:

– підйом матеріалу до кута статичного укосу;
– підйом матеріалу до кута динамічного укосу;
– подолання сил тертя у опорних вузлах.

Визначимо потужність, що витрачається на підйом матеріалу до кута статичного укосу (рис. 2.6) за формулою:

$$N_1=\frac{A}{t}, \qquad (2.26)$$

де *A* – робота підйому матеріалу до кута статичного укосу;

t – час, протягом якого виконується робота А:

$$t=\frac{\varphi_0}{W}, \qquad (2.27)$$

де φ_0 – кут природного укосу, $\varphi_0 = 10^0$;

W – кутова швидкість обертання барабана:

$$W=\frac{\pi\cdot n}{30}=\frac{3,14\cdot 2,65}{30}=0,27 \text{ м/с} \qquad (2.28)$$

Підставивши значення кутової швидкості (2.28), отримаємо:

$$t=\frac{\varphi_0}{W}=\frac{10}{0,277}=36,05 \quad мм$$

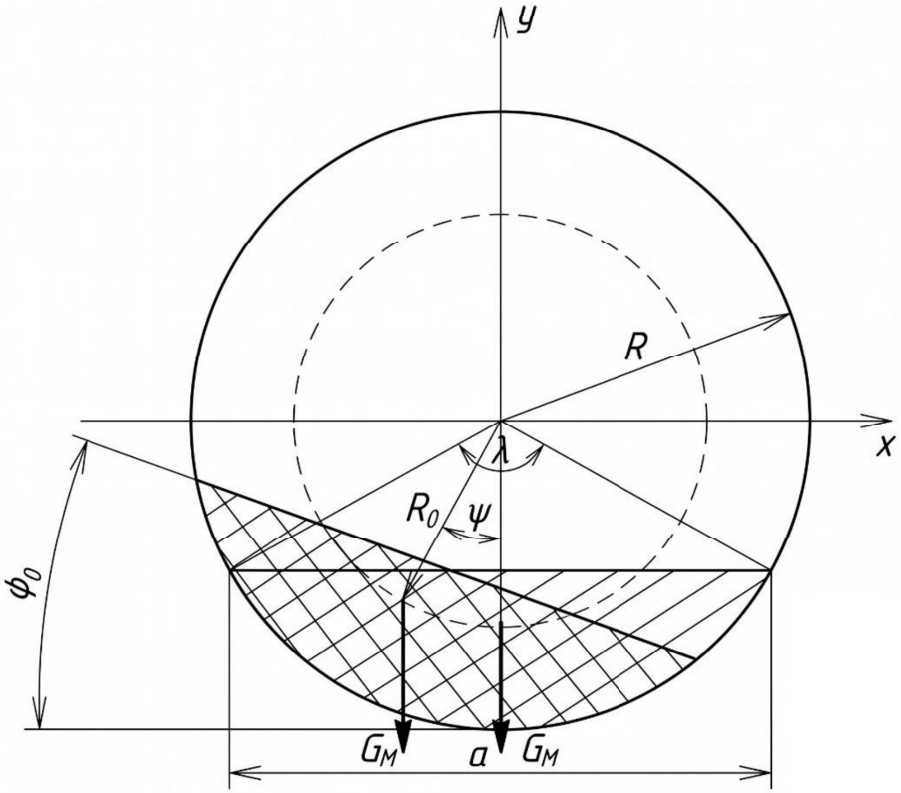


Рисунок 2.6 – Схема до визначення статичного кута укосу шихти в барабані

Роботу підйому матеріалу до кута статичного укосу матеріалу знайдемо як:

$$A=G_ш \cdot h_0=G_ш \cdot R_0 \cdot \left(1-\cos\varphi_0\right) \quad , \qquad (2.29)$$

де $G_ш$ – вага шихти, з формули:

$$G_ш=\gamma \cdot F_ш \cdot L=1,6 \cdot 0,2412 \cdot 8=3,08 \quad т \quad , \qquad (2.30)$$

деγ = 1,6 т /м ^{3} – питома вага шихти;

L – довжина барабана;

$F_ш$ – площа шихти, визначимо за формулою:

$$F_ш=\frac{\pi\cdot R^2\cdot\varphi}{100}=\frac{3,14\cdot0,64\cdot12}{100}=0,2412 \quad м^2 \qquad (2.31)$$

Знайдемо радіус центру ваги шихти за формулою:

$$R_0=\frac{D^3\cdot\sin^3\left(\frac{\lambda}{2}\right)}{12\cdot F_ш}=\frac{1,6^3\cdot\sin^3(50)}{12\cdot0,2412}=0,63 \quad м \quad , \qquad (2.32)$$

де $\lambda=100^0$ – центральний кут.

Підставляючи отримані значення (2.29), отримаємо:

$$A=30800\cdot0,63\cdot0,0151=291,06$$

Знаючи роботу підйому матеріалу до кута статичного укосу та час, за який вона виконується, за формулою (2.26) знаходимо потужність:

$$N_1=\frac{A\cdot W}{1000\cdot\varphi_0}=\frac{291,6\cdot0,277}{1000\cdot10}=0,00806 \quad кВт$$

Визначимо потужність, що витрачається на підйом матеріалу до кута динамічного укосу (рис. 2.8) за формулою:

$$N_2=\frac{M\cdot W}{1000} \quad , \qquad (2.33)$$

де M – момент, що виникає під час підйому матеріалу до кута динамічного укосу (при цьому відбувається перемішування):

$$M=G_{ш}\cdot l=30800\cdot 0,593=18233,79\ Н\cdot м,$$

де l – плече сили від ваги матеріалу:

$$l=R_0\cdot \sin\phi_д=0,63\cdot 0,9397=0,593\quad м$$

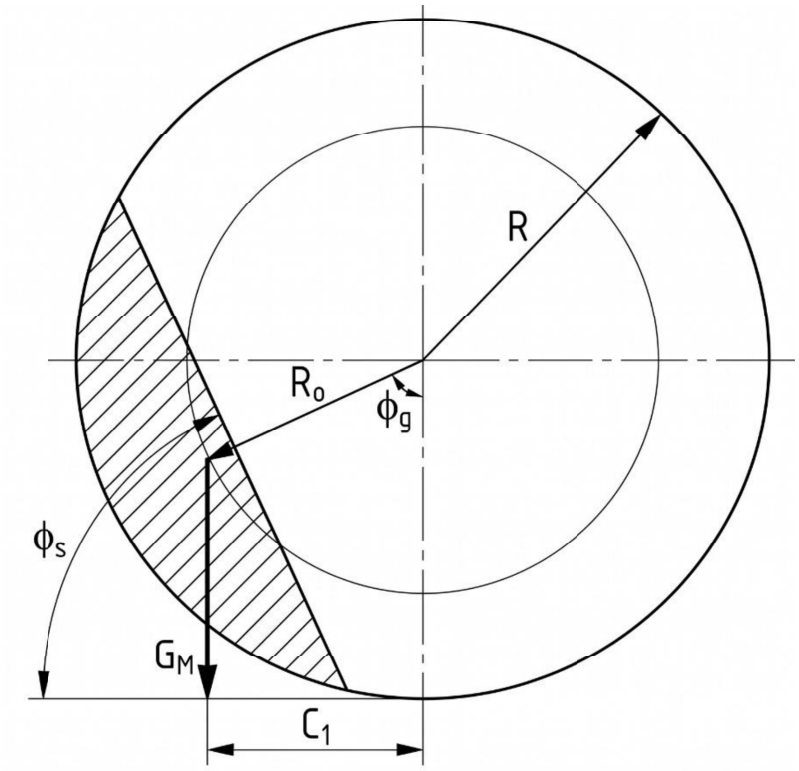


Рисунок 2.7 – Схема до визначення динамічного кута укосу шихти в барабані

Підставляючи отримані значення (2.33), отримаємо:

$$N_2=\frac{18233,796\cdot 0,277}{1000}=5,1\quad кВт$$

Визначимо потужність, що витрачається на подолання сил тертя в опорних вузлах за формулою:

$$N_3=\frac{M_{тр}\cdot W}{1000} \quad , \qquad (2.34)$$

де $M_{тр}$ – момент від сил тертя в опорних вузлах, з формули:

$$M_{тр}=k\cdot T\cdot\frac{\mu\cdot d_0+2\cdot k}{D_р}\cdot\beta\cdot\frac{D_б}{2}=4\cdot 36754{,}123\cdot\frac{0{,}08\cdot 0{,}22+2\cdot 0{,}0006}{0{,}4}\cdot 1{,}5\cdot\frac{2{,}2}{2}=$$

$$=4997{,}09\ Нм$$

Підставляючи знайдені значення моменту від сил тертя та кутової швидкості барабана в (2.34), отримаємо:

$$N_3=\frac{4997{,}09\cdot 0{,}277}{1000}=1{,}3842 \quad кВт$$

Необхідну потужність електродвигуна з урахуванням ККД та коефіцієнта запасу визначимо за формулою:

$$N=\frac{N_1+N_2+N_3}{\eta}\cdot k=\frac{0{,}00806+5{,}1+1{,}384}{0{,}9}\cdot 1{,}4=10{,}1 \quad кВт \quad , \qquad (2.35)$$

де $\eta=0{,}9$ – загальний ККД приводу;

$k = 1{,}4$ – коефіцієнт запасу.

За знайденою потужністю обираємо електродвигун з такими параметрами: тип АТ 72-8, потужність 10 кВт, кількість обертів за хвилину 735.

Для приведення у відповідність частоти обертання валу двигуна і вхідного валу редуктора варто передбачити в приводі клинопасову передачу.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Загальні положення при приймаші, підготовці та монтажі сушильного барабану

Керуючись проєктним рішенням, сушильну установку, до складу якої входить сушильний барабан встановлено на спеціально спроєктований і побудований фундамент, що забезпечує необхідне розміщення та положення апарату на виробничому майданчику.

До початку робіт зі збирання та монтажу обладнання мають бути виконані загальномайданчикові підготовчі роботи, передбачені проєктом організації будівництва [21].

Забезпечення монтажних робіт допоміжними матеріалами та пристроями здійснюється на підставі відомостей та специфікацій, які входять до пакету документації проєкту підготовки робіт [22].

Підготовку до монтажу корпусу, опорної та упорно-опорної станцій, приводу, головок завантажувальної та розвантажувальної та інших складальних одиниць проводять на монтажному майданчику в зоні дії основних монтажних та вантажопідйомних механізмів.

До виконання робіт з монтажу сушильного барабана приступають тільки після закінчення організаційно-технічної підготовки об'єкта до монтажу, що включає [23]:

а) одержання монтажною організацією проєктно-технічної документації від замовника чи генпідрядника;

б) складання монтажною організацією (або за її завданням проєктною або спеціалізованою організацією) проєкту виконання робіт;

в) організацію (відповідно до проекту виконання робіт) складів, відкритих майданчиків, місць зберігання та укрупнювального складання обладнання, що надходить;

г) спорудження під'їзних шляхів з улаштуванням підходів та під'їздів достатньої ширини, що забезпечують нормальну подачу обладнання, матеріалів та конструкцій у монтажну зону;

д) прокладання зовнішніх магістральних та розвідних мереж для підведення об'єктів електроенергії, що будуються, води та стиснутого повітря, необхідних для виконання монтажних робіт;

е) будову електроосвітлення об'єкта монтажу та прилеглої до неї території;

ж) комплектне постачання обладнання, конструкцій, виробів та матеріалів у необхідному для виконання монтажних робіт обсязі, згідно графіку або проєкту виконання робіт;

і) забезпечення необхідної будівельної готовності об'єкта;

к) оснащення монтажної організації підйомно-транспортним обладнанням, механізмами, інструментами та пристроями;

л) організацію заходів з техніки безпеки та охорони праці.

Майданчик для підготовки обладнання до монтажу, його розконсервації та укрупнювального складання у кожному окремому випадку встановлюється проєктом організації робіт, виходячи з місцевих умов будівництва.

Корпус апарату поставляється на монтажний майданчик у зібраному вигляді із встановленими бандажами, зубчастим вінцем, внутрішніми насадками та торцевими кільцями.

Опорна та упорно-опорна станції разом з приводом сушильного барабану поставляється у зібраному вигляді, змонтовані на плитах.

Розпакування обладнання, складальних одиниць та деталей проводиться монтажною організацією безпосередньо перед початком монтажу. При розпаковуванні обладнання перевіряється наявність та стан складальних одиниць, деталей, запасних частин та спеціального інструменту відповідно до документації заводу-виробника. Перед початком монтажу приймання апаратів з барабанами, що обертаються, проводять оглядом без розбирання на складальні вузли або деталі, при цьому перевіряють:

– комплектність обладнання за заводськими специфікаціями або

відправними та пакувальними відомостями;

– відсутність ушкоджень чи поломок, тріщин, раковин та інших видимих дефектів.

У будівлях, приміщеннях та на відкритих майданчиках, що здаються під монтаж сушильного барабана, повинні бути закінчені всі будівельні роботи зі спорудження фундаментів та інших основ під обладнання.

Перевірку поздовжніх та поперечних осей фундаментів, що приймаються під монтаж обладнання, проводять шляхом опускання схилів по осі фундаментів. Виски, підвішені до натягнутого дроту, повинні збігатися з насічками на планках, загорнутих у тіло фундаментів. Контроль відстаней між поперечними осями фундаментів виконують за допомогою сталевої рулетки [24].

На фундаментах плит опорних станцій, плити приводу після перевірки поздовжньої та поперечної осей необхідно провести перевірку осьових розмірів та глибину анкерних колодязів.

Приймання готових фундаментів та інших основ під монтаж обладнання проводять тільки в тому випадку, якщо фактичні основні та прив'язувальні розміри та позначки фундаментів, а також розташування анкерних колодязів та отворів відповідають проєктним або мають відхилення, що не перевищують:

– по поздовжнім та поперечним осям фундаментів – 20 мм;
– за основними розмірами у плані – 30’мм;
– за висотними відмітками поверхні фундаменту без урахування висоти підливи – мінус 30 мм;
– за розмірами уступів у плані – мінус 20 мм;
– за відмітками уступів у виїмках та колодязях – мінус 20 мм;
– по осях анкерних болтів у плані – 5 мм;
– по осях заставних анкерних пристроїв у плані – 10 мм;
– за відмітками верхніх торців фундаментних болтів – плюс 20 мм.

Висота відміток фундаменту контролюється нівеліром, потім відраховується від позначок умовного або нульового рівня, пов'язаного з репером цеху [24].

Транспортування обладнання від приоб'єктного складу на майданчик підготовки обладнання до монтажу здійснюють у послідовності, передбаченій проєктом виконання робіт, при цьому:

а) вантажопідйомні пристрої (траверси, стропи тощо) потрібно розраховувати і випробовувати відповідно до норм і правил;

б) обладнання при стропленні до гака підйомного механізму потрібно міцно закріпити, його розстропування проводити тільки після стійкої установки або надійного кріплення.

До початку монтажу всі поставні блоки подаються на монтажний майданчик у місця, заплановані проєктом виробництва монтажних робіт, і проводиться розконсервація блоків, що надійшли. Консервацію складальних одиниць завод-виробник здійснює мастилом марки ЦІАТИМ-203, що забезпечує надалі безрозбірну консервацію.

Розконсервовані деталі та складальні одиниці перед встановленням ретельно оглядаються. У процесі огляду перевіряється:

а) відсутність вибоїн, задирок та можливої корозії на оброблених поверхнях деталей;

б) відсутність вибоїн на різьбленні шпильок, болтів і гайок та пошкоджень шпонок та шпонкових канавок;

в) стан елементів ущільнень.

Виявлені у процесі технічного огляду, монтажу та випробувань дефекти обладнання оформлюють актом.

Зміст, послідовність операцій, види обладнання, інструментів, пристроїв та засоби для контролю та вимірювань при монтажі сушильного барабана встановлюються технологічним процесом, розробленим організацією, що виконує монтаж апарату.

Загальна послідовність монтажу сушильних барабанів:

а) встановлення та вивіряння опорних станцій;

б) встановлення корпусу на ролики опорної та упорно-опорної станцій;

в) встановлення приводу на фундамент;

г) встановлення на фундамент головок завантажувальних, розвантажувальних;

д) встановлення ущільнень;

е) підключення технологічних трубопроводів, комунікацій, електропроводки, заземлень та ін;

ж) встановлення щитків огорож та інших необхідних запобіжних пристроїв;

з) проведення обкатки, перевірка роботи апарату на холостому ході та проведення ревізії.

Основною умовою нормальної роботи в процесі експлуатації змонтованих апаратів є максимально точна установка та вивірка опорних станцій на фундаментах по ухилу, висоті та горизонтальному положенню [25].

В результаті похибок при встановленні та вивірянні опорних станцій та їх роликів, можуть виникнути додаткові значні зусилля в корпусі та інших вузлах апарату в процесі його роботи.

Опорну і упорно-опорну станції на фундамент встановлюють так, щоб поперечні ризики на плитах, що відзначають розташування їх осей, збіглися з відповідними ризиками реперних планок, загорнутими в тіло фундаментів, при цьому станції повинні спиратися віджимними гвинтами на заздалегідь встановлені на фундаменти упорні пластини.

Після встановлення станцій на фундаменти приступають до їх вивіряння одночасно по ухилу, висоті та в горизонтальному положенні. Для цього натягують поздовжню струну так, щоб кінці схилів, підвішених до неї, збіглися з ризиками відміток (реперних планок) фундаментів, що орієнтують поздовжню вісь (рис. 3.1). Штихмасом перевіряють відстань 'А' між опорними роликами в обох станцій, як зазначено на рисунку 3.2. Контроль виконують обох торців кожної пари роликів.

Відстань між опорними роликами має дорівнювати [25]:

$$a=\frac{Д_б-Д_р}{4}, \qquad (3.1)$$

де $Д_б$ – діаметр бандажа барабана по кресленню;

$Д_р$ – діаметр опорного ролика за кресленням.

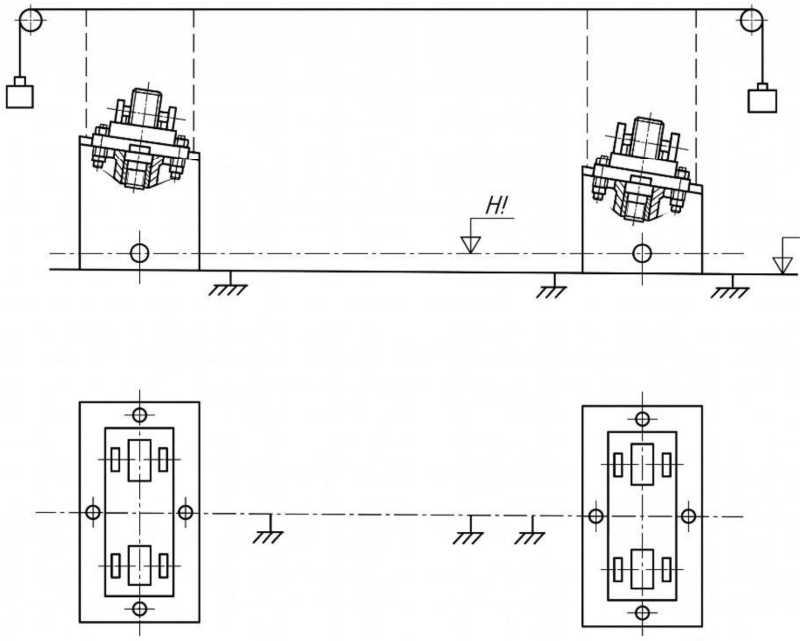


Рисунок 3.1 – Схема вивіряння опорних станцій по ухилу, висоті та в горизонтальному положенні

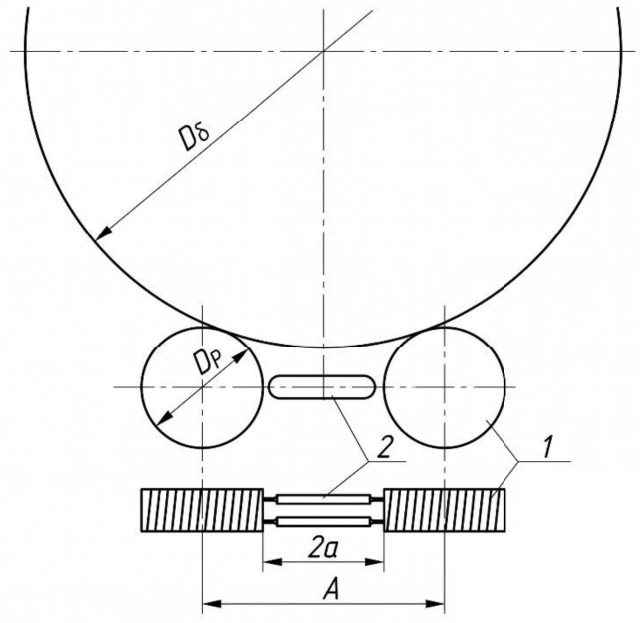


Рисунок 3.2 – Перевірка встановлення опорних станцій штихмасом

Відстань між опорними роликами має дорівнювати [25]:

$$a=\frac{Д_б-Д_р}{4}, \quad (3.1)$$

де $Д_б$ – діаметр бандажа барабана по кресленню;

$Д_р$ – діаметр опорного ролика за кресленням.

Перевірка міжцентрової відстані "А" у опорних роликів, яка повинна бути рівна:

$$A = 2a + Д_р \quad (3.2)$$

Перевірку цієї відстані проводять із двох сторін біля кожної станції.

Переміщують на фундаменті упорно-опорну станцію так, щоб кінці схилів від поздовжньої струни поєдналися з рисками на плитах станцій, на які орієнтується положення по поздовжній осі фундаментів, тобто паралельним осям роликів. Прикладають лінійку до торців роликів, при цьому допустиме відхилення торців роликів має бути не більше 0 ÷5мм.

Натягують поперечну струну над роликами упорно-опорної станції так, щоб висок від неї збігався з рисками відміток (реперних планок) на фундаменті, що орієнтують розташування поперечних осей встановленої станції.

Після цього упорно-опорну станцію переміщують у таке положення, за якого кінці схилів, опущених від поперечної струни, суміщаються з нанесеними на плиті станції орієнтирними рисками. Таке суміщення забезпечує правильне встановлення станції та її орієнтацію таким чином, щоб поздовжня вісь була строго перпендикулярною до осей опорних роликів. Для подальшої перевірки точності монтажу від поперечної струни опускають два виски, розташовуючи їх над верхніми утворюючими обох опорних роликів. Під верхніми утворюючими розуміють лінії, що утворюються в результаті перетину меридіонально-вертикальної площини ролика з його циліндричною поверхнею. Далі виконують

вимірювання відстаней від кінців схилів до середини відповідних утворюючих кожного ролика. За умови правильного розташування станції отримані значення повинні збігатися між собою, тобто бути однаковими для обох роликів, а також відповідати розрахунковій величині:

$$\Delta B = (h + D\,p/2)\,\mathrm{tg}\,\alpha, \qquad (3.3)$$

де h – висота у опорної вальниці від його підошви до осі ролика;

α – кут нахилу опорної станції до горизонту.

При необхідності, для забезпечення зазначеної рівності, слід провести коригування установки станції.

На поверхні опорних роликів, посередині їх ширини, ставлять вузькою стороною лінійку і на неї встановлюють рівень, потім регулювальними гвинтами забезпечують за рівнем горизонтальне положення лінійки, тим самим і лінії через середини точок верхніх утворюючих роликів.

Коригування установки опорної станції виконують так, щоб відстань між середніми площинами роликів в упорно-опорній і опорній станціях дорівнювала сумі відстані між серединами бандажів корпусу апарату та подовженням корпусу від температурного розширення, тобто на відстань:

$$l = l + \Delta l, \qquad (3.4)$$

де l – відстань між серединами бандажів на корпусі;

Δl – температурне подовження корпусу.

Розмір l вказується на плані розташування фундаментних та регулювальних болтів в опорних частинах обладнання. Вимір відстані між серединами опорних роликів опорної і упорно-опорної станцій проводять з двох сторін сталевою рулеткою.

Далі створюється необхідний ухил опорної та упорно-опорної станцій у напрямку поздовжньої осі апарату регулювальними гвинтами по клинах з

проєктним ухилом однієї з площин, що встановлюються вздовж верхніх утворюючих на обох роликах кожної станції і з наступною установкою на верхню площину клинів рівнів.

Необхідний ухил станцій буде забезпечений при горизонтальному положенні площини клина, який мають рівень. Вивірку розміщення та взаємоположення упорно-опорної та опорної станцій на фундаментах по висоті та ухилу виконують із застосуванням теодоліту або нівеліру та нівелірних рейок. Для більш точних вимірів на нівелірні рейки наклеюють смужки міліметрового паперу.

Для встановлення та забезпечення взаєморозташування упорно-опорної та опорної станцій встановлюють прилад між фундаментами станцій по можливості на рівній відстані від них, що має забезпечити розміщення візирної осі труби приладу в горизонтальній площині при будь-якому куті її повороту навколо вертикальної осі. Горизонтальна площина променя візування приладу повинна бути розташована вище за верхні утворювальні ролики обох станцій (рис. 3.3).

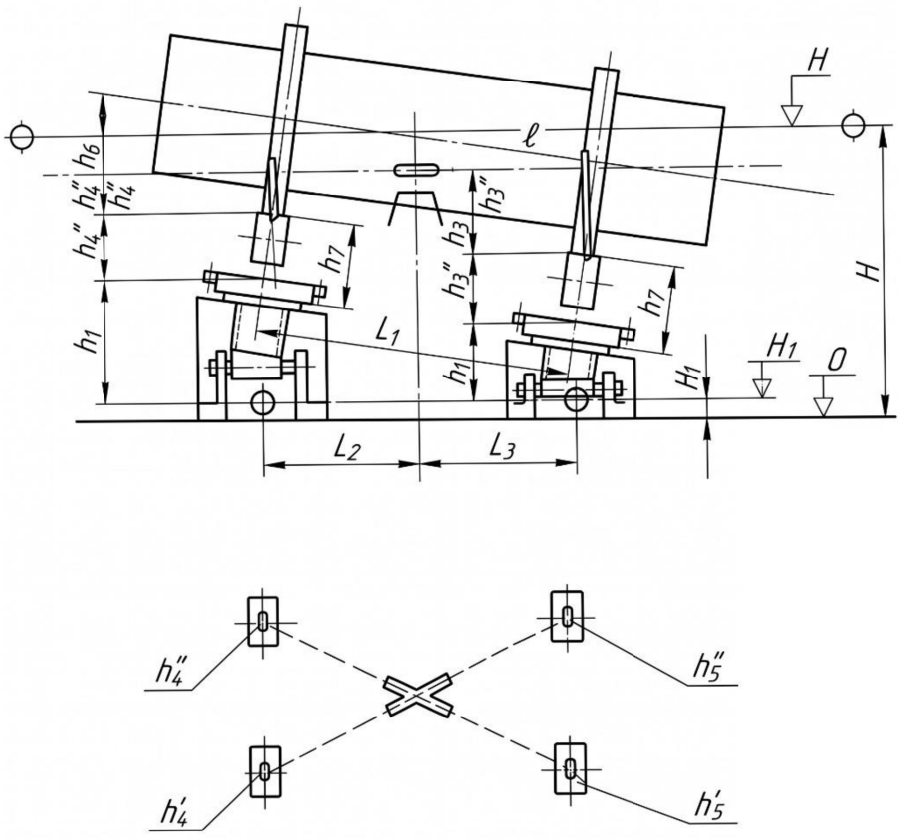


Рисунок 3.3 – Схема вимірювання установки корпусу на опорних станціях

Плашки, що визначають рівень підлоги, проєктні позначки установки барабана та реперні мітки, що визначають висоти h1 і h2 фундаментів під опорні станції, повинні бути передбачені при будівництві фундаментів та розміщені в місцях, що дають змогу виконати необхідні висотні вимірювання та вивіряння вимірювальними інструментами та геодезичним приладом.

Вивірку змонтованих опорних станцій виконують до і після підливання бетоном фундаментних плит опорних станцій. Одночасно з установкою та вивіркою опорних станцій по ухилу, висоті та горизонтальному положенню, повторно перевіряють установку роликів у плані, для чого на натягнутий по поздовжній осі дріт у площині обох торців роликів підвішують два виски.

Після закінчення вивіряння опорних станцій виробляють заливку фундаментних болтів бетонною сумішшю. Марка бетону встановлюється організацією, що проєктує фундамент. Рівень бетону не доливають до поверхні фундаменту на 150-200 мм. Після затвердіння бетону всі гайки фундаментних болтів затягують і знову перевіряють установку упорних станцій по ухилу, висоті та горизонтальному положенню. Якщо повторні виміри підтверджують правильність встановлення опорних станцій, то виконують остаточне підливання фундаментів рам опорних станцій.

Після підливання фундаментів плит опорних станцій та затвердіння бетону знімають опалубку, а поверхню фундаменту та опорної станції очищають від залишків розчину та сміття.

Корпус в зборі подається на завчасно підготовлений майданчик для монтажу у районі встановлених упорно-опорної та опорної станцій та встановлюється на тимчасові роликоопори або інші пристрої, передбачені проєктом виконання робіт. Виконують розконсервацію та огляд корпусу, а також перевіряється стан встановлених на ньому бандажів, зубчастого вінця, ущільнювальних пристроїв та насадок. При необхідності проводять очищення корпусу від бруду, а оброблені поверхні слідів атмосферної корозії. Очищення проводять способами, що усувають можливість пошкодження.

Корпус монтують на опорні станції так, щоб бандаж на опорних роликах упорно-опорної станції розташувався в місцях торкання посередині роликів, що утворюють, і на рівній відстані в 10 мм від обох упорних роликів (рис. 3.4). При цьому відстань між торцями бандажу та роликів з обох боків має бути однаковою.

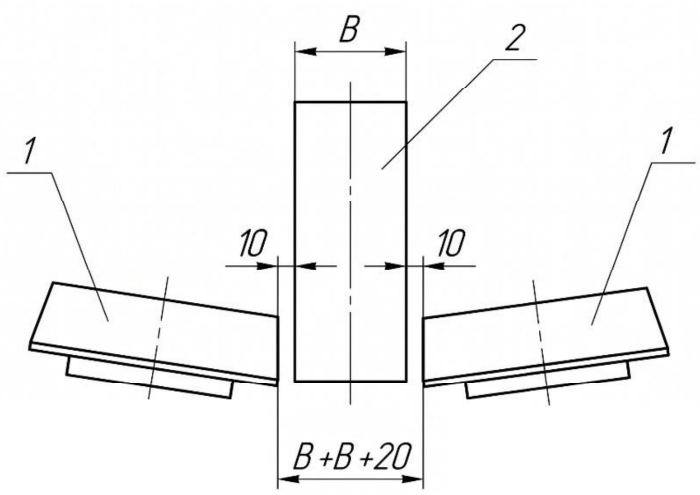


Рисунок 3.4 – Розміщення упорних роликів по відношенню до бандажу: 1 – упорний ролик; 2 – бандаж

Другий бандаж на опорних роликах опорної станції внаслідок різниці відстаней між серединами бандажів і серединами опорних станцій розташується несиметрично, ближче своїм внутрішнім торцем до внутрішніх торцевих поверхонь роликів.

Перед встановленням зубчастого вінця:

а) перевіряють відповідність фактичних розмірів опорних стійок та підвінцових листів (ресор) проектним, роблять правку здеформованих стійок та підвінцевих листів;

б) перевіряють якість та стан з'єднань підвінцевих листів з опорними стійками на постійних болтах;

в) на корпусі, відповідно до креслення, виробляють розмітку для встановлення зубчастого вінця.

За допомогою крана встановлюють одну половину зубчастого вінця в нижнє положення по розміченій осьовій лінії для місця встановлення вінця, піднімають краном впритул до корпусу і для її фіксації в цьому положенні викладають шпальну клітину (рис. 3.5). На вже змонтовану нижню половину зубчастого вінця встановлюють другу половину, з'єднують їх стики, встановивши попередньо в мостах роз'єму штифти, і приварюють їх кінці після з'єднання стику до тіла зубчастого вінця.

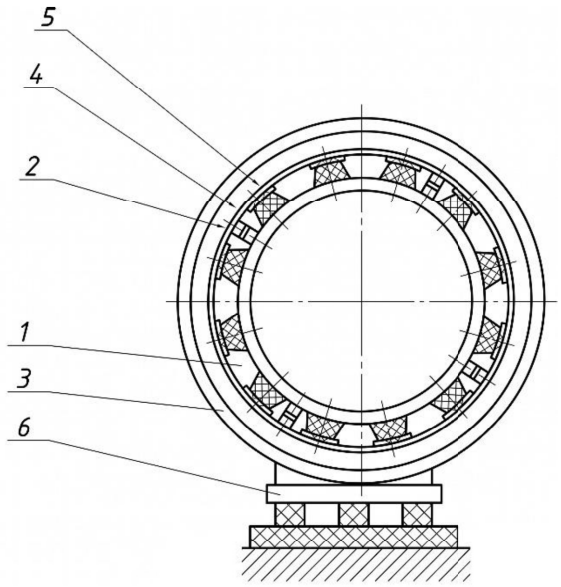


Рисунок 3.5 – Схема установки зубчастого вінця: 1 – корпус; 2 – центрувальні пристрої; 3 – нижня половина вінця; 4 – верхня половина вінця; 5 – підвінцеві листи зі стійками; 6 – шпальна кладка

Піднімаючи краном зібраний вінець на корпус вводять у простір між ними чотири пристрої для центрування, розташувавши їх відносно один одного під 90^{o}.

Повертаючи вручну (за допомогою важеля) корпус, центрують зубчастий вінець до тих пір, поки ряд вимірів не покажуть, що зубчастий вінець відцентрований з необхідною точністю. Після закінчення центрування роблять установку на розмічені місця на корпусі і приварювання опорних стійок з підвінцевими листами. Після чого проводять установку необхідної кількості

підкладок між зубчастим вінцем і листами підвінцю. Потім повторно перевіряють правильність центрування корпусу.

Після закінчення монтажу корпусу змащують поверхні опорних роликів тонким шаром фарби, що змивається і, обертаючи корпус вручну, перевіряють відбиток фарби на робочій поверхні бандажів. Контакт поверхонь, що сполучаються бандажів і опорних роликів повинен бути в середній частині не менше 2/3 довжини утворюють бандажа.

Привод встановлюється на фундамент так, щоб риски на плиті, що визначають його розташування відносно корпусу апарату, приблизно збіглися з відповідними рисками реперних планок на фундаменті під привод. Одночасно встановлення приводу виконують віджимними гвинтами на заздалегідь встановлені на фундаменті пластини.

У початковому положенні приводу на фундаменті вісь підвінцевої шестерні повинна бути розташована нижче за проєктне положення на величину дещо більшу, ніж висота зуба; середина зуба має бути проти середини зуба зубчастого вінця. Основа плити приводу повинна відстояти від поверхні фундаменту на 150-200мм.

Анкерні болти закладають в отвір плити приводу, на зовнішні кінці болтів встановлюють шайби та нагвинчують по дві гайки з виходом 2-3-х ниток різьблення.

Віджимними гвинтами, піднімаючи і нахиляючи привод, вводять підвінцеву шестірню в зачеплення із зубчастим вінцем і забезпечують центрування підвінцевої шестерні за допомогою двох однакових по товщині сталевих пластин, що дорівнює зазору між головкою і западиною зубців шестірні і вінця зубчастого, тобто рівною 0,25 модуля плюс 2 мм на копенсацію теплового розширення вінця.

Пластини встановлюють по краях вінця на дні западини, де відбувається зачеплення, і переміщують привод до упору одного із зубів шестерні в ці пластини.

Положення підвінцевої шестерні регулюють переміщенням приводу віджимними гвинтами до тих пір, поки ряд вимірів не покаже, що підвінцева шестерня розташована в зачепленні із вінцем вінчастим правильно і з необхідною точністю. Заміри виробляють через кожні 90 обертів при повороті вручну корпусу із зубчастим вінцем.

Потім проводять перевірку контакту поверхонь зубів підвінцевої шестерні і зубчастого вінця по довжині, шляхом змащення зубців шестерні тонким шаром фарби, що змивається, і повертаючи вручну корпус з зубчастим вінцем. Пляма контакту має бути в середній частині за довжиною не менше 50% довжини зуба та не менше 25% висоти зуба.

При задовільних результатах повторної перевірки центрування та встановлення приводу роблять остаточне підливання плити приводу та колодязів фундаментних болтів бетонною сумішшю.

Головку завантажувального пристрою приєднують до каркаса топки, попередньо прихопивши електрозварюванням. При цьому необхідно забезпечити її співвісність та паралельність з корпусів апарату.

Потім встановлюють завантажувальну вирвуу на топці та проводять її вивіряння. Після цього приєднують її до топки та приварюють головку до каркаса. Далі монтують ущільнення.

3.2 Розрахунок фундаменту під монтаж сушильного барабану

Сушильний барабан спирається на дві опорні станції. Подаємо її як балку на 2-х опорах.

Знаходимо вагу, що діє на фундамент:

$$G_{заг}=G_M+G_б=3111,63+9620=12731,63 \quad кг \quad , \qquad (3.5)$$

де G_M – максимальна вага матеріалу;

$G_б$ – вага, власне барабана.

Реакція R_1:

$$R_1 = \frac{G_{заг}}{2} = \frac{12731,63}{2} = 6365,8 \quad кг$$

Вихідними для вибору розмірів фундаменту є розміри рам опорних станцій.

Фундамент має бути спроєктований так, щоб виконувалася умова:

$$\rho < [\rho] \qquad (3.6)$$

Схема проєктування фундаменту в плані показано на рисунку 3.6.

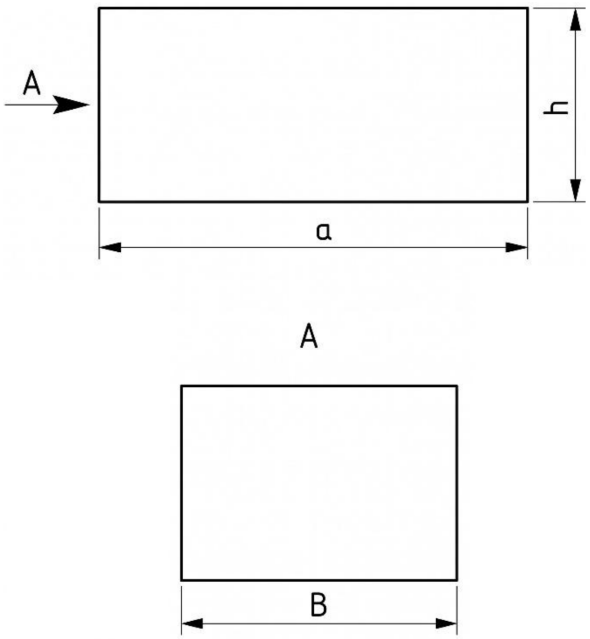


Рисунок 3.6 – Схема до розрахунку фундаменту під встановлення сушильної установки барабанного типу

Довжина фундаменту a_1 = 550 мм;

Ширина фундаменту b_1 = 2400 мм;

Висота фундаменту h_1 = 1400 мм .

Визначимо об'єм першої частини фундаменту:

$$V_{ф1}=a_1\cdot b_1\cdot h_1=0,55\cdot 2,4\cdot 1,4=1,848 \quad м^3 \qquad (3.7)$$

Вага власне фундаменту визначається за такою формулою:

$$G_{ф1}=\gamma\cdot V_ф=2,1\cdot 1,848=3900 \quad кг \qquad (3.7)$$

Враховуючи вагу опорної станції питомий тиск на ґрунт:

$$\rho_1=\frac{R_1+G_ф+G_o}{a_1\cdot b_1}=\frac{6365,8+3900+1000}{55\cdot 240}=0,85<[\rho]=2\,\frac{кг}{см^2} \quad , \qquad (3.8)$$

де G_o – вага опорної станції.

Розрахунок другої частини фундаменту.

Довжина другої частини фундаменту a_2= 930 мм;

Ширина фундаменту b_2= 2400 мм;

Висота фундаменту h_2 = 1400 мм.

Визначимо об'єм другої частини фундаменту:

$$V_{ф2}=a_2\cdot b_2\cdot h_2=0,93\cdot 2,4\cdot 1,4=3,12 \quad м^3$$

Тоді вага другої частини фундаменту знаходимо з формули:

$$G_{ф2}=\gamma\cdot V_{ф2}=2,1\cdot 3,12=6552 \quad кг$$

Реакція у другій опорі:

$$R_2\approx R_1=6365,8 \text{ кг}$$

Враховуючи вагу опорно-упорної станції визначаємо питомий тиск другої частини фундаменту на ґрунт:

$$\rho_2=\frac{R_2+G_{ф2}+G_{о.у}}{a_2\cdot b_2}=\frac{6365,8+6552+1235}{93\cdot 240}=0,63<[\rho]=2\ \frac{кг}{см^2}\ ,$$

де $G_{оу}$ – вага опорно-упорної станції.

Отримані результати задовольняють вимоги до фундаменту.

Розрахуємо фундамент під привод.

Довжина фундаменту $a_п$= 1430 мм;

Ширина фундаменту $b_п$=1232 мм;

Висота фундаменту $h_п$= 1138 мм.

Визначимо об'єм фундаменту під привод:

$$V_{фп}=a_п\cdot b_п\cdot h_п=1,43\cdot 2,6\cdot 1,138=4,23\ \ м^3$$

Тоді вага фундаменту:

$$G_{фп}=1,43\cdot 2,6\cdot 1,138=2,1\cdot 4,23=8,883\ т=8883\ \ кг$$

На даний фундамент діє вага приводу $G_п$=1496 кг.

Також діє радіальна сила у зачепленні:

$$F_r=(2\cdot T_2/d_2)\cdot tg\alpha=(2\cdot 6400/0,55)\cdot tg20=8470,6\ Н=847\ кг,\quad (3.9)$$

де T_2 – момент тихохідного валу редуктора, Нм ;

d_2 = 550 мм – діаметр шестірні;

α=20 град – кут зачеплення.

$$\rho_n=\frac{G_п+G_{ф.п.}+F_r}{a_n\cdot b_n}=\frac{1496+8883+847}{143\cdot 123,2}=0,64<[\rho]=2$$

Питомий тиск на ґрунт не перевищує допустимого.

Визначивши розміри фундаменту приступають до його збирання та монтажу.

3.3 Розрахунок фундаментальних болтів

Сушильна установка до фундаменту не прикріплена, але стоїть на опорах жорстко прикріплених до рами, яка кріпиться до фундаменту анкерними болтами. Отже, сили, що діють на опору, діють так само і на фундаментні болти. Вихідні дані для розрахунку фундаментних болтів наведено у таблиці 3.1. Розрахункова схема наведена на рисуннку 3.7.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до розрахунку анкерних болтів

Найменування	Умовне позначення	Показник
Реакція в опорі, Н	R	36750
Кут закладення реакції в опорі	α	30^0
Момент, Н·м	M	18230

У таблиці 3.1 М – це момент, який намагається вирвати опори з рами, а отже і раму від фундаменту, діючи при цьому на фундаментні болти. Цей момент виникає під час підйому матеріалу до кута динамічного укосу. Найнебезпечнішим є кріплення фундаментного болта в точці А, тому що тут діє додатково вириваючий момент. Розглянемо лише одну опору з точкою А.

Перекидальний момент знайдемо за формулою:

$$M_{пер}=S\cdot h+M \qquad (3.10)$$

Відновлюючий момент дорівнюватиме:

$$M_в=N\cdot a+Q_0\cdot b \qquad (3.11)$$

Необхідне виконання умови:

$$M_в\geq 1,4\cdot M_{пер} \qquad (3.12)$$

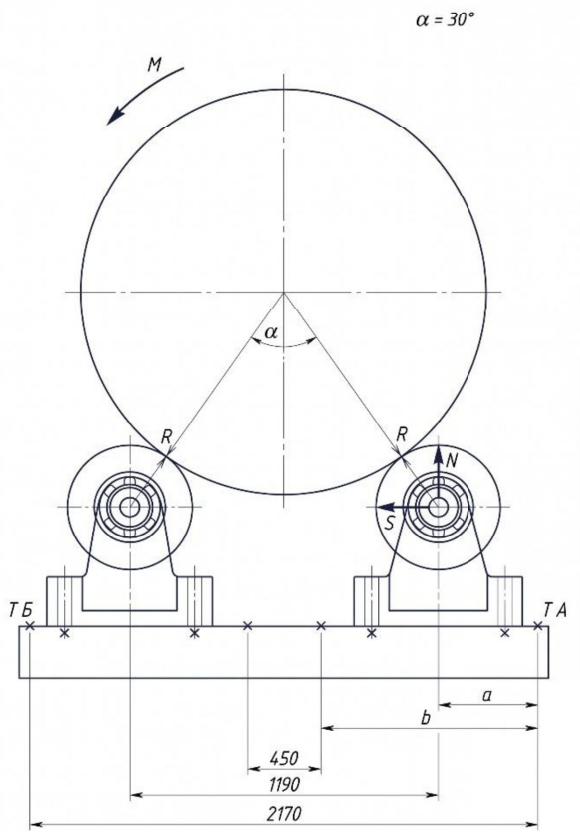


Рисунок 3.7 – Схема до розрахунку кріплення сушильної установки до фундаменту анкерними болтами

Виконавши підстановку отримаємо:

$$1,4(S\cdot h+M)=N\cdot a+Q_0\cdot b \qquad (3.13)$$

Звідси

$$Q_0=\frac{1,4\cdot(S\cdot h+M)-N\cdot a}{b}=\frac{1,4\cdot(1837,5\cdot 0,34+1823)-3182,5\cdot 0,49}{0,86}=21715 \quad Н$$

де S та N – дві складові ваги барабана.

Першу складову знаходимо за формулою:

$$S=R\cdot \sin\alpha=3675\cdot \sin 3\,0=18376 \quad Н \qquad (3.14)$$

Другу відповідно:

$$N=R\cdot \cos\alpha=3675\cdot \cos 3\,0=31825 \quad Н \qquad (3.15)$$

Знаходимо розміри за схемою:

$$a=\frac{2170-1190}{2}=490 \quad мм,\ h = 0,34\ м,\ b = 0,86\ м$$

Визначимо зусилля на один болт за формулою:

$$Q_б=\frac{Q_0}{n_р}=\frac{2171,5}{1}=21715 \quad Н \qquad (3.16)$$

де $n_р$ – кількість болтів у ряді.

Приймаємо болт зі Сталі 40Х з гранично допустим напруженням [σ]=800 МПа

З умови міцності визначаємо діаметр болта по западинах:

$$d_1=\sqrt{\frac{4\cdot Q_б}{\pi\cdot[\sigma]}}=\sqrt{\frac{4\cdot 10860\cdot 2}{3,14\cdot 80}}=18,6 \quad мм \qquad (3.17)$$

Обираємо болт М24 з контрольованим зусиллям затяжки при монтажі сушильного барабана.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Техніка безпеки та виробнича санітарія

Вимоги до виробничого обладнання, так само як і для його розміщення та організації робочих місць, а також вимоги безпеки, що пред'являються до організації виробничих процесів та спрямовані на попередження виробничого травматизму, закріплюються у правилах з техніки безпеки. Перелік рівнів концентрації, що допускаються стандартами (санітарними нормами) та інших параметрів, небезпечних та шкідливих виробничих факторів, містить норми виробничої санітарії, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників [27].

Вимоги, що регламентуються правилами техніки безпеки та виробничої санітарії, повинні виконуватися під час будівництва підприємств, починаючи зі стадії проєктування, при конструюванні та виготовленні обладнання, верстатів, машин [28].

Нові або виробничі об'єкти, що реконструюються, засоби виробництва не можуть бути прийняті в експлуатацію, якщо вони не мають сертифіката безпеки.

Для виконання вимог охорони праці працівниками, на адміністрацію покладено проведення інструктажів. За характером та часом проведення інструктаж працівників поділяється на: вступний, який проводиться з вступниками на роботу; повторний (періодично у встановлений термін); позаплановий (поточний) – за зміни технологічного процесу чи устаткування, за порушення правил охорони праці [29].

На роботах зі шкідливими умовами праці, пов'язаними з температурним впливом або із забрудненням працівникам видається безкоштовно за встановленими нормами спеціальний одяг та взуття, а також інші засоби індивідуального захисту: респіратори, маски, захисні окуляри, запобіжні пояси і т.д. [30].

Якщо робота пов'язана із забрудненням, працівникам видається

безкоштовно за встановленими нормами мило, а там, де можлива дія на шкіру шкідливо діючих речовин – засоби, що змивають і знезаражують.

Робочий персонал виробничих цехів з підвищеними температурними умовами безкоштовно забезпечується газованою підсоленою водою. Цехи та виробничі ділянки, на які поширюється це правило, встановлюються органами санітарно-епідеміологічного нагляду за погодженням з адміністрацією.

При виявленні у працівника ознак професійного захворювання чи погіршення стану здоров'я внаслідок впливу шкідливих чи небезпечних виробничих чинників роботодавець виходячи з медичного висновку повинен перевести його на іншу роботу. Виявлення та облік нещасних випадків на виробництві мають важливе значення і повинні суворо фіксуватися.

У приміщенні мають контролюватися відповідні температурні умови, освітлення, якість повітря, та ізоляція, від виробничих шумів тощо [31, 32]. Основні приміщення цеху розташовуються не далеко одне від одного. Їх обладнують загальнообмінною вентиляцією та штучним освітленням.

У тих випадках, коли одного природного висвітлення не вистачає, встановлюється суміщене висвітлення. Система штучного освітлення виробничих приміщень використовується не лише в умовах недостатньої природної освітленості або в темний період доби, а й у денний час для забезпечення нормативних параметрів освітлення робочих зон. Залежно від функціонального призначення штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне та евакуаційне [33].

Важливим чинником формування безпечного та комфортного виробничого середовища є раціональне колірне оформлення приміщень. Правильно підібрана кольорова гама сприяє покращенню санітарно-гігієнічних умов праці, позитивно впливає на психоемоційний стан працівників, зменшує втому та підвищує продуктивність праці. Колірне рішення виробничих зон доцільно узгоджувати з особливостями технологічного обладнання та характером виконуваних робіт. Освітлення робочого простору й устаткування повинно бути рівномірним і комфортним для сприйняття, без різких контрастів

та сліпучого блиску.

Одним із завдань охорони праці є зниження рівня шумового навантаження на персонал. Особливу увагу необхідно приділяти як шуму, що генерується безпосередньо виробничим обладнанням, так і зовнішнім акустичним впливам, які проникають у приміщення. Ефективним способом зменшення шуму в місці його виникнення є використання пружних вібропоглинальних елементів між корпусом машини або механізму та опорною поверхнею. Для цього застосовують гумові, коркові, повстяні прокладки, а також спеціалізовані амортизатори різних конструкцій. Додатковим заходом боротьби з шумом є встановлення звукоізолювальних кожухів, які не перешкоджають перебігу технологічного процесу. Водночас важливе значення має належне технічне обслуговування обладнання, що включає своєчасне регулювання, змащування та заміну зношених вузлів і деталей, які можуть бути джерелами підвищеного шуму. Суттєвого ефекту можна досягти також завдяки раціональному плануванню виробничих площ і оптимальному розміщенню обладнання.

Для обмеження проникнення зовнішнього шуму до виробничих приміщень доцільно підвищувати звукоізоляційні властивості огороджувальних конструкцій, а також забезпечувати якісне ущільнення віконних і дверних прорізів по всьому периметру їх прилягання [34].

Отже, зменшення рівня шуму на робочих місцях може бути досягнуте шляхом реалізації комплексу організаційно-технічних заходів, серед яких:

– зниження шумових характеристик безпосередніх джерел випромінювання за рахунок застосування екранів, звукоізолювальних кожухів та інших захисних засобів;

– зменшення впливу відбитих звукових хвиль шляхом використання звукопоглинальних матеріалів і конструкцій;

– забезпечення раціонального розташування виробничого обладнання у приміщенні;

– впровадження архітектурно-планувальних і технологічних рішень, спрямованих на локалізацію та ізоляцію джерел шуму.

4.2 Техніка безпеки при експлуатації агрегатів лінії зневоднення шихти

Для забезпечення екологічних показників в цеху сушильні барабани мають бути облаштовавані пилогазоуловлюючим облананням.

Сушильні барабани повинні мати блокування, що забезпечує наступний порядок пуску обладнання: аспіраційна система, розвантажувальний пристрій, сушильний барабан та завантажувальний пристрій.

У разі раптової зупинки сушильного барабана або розвантажувального пристрою блокування повинне забезпечувати автоматичне вимкнення обладнання, пуск якого передує пуску сушильного барабана або розвантажувального пристрою. Експлуатація сушильних барабанів за несправної аспіраційної системи забороняється.

Корпус сушильного барабана повинен бути огороджений, якщо відстань від підлоги до низу корпусу не більше 1,8 м. Огородження повинні складатися зі знімних металевих секцій заввишки не менше 1 м, забарвленими відповідно до вимог [35] та перебувати на деякій відстані від осі обертання барабана.

Опорні та упорні ролики повинні бути огороджені суцільними металевими огорожами. Газоходи сушильного барабана мають бути теплоізольовані. Сушильні барабани повинні бути обладнані пристроями, що виключають можливість прокидання матеріалу при відборі проб. Сушильні установки, що працюють на рідкому та газоподібному паливі повинні бути оснащені автоматичною системою безпеки типу «Кристал». Завантажувальна вирва сушильного барабана повинна мати ущільнення , що запобігають проникненню топкових газів у приміщення.

Експлуатація сушильних установок при просочуванні газів через завантажувальні та розвантажувальні пристрої забороняється. Видалення золи та шлаку з топки барабана має бути механізовано. Ручне видалення золи та шлаку забороняється. Для попередження про пуск сушильний барабан повинен бути забезпечений звуковою та світловою сигналізацією, яка має забезпечувати

гарну чутність та видимість сигналу на робочих місцях.

При застосуванні газоподібного палива експлуатація під час сушильних барабанів повинна проводитися відповідно до правил безпеки в газовому господарстві.

Перед оглядом і ремонтом сушильного барабана матеріал повинен бути вилучений з барабана, топка і сушильний барабан провентильовані. Температура повітря не має перевищувати 40 °С всередині та 45 °С на поверхні топки та сушильного барабан.

При внутрішньому огляді, ремонті сушильного барабана та топки для освітлення повинні використовуватися переносні електричні світильники напругою не вище 12 В.

До зупинки на ремонт сушильного барабана, що працює на пиловугільному паливі, воно має бути вилучене в бункера.

Сита та ґуркоти для просіювання пилу повинні бути укладені в кожухи, підключені до аспіраційної системи з апаратами для очищення повітря. Кожухи сит і ґуркотів не повинні мати щілин і відкритих отворів. Дверцята та місця приєднання вирви до кожуха мають бути ущільненими.

Для огляду, очищення і ремонту сит у кожухах повинні бути дверцята, що відкриваються, зблоковані так, щоб при їх відкриванні приводи сит або ґуркотів автоматично відключалися.

Обертові частини, на кшталт валів та дисків з дебалансами мають бути огороджені суцільними металевими каркасами.

4.3 Забезпечення вимог електробезпеки

Електричний струм є прихованим типом небезпеки, т.я. його важко визначити в струмо-і непровідних частинах обладнання, які є добрими провідниками електрики. Смертельно небезпечним для життя людини вважають струм, величина якого перевищує 0,05А, струм менше 0,05А – безпечний (до 1000 В). З метою запобігання ураженням електричним струмом до роботи

повинні допускатися тільки особи, які пройшли відповідні інструктажі та засвоїли правила техніки безпеки [36].

Відповідно до правил електробезпеки у службовому приміщенні повинен здійснюватися постійний контроль стану електропроводки, запобіжних щитів, шнурів, за допомогою яких включається до електромережі обладнання, освітлювальні прилади, інші електроприлади.

Електричні установки становлять для працівників велику потенційну небезпеку, оскільки у процесі експлуатації або обслуговуванні, працівник може торкнутися частин під напругою. Особливість електроустановок як потенційно небезпечних об'єктів полягає в тому, що струмопровідні частини, а також металеві корпуси обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження або пробою ізоляції, не мають зовнішніх ознак, що сигналізують про наявність небезпеки. Людина не здатна завчасно виявити електричну загрозу органами чуття, а вплив електричного струму проявляється лише в момент його проходження через організм. У зв'язку з цим особливого значення набуває належна організація експлуатації, технічного обслуговування та контролю стану діючих електроустановок виробничого цеху. Відповідно до чинних вимог приміщення належить до категорії приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом, оскільки температура повітря в ньому може перевищувати 30 °С [37].

Під час роботи технологічного обладнання можливе накопичення зарядів статичної електрики, що призводить до виникнення розрядних явищ. Найчастіше такі розряди спостерігаються під час контакту працівника з елементами пультів керування або іншими металевими частинами обладнання. Незважаючи на те, що подібні розряди зазвичай не становлять безпосередньої загрози для здоров'я людини, вони викликають неприємні відчуття та можуть негативно впливати на роботу чутливих електронних пристроїв, спричиняючи їх пошкодження або порушення функціонування.

Для мінімізації накопичення електростатичних зарядів доцільно використовувати спеціальні антистатичні покриття підлоги. Одним із найбільш

ефективних рішень є застосування одношарового антистатичного лінолеуму на основі полівінілхлориду, який забезпечує відведення накопичених зарядів та знижує ймовірність виникнення електростатичних розрядів. Додатковим способом захисту є нейтралізація зарядів за допомогою іонізованого газового середовища. Для цієї мети в промислових умовах використовують різні типи нейтралізаторів статичної електрики, зокрема іонізаційні установки.

До комплексу загальних профілактичних заходів, спрямованих на зменшення впливу статичної електрики, належить підтримання оптимальних параметрів мікроклімату шляхом загального або локального зволоження повітря. Підвищення відносної вологості сприяє зменшенню інтенсивності накопичення електростатичних зарядів на поверхнях обладнання, матеріалів та елементів виробничого середовища, що підвищує рівень електробезпеки та надійність роботи технологічних систем.

4.4 Забезпечення вимог протипожежної безпеки

Пожежна безпека – стан об'єкта, у якому виключається можливість пожежі, а разі виникнення запобігається вплив на людей небезпечних чинників пожежі та забезпечується захист матеріальних цінностей [38].

Забезпечення пожежної безпеки на виробничому підприємстві ґрунтується на комплексному впровадженні системи попередження виникнення пожеж і системи протипожежного захисту. У кожному службовому та виробничому приміщенні повинен бути розроблений і розміщений на видному місці план евакуації персоналу на випадок пожежі. Такий документ визначає порядок дій працівників у надзвичайній ситуації, маршрути евакуації, а також місця розташування первинних засобів пожежогасіння та іншого протипожежного обладнання.

Виникнення пожеж у виробничих цехах становить серйозну загрозу як для життя та здоров’я працівників, так і для матеріальних цінностей підприємства, оскільки може спричинити значні економічні збитки та порушення виробничого

процесу. Потенційними горючими матеріалами є елементи внутрішнього оздоблення будівель, звукоізоляційні та декоративні матеріали, перегородки, дверні конструкції, підлогові покриття, паперова продукція, ізоляція електричних кабелів, а також технологічні речовини, зокрема природний газ і стиснений кисень.

Протипожежний захист являє собою сукупність організаційних, технічних та інженерних заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж, забезпечення безпеки персоналу, локалізацію осередків займання та створення сприятливих умов для ефективного гасіння пожежі [39].

Одними з основних джерел займання можуть бути електронне обладнання, електротехнічні пристрої, системи електроживлення, вентиляції та кондиціонування повітря. Унаслідок порушення режимів роботи, несправностей або пошкодження окремих елементів можливе виникнення локальних перегрівів, електричних іскор та дугових розрядів, які здатні стати причиною займання горючих матеріалів.

Електропостачання виробничого цеху здійснюється від трансформаторної підстанції та двигун-генераторних установок. Особливу пожежну небезпеку на трансформаторних підстанціях становлять силові трансформатори з оливним охолодженням, оскільки трансформаторна олива є горючою речовиною. З огляду на це доцільним є використання сухих трансформаторів, які характеризуються вищим рівнем пожежної безпеки.

Пожежонебезпечність двигун-генераторних агрегатів пов’язана з можливістю виникнення коротких замикань, перевантажень електричних мереж, іскріння контактів та перегріву електрообладнання. Для забезпечення безпечної експлуатації необхідно виконувати правильний вибір і налаштування апаратів захисту, що дозволяють своєчасно відключати аварійні ділянки мережі. Додаткові ризики виникають під час проведення ремонтних, профілактичних та налагоджувальних робіт, коли використовуються мастильні матеріали, легкозаймисті рідини, тимчасові електричні мережі, а також виконуються паяльні та очисні операції. У таких випадках необхідно передбачати додаткові

заходи пожежної безпеки. Зокрема, під час роботи з паяльним обладнанням слід застосовувати спеціальні вогнетривкі підставки та пристрої, які забезпечують зниження енергоспоживання нагрівальних елементів у періоди простою.

Одним із пріоритетних завдань системи пожежного захисту є забезпечення стійкості будівельних конструкцій до впливу високих температур та запобігання їх передчасному руйнуванню під час пожежі. Не менш важливим є збереження несучої здатності конструкцій протягом часу, необхідного для евакуації людей та проведення аварійно-рятувальних робіт [40]. Виробничий об'єкт належить до категорії Д за пожежною небезпекою у зв'язку з використанням матеріалів у розплавленому стані. Ступінь вогнестійкості будівлі – III.

Для локалізації та ліквідації невеликих осередків займання використовують первинні засоби пожежогасіння, до яких належать пожежні крани та стволи, внутрішні пожежні водопроводи, переносні та пересувні вогнегасники, ящики із сухим піском, протипожежні покривала та інші спеціалізовані засоби. На початкових стадіях розвитку пожежі найбільш ефективними є вогнегасники різних типів, зокрема повітряно-пінні та вуглекислотні. У виробничих приміщеннях переважно застосовують вуглекислотні вогнегасники типів ОУ-8 та аналогічні їм, оскільки вони забезпечують високу ефективність гасіння та не пошкоджують електротехнічне обладнання. Завдяки діелектричним властивостям вуглекислого газу такі вогнегасники можуть використовуватися для ліквідації загорянь електроустановок, які перебувають під напругою, у випадках, коли їх негайне знеструмлення є неможливим [41].

4.5 Вибір газоочисного обладнання

Циклони – це апарати для очищення газів і повітря від твердих пилових частинок за рахунок дії відцентрових сил. Вони широко застосовуються в металургійній, хімічній, цементній, деревообробній, харчовій та інших галузях промисловості для попереднього або основного очищення газових викидів.

Під час роботи забруднене повітря чи будь який інший газ надходить у циклон по дотичній до корпусу, утворюючи обертальний рух. Завдяки дії відцентрових сил частинки пилу притискаються до стінок апарата, втрачають швидкість і осідають у пилозбірнику, а очищений газ виходить через центральний патрубок.

До недоліків такого способу очищення повітря можна віднести:

– низька ефективність уловлювання дуже дрібнодисперсного пилу (менше 5÷10 мкм);
– втрати тиску в газовому потоці;
– менша ефективність при очищенні газів, до складу яких входять липкі або вологі частинки.

При цьому використання циклонів має ряд суттєвих переваг:

– відносно проста конструкція – не мають рухомих частин, що підвищує надійність роботи;
– досить низька вартість виготовлення та експлуатації порівняно з багатьма іншими пиловловлювачами;
– можливість роботи при високій температурі та підвищеному тиску, що важливо для промислових процесів;
– здатність очищати великі об'єми газів;
– ефективне вловлювання частинок середнього та великого розміру (понад 10÷20 мкм);
– можливість використання як попереднього ступеня очищення перед фільтрами або електрофільтрами, що зменшує їх навантаження.

Виконаємо вибір циклону для очищення виробничого простору на дільниці зневоднення шихти, визначивши його гідравлічний опір та ефективність роботи (кінцеву запиленість газів за наступних вихідних даних):

– об'ємна витрата газів за нормальних умов $V_0 = 4100$ м^3/год;
– щільність газів за нормальних умов $\rho_0 = 1{,}29$ кг/м^3;
– температура газів $T_г = 1100$ ºС;
– динамічна в'язкість газів за робочих умов $\mu = 24{,}8 \cdot 10^6$ Па ·с;

– барометричний тиск $P_{бар}$=101,3 кПа
– розрідження в циклоні $P_{ц}$ = -30 Па;
– початкова концентрація пилу газах Z=50 г/м ^{3} ;
– середньомедіанний діаметр частинок пилу d_m= 5 мкм;
– логарифмічна середньоквадратична зміна розміру частинок по відношенню до середньомедіанного діаметра lg δ_n = 0,53 ;
– густина частинок пилу $\rho_п$ =3000 кг/м^3 .

Щільність газів за робочих умов:

$$\rho = \rho_0 \frac{273 \cdot \left(P_{абс} \pm P_{ц}\right)}{\left(273 + T_{г}\right) \cdot 101{,}3 \cdot 10^3} = \frac{1{,}29 \cdot 273 \cdot \left(101{,}3 \cdot 10^3 - 30\right)}{\left(273 + 110\right) \cdot 101{,}3 \cdot 10^3} = 0{,}92 \quad кг/м^3, \qquad (4.1)$$

де 101,3 ·10 ^{3} Па – нормальний атмосферний тиск.

Витрата газів за робочих умов:

$$V = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho \cdot 3600} = \frac{4100 \cdot 1{,}29}{0{,}92 \cdot 3600} = 1{,}6 \text{ м}^3/\text{с} \qquad (4.2)$$

Діаметр циклону при оптимальній швидкості $W_{опт}$ = 3,5 м/с:

$$Д_Ц = \sqrt{\frac{V}{0{,}185 \cdot W_{опт}}} = \sqrt{\frac{1{,}6}{0{,}785 \cdot 3{,}5}} = 0{,}76 \text{ м} \qquad (4.3)$$

Приймаємо найближчий стандартний діаметр $Д_ц$=0,8 м і знаходимо дійсну швидкість газів у циклоні:

$$W_Ц = \frac{V}{0{,}185 \cdot Д_ц^2} = \frac{1{,}6}{0{,}785 \cdot 0{,}8^2} = 3{,}2 \text{ м/с} \qquad (4.4)$$

Зважаючи на те, що дійсна швидкість відрізняється від оптимальної менш ніж на 15%, зупиняємось на обраному діаметрі циклону і знаходимо його розміри.

Коефіцієнт опору циклону:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500} + K_3 = 1 \cdot 0{,}91 \cdot 155 + 0 = 141, \qquad (4.5)$$

де k_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклону;

k_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газів;

ξ_{500} – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклону діаметром 500 приймаємо по [, табл. 2.10];

K_3 – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонуванням циклонів у групу.

Гідравлічний опір циклону:

$$\Delta P_Ц = \frac{\xi \cdot W_Ц^2 \cdot \rho}{2} = 141 \cdot \frac{3{,}2^2 \cdot 0{,}92}{2} = 650 \text{ Па} \qquad (4.6)$$

Розмір частинок, які може вловитьи обраний циклон при робочих умовах з гарантованою ефективністю не менше 50%:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{Д_Ц \cdot \rho_п^т \cdot \mu \cdot W_W^n}{Д_Ц^E \cdot \rho_п \cdot \mu^T \cdot W_Ц}} = 45 \cdot \sqrt{\frac{0{,}8 \cdot 1930 \cdot 24{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}5}{0{,}6 \cdot 3000 \cdot 22{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}2}} = 4{,}61 \text{ мкм}, \qquad (4.7)$$

де d^T_{50} – Параметр, що характеризує ефективність обраного типу циклону;

$Д_Ц$, $\rho_п$, μ, $W_Ц$ – величини, що відповідають виробничим умовам роботи циклону;

$Д^T_Ц$, $\rho_п$, μ^T, $W^T_Ц$ - величини, що відповідають умовам, за яких отримана величина d^T_{50}.

Величина

$$X = \frac{\lg d_m / d_{50}}{\sqrt{\lg^2 \delta_\eta + \lg^2 \delta_n}} = \frac{5/4{,}61}{0{,}32^2 + 0{,}53^2} = 0{,}0535, \quad (4.8)$$

де $lg\delta_\eta$ – логарифм стандартного відхилення функції розподілу парціальних коефіцієнтів очищення для циклону даного типу, приймаємо $lg\ \delta_\eta = lg\ \delta^T{}_\eta$.

Для величини $X = 0{,}0535$ знаходимо значення $\Phi(X) = 0{,}5214$.

Ступінь уловлювання пилу в циклоні:

$$\eta = 50 \cdot [1 + \Phi(X)] = 52\% \quad (4.9)$$

Кінцева запиленість газів:

$$Z_2 = (1 - \eta) \cdot Z_1 = (1\text{-}0\ ,\ 521) \cdot 50 = 23{,}95\ г/м^3 \quad (4.10)$$

Таким чином обираємо циклон типу ЦЕ-15, що забезпечить зменшення пилового навантаження в повітрі не менше ніж на 50 %, та значно покращить умови роботи обслуговуючого та основного персоналу цеху та екологічну обстановку в цеху.

Висновки

1. Ознайомлення з вантажопотоками та технологічними ланцюгами виробничого цеху на АТ «Запорізький завод феросплавів» вказує на те, що одним з основних проблемних місць цеху є незадовільна робота сушильного барабану зневоднення шихтових матеріалів, пов'язана із застарілою конструкцією перевалочного пристрою та організацією завантаження-розвантаження шихти.
2. Виконаний аналіз технічної літератури дозволив встановити, що для сушіння шихтових матеріалів як у втчизняній так і закордонній практиці практиці використовуються різноманітні машини, але перевага надається установкам барабанного типу, у яких відслідковуються аналогічні недоліки, що й об'єкту проєктування.
3. Запропонована конструкція перевалочного пристрою дозволить підвищити продуктивність сушильного барабану та покращити якість шихти. Одночасна модернізація завантажувально-розвантажувального вузла дозволяє збільшити термін служби обладнання та оптимізувати виробничі витрати.
4. Виконані розрахунки обґрунтовують запропоновану модернізацію та вказують на її перспективність впровадження у виробництво.
5. Для забезпечення необхідних показників роботи установки слід врахувати вимоги її монтажу та експлуатації, які наведені в розділі 3, а для задовільної та безпечної роботи обладнання цеху в цілому необхідно вжити заходів, наведених у розділі 4.
6. Для поліпшення екологічного стану цеху необхідно розглянути можливість використання у якості пиловловлюючого обладнання циклони типу ЦЕ-15.

Список використаної літератури

1. АТ «Запорізький завод феросплавів» – ДОСВІД, НАДІЙНІСТЬ, ПЕРСПЕКТИВА. *УкрФА Українська Асоціація виробників феросплавів*. URL: https://ukrfa.com.ua/ат-запорізький-завод-феросплавів-д/ (дата звернення: 01.06.2026).
2. Запорізький завод феросплавів нагороджено Почесним дипломом президії ЗТПП на честь 90-річчя – Запорізька торгово-промислова палата. *Запорізька торгово-промислова палата – Експертна підтримка вашого бізнесу*. URL: https://www.cci.zp.ua/zaporizkyj-zavod-ferosplaviv-nagorodzheno-pochesnym-dyplomom-prezydiyi-ztpp-na-chest-90-richchya/ (дата звернення: 01.06.2026).
3. Теперішній час. АТ Запорізький Завод Феросплавів. *ГОЛОВНА. АТ Запорізький Завод Феросплавів*. URL: http://zfz.com.ua/p_teperishniy-chas (дата звернення: 01.06.2026).
4. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. К.: Вініченко, 2016. 224 с.
5. Саленко Ю.С. Обладнання для подрібнення матеріалів: дробарки та млини: навч. посіб. Кременчук: КДПУ, 2008. 100 с.
6. Петров В.М. Вальцьове подрібнююче обладнання: навч. посіб. Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури (ОДАБА), 2019. 227 с.
7. Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійних процесів / С.А. Воденніков та ін. під ред. І.Ф. Червоний Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 408 с.
8. Теорія металургійних процесів / В.Б. Охотський та інш. К.: ІЗМН, 1997. 512 с.
9. Будішевський В.О., Пуханов О.О. Транспортні машини і комплекси гірничих та гірничозбагачувальних підприємств. Конвеєри і елеватори:

навч. посіб. Донецьк: ДонНТУ,2006. 64с.

10. Поліщук Л. К., Слабкий А. В. Підйомно–транспортні машини та механізми. Вінниця : ВНТУ, 2015. 722 с.
11. Козуб Ю. Г., Маслійов С. В. Підйомно–транспортні машини : підручник. Старобільськ : ЛНУ ім. Тараса Шевченка, 2018. 277 с.
12. Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання: навч. посіб. Львів: Видавництво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. 248 с.
13. Коруняк П.С. Керницький І.С. Вібраційні машини у виробничих процесах та технологіях: навч. посібник. Львів: Сполом, 2019. 346 с.
14. Коруняк П.С., Ніщенко І.І., Керницький І.С. Траспортувальні машини. Основи конструювання та розрахунку вібраційних транспортувальних машин: навч. посіб. Львів: Сполом, 2017, 244 с.
15. Ніколайчук В.М., Стрілець В.М. Теорія механізмів і машин та деталі машин: навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2012. 277 с.
16. Беленко В. Д. Динаміка і міцність: метод вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 56 с.
17. Писаренко Г. С. Опір матеріалів : Підруч. для ст. машинобуд. спец. вищ. навч. закл. К., 1993. 655 с.
18. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352 с.
19. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
20. Погорєлов С. В. Деталі машин. Частина 1. Механічні передачі: конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2002. 72 с.
21. Мікульонок І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2012. 419 с.
22. Смирнов В.О., Білецький В.С. Проектування збагачувальних фабрик: навч. посіб. Донецьк: Східний видавничий дім, 2002. 269 с.
23. Шабрацький В.І. Експлуатація і обслуговування механізмів і машин:

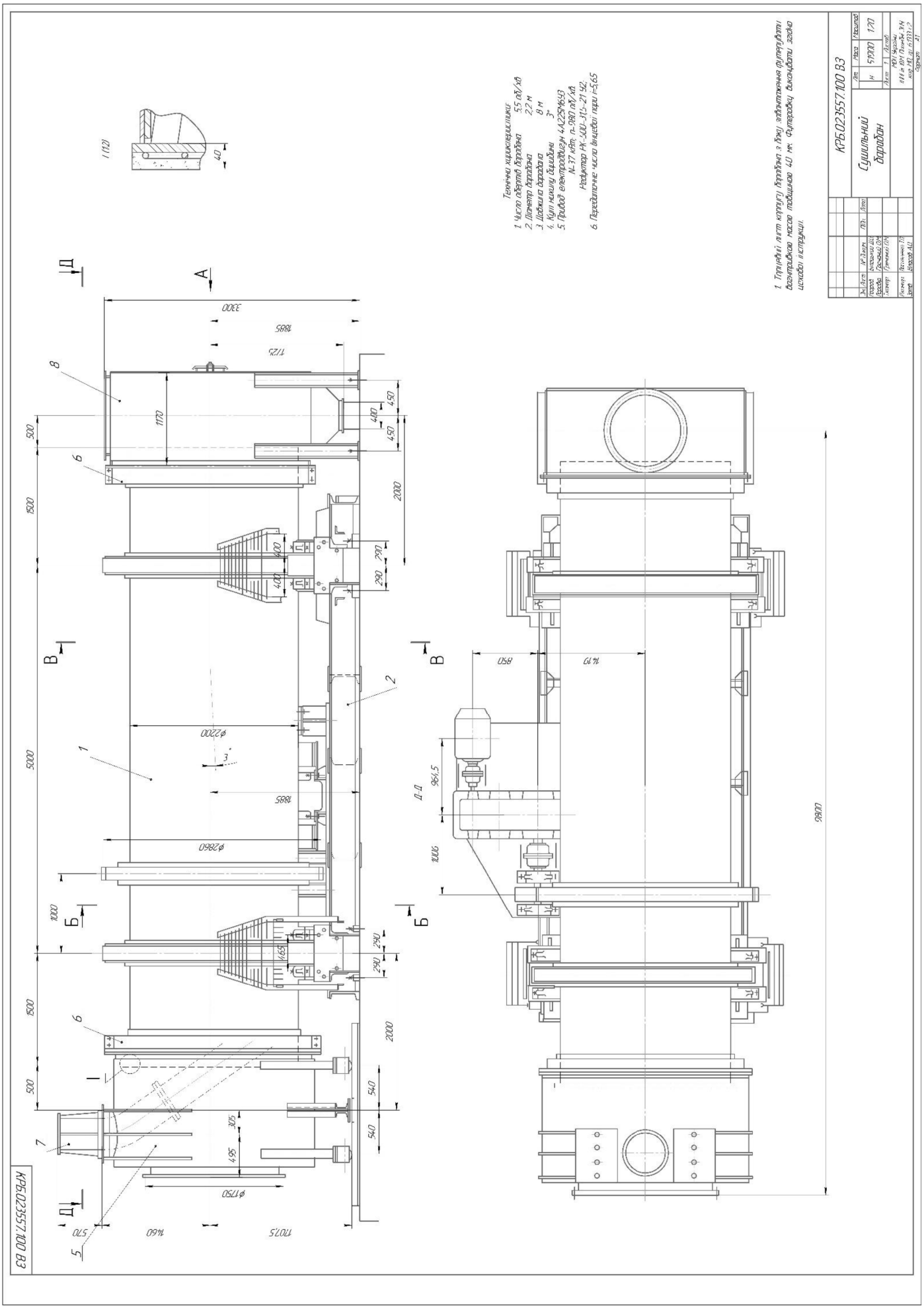
навч. посіб. Рубіжне: ІХТ СНУ ім. Володимира Даля, 2010. 243 с.

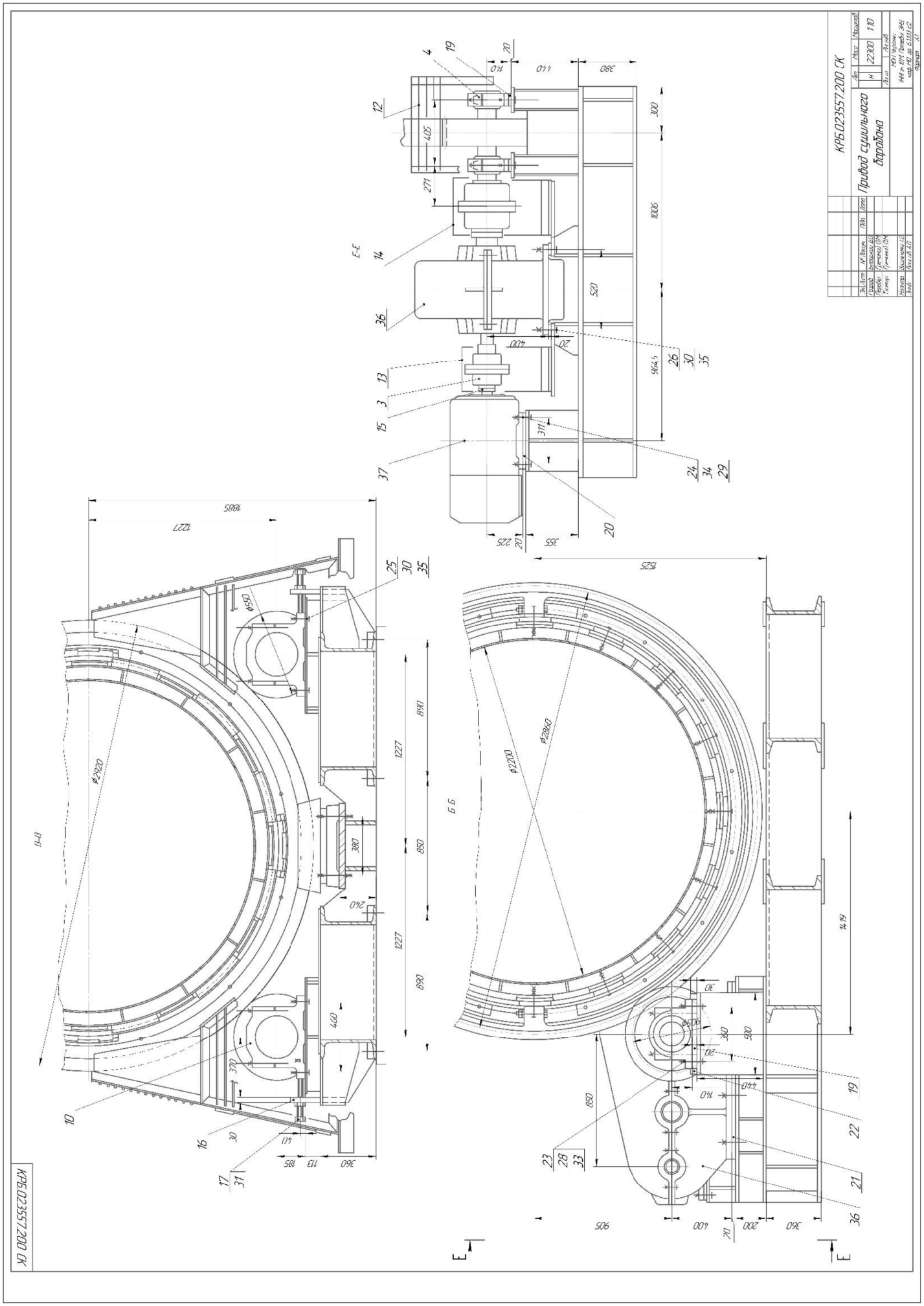
24. Аналіз методів монтажу та базування вузлів технологічних ліній металургійних цехів / А. Власов та ін. *Scientific Journal "Metallurgy"*. 2025. № 1. С. 27–34. URL: https://doi.org/10.26661/2071-3789-2025-1-03
25. Монтаж металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2018. 382 с.
26. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 288 с.
27. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
28. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-центр, 2003. 280 с.
29. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. К: Основа, 2009. 360 с.
30. НПАОП 27.0-3.01-08. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25712 (дата звернення: 15.06.2026).
31. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
32. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
33. 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–

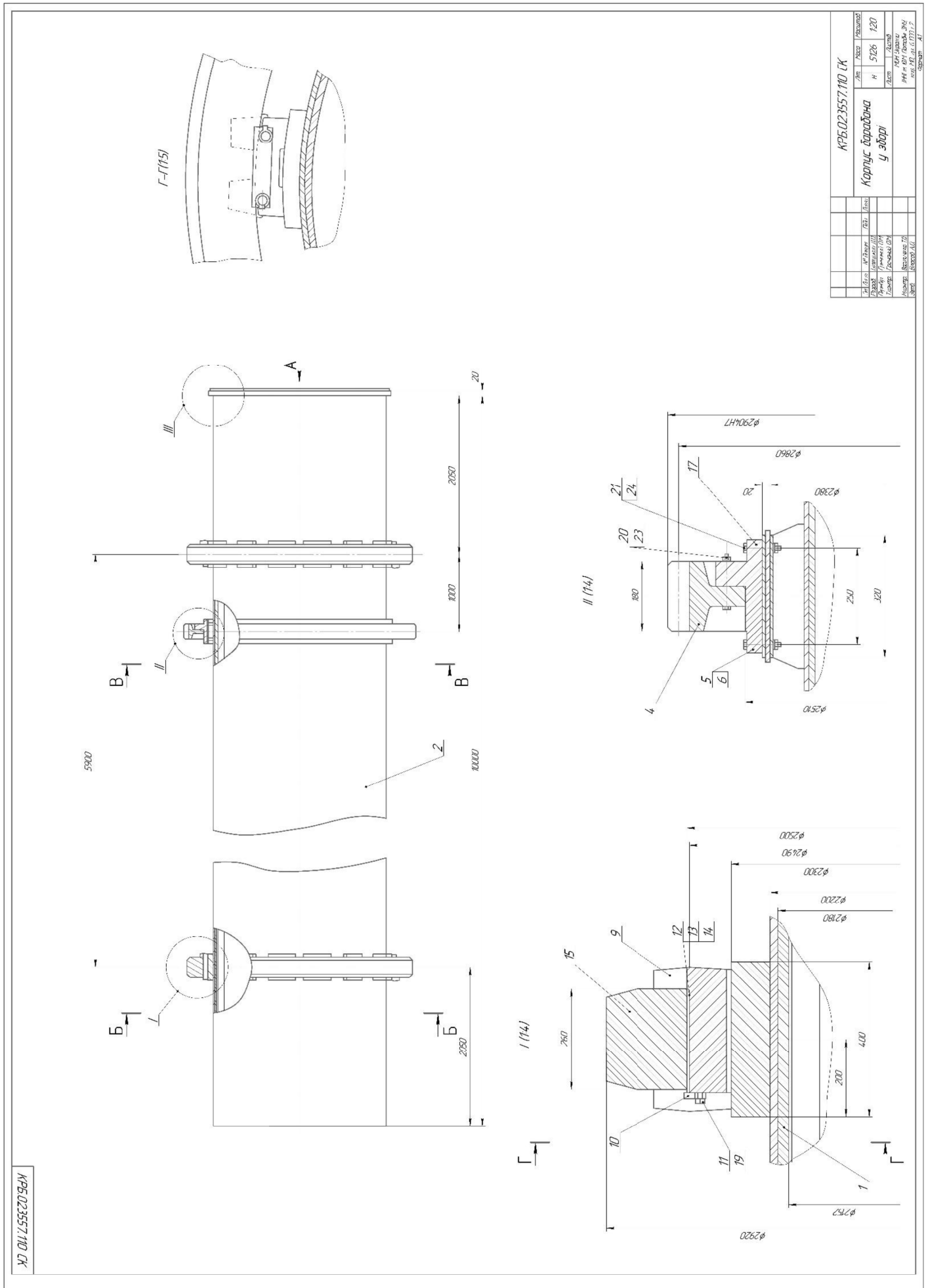
2006.pdf.

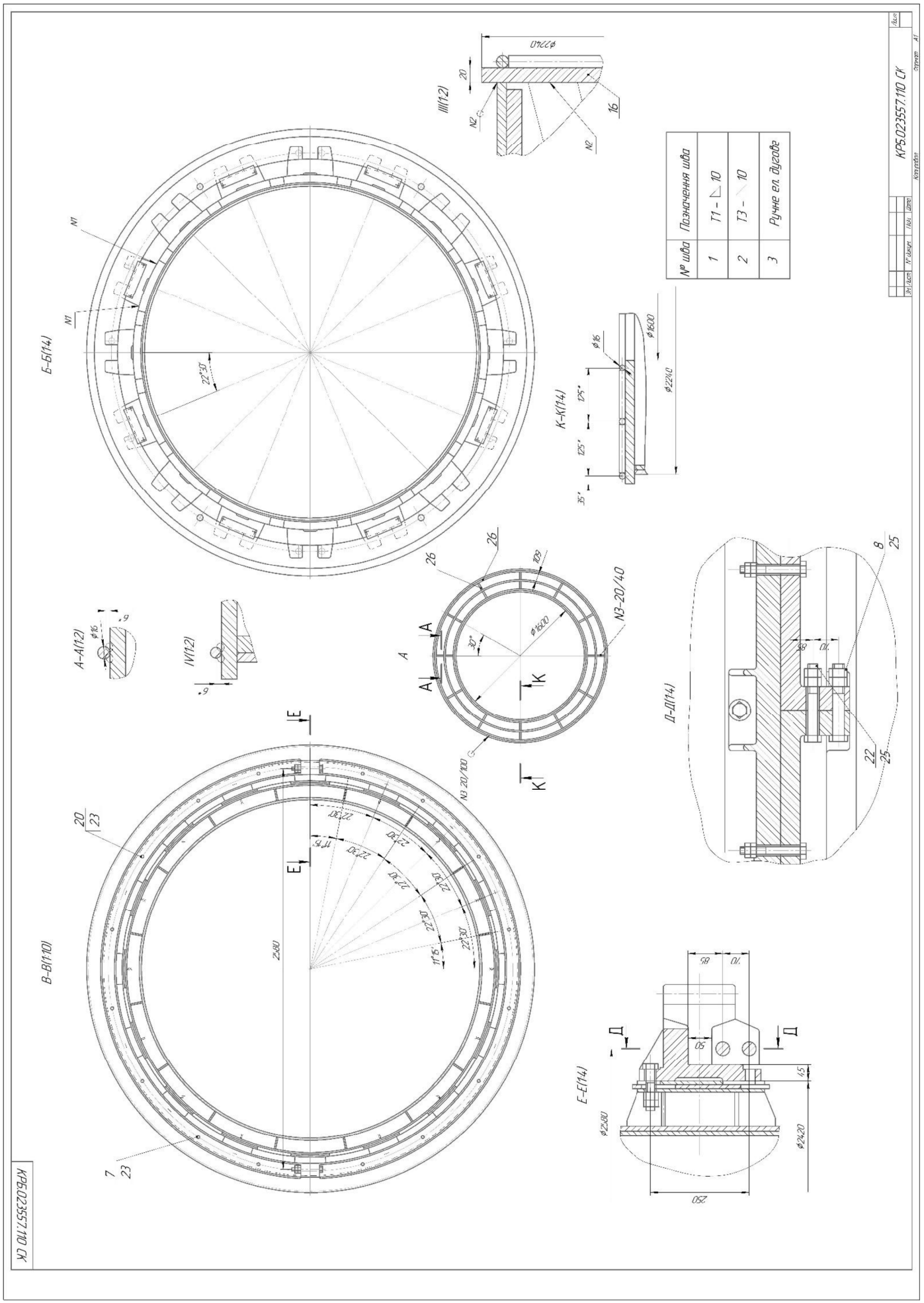
34. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=56317 (дата звернення: 15.06.2026).
35. ДСТУ EN ISO 7010:2022 Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки (EN ISO 7010:2020, IDT; ISO 7010:2019, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=116867 (дата звернення: 15.06.2026).
36. Правила улаштування електроустановок. URL: https://mev.gov.ua/storinka/pravyla–ulashtuvannya–elektroustanovok (дата звернення: 15.06.2026).
37. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок споживачів
38. НАПБ А.01.001–2014. Правила пожежної безпеки в Україні. На заміну НАПБ А.01.001–2004 Правила пожежної безпеки в Україні ; чинний від 2023–04–07. Вид. офіц. 2014.
39. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456 (дата звернення: 15.06.2026).
40. ДСТУ 3855-99 Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення. Зі зміною (ІПС № 1-7-2006) та Поправками (ІПС № 1-7-2006), (ІПС № 5-2007)
41. СОУ 40.1–21677681–60:2012. Протипожежний захист машзалів електростанцій. Правила проектування та експлуатації протипожежного устаткування. На заміну НАПБ 05.030–2001 (ГКД 343.001.003.001–2001) ; чинний від 2012–03–29. Вид. офіц.

ДОДАТКИ

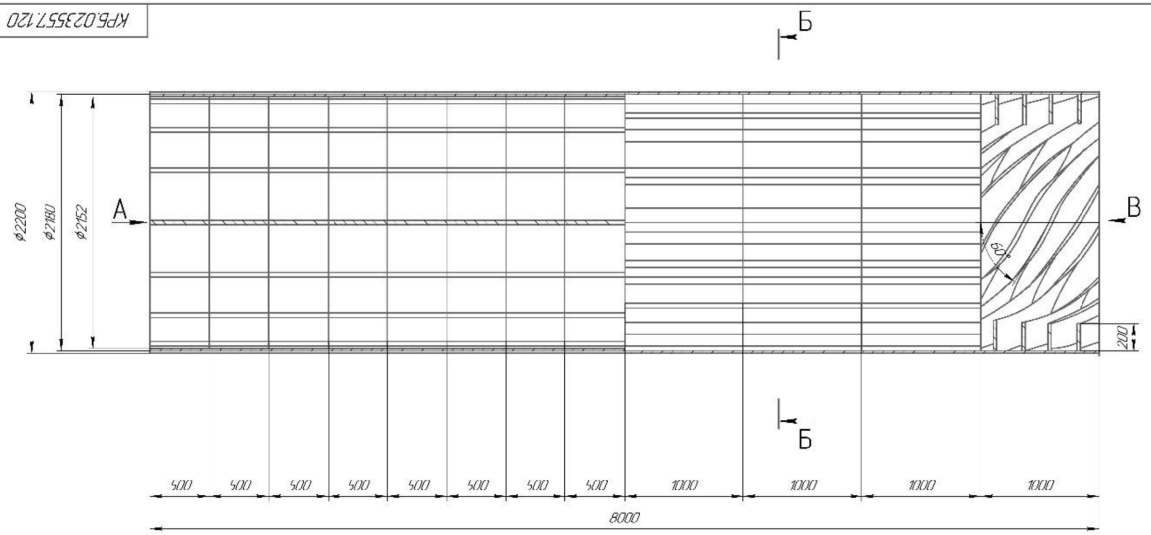

КРБ023557.100 ВЗ
Сушильный барабан
Технические характеристики:
1. Число оборотов барабана 5,5 об/хв
2. Диаметр барабана 2,2 м
3. Длина барабана 8 м
4. Кут нахилу барабану 3°
5. Привод електродвигун 4А225М6У3 N-37 кВт, n-980 об/хв
Редуктор РК-500-31,5-21 У2.
6. Передаточне число внешней пары i=5,65
1. Готовий лист корпусу барабана з бандажами фрезерувати вентрадіально після зварювання до товщини 40 мм. Фрезерувати згідно цієвої інструкції.
Д-Д
Б-Б
В-В
А-А
Д-Д
ø2200
ø2860
ø1750
3300
1885
7125
1170
2000
5000
1500
1000
500
540
570
1460
7075
9800
8500
1419
956,5
1006

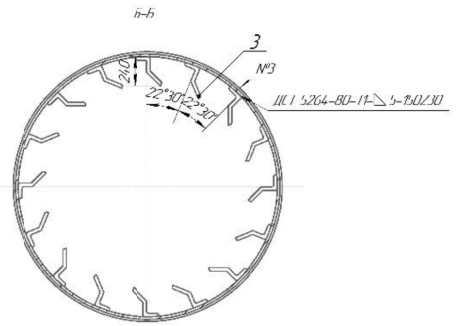

КРБ.023557.200 СК
Привод сушильного барабана
Е-Е
Б-Б
В-В
Ф2920
Ф2200
Ф2860
Ф550
1885
1227
1525
1479
905
850
890
400
380
360
240
220
200
140
110
100
90
70
50
40
30
20
10
16
17
19
21
22
23
25
26
28
30
31
33
34
35
36
37

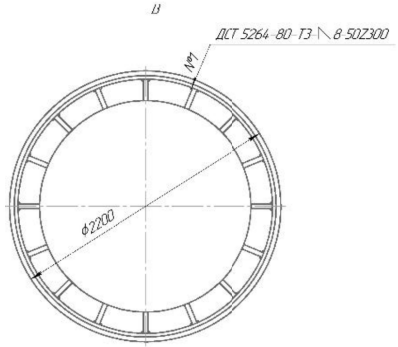

КРБ.023557.110 СК
Корпус барабана у зборі
Маса
Масштаб
5126
1:20
Аркуш
Аркушів
Копіював
Формат А1
Г-Г(1:5)
А
Б
В
Г
I (1:4)
II (1:4)
III
5900
10000
2050
1000
2050
20
ø2920
ø2752
ø2510
ø2500
ø2190
ø2300
ø2200
ø2180
ø2380
ø2860
ø2904H7
760
400
200
180
240
320
1
2
4
5
6
9
10
11
12
13
14
15
17
19
20
21
23
24


КРБ.023557.110 СК
№ шва | Позначення шва
1 | Т1 - △ 10
2 | Т3 - ⟍ 10
3 | Ручне ел. дугове
Б-Б(1:4)
В-В(1:10)
А-А(1:2)
IV(1:2)
К-К(1:4)
Д-Д(1:4)
Е-Е(1:4)
III(1:2)
N3-20/40
N3 20/100
22°30'
11°15'
ø2240
ø1600
ø2080
ø2420
250

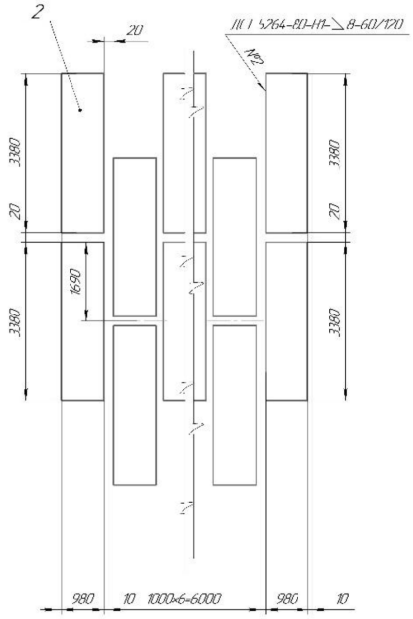
КРБ.023557.120

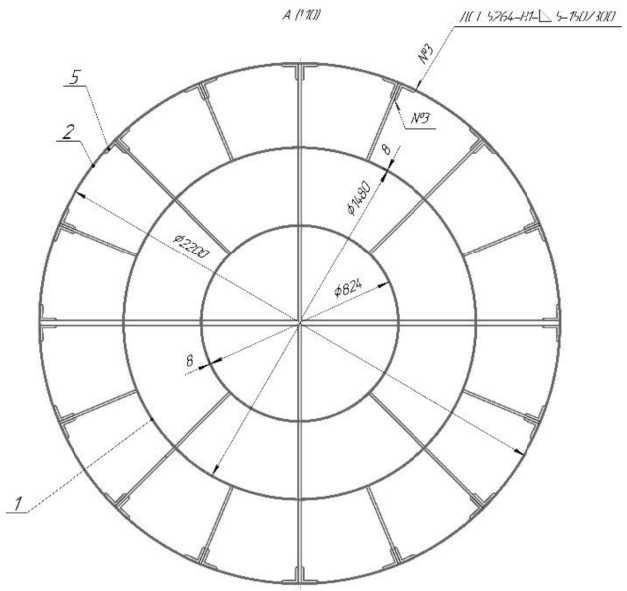




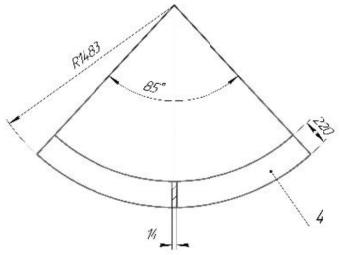


Розгортка футеровочних листів барабана (1:50)



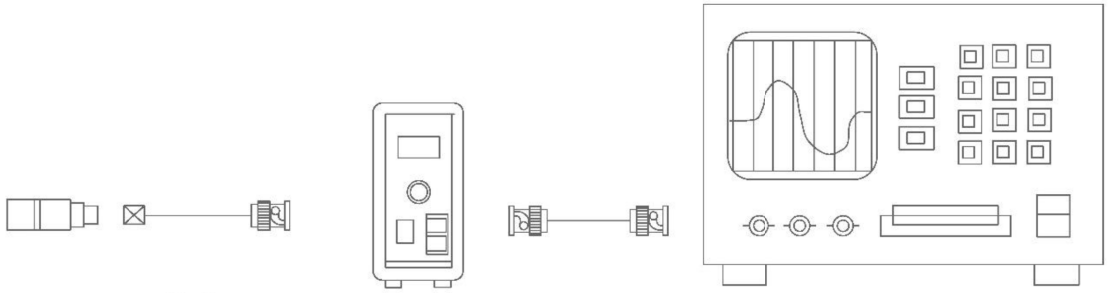


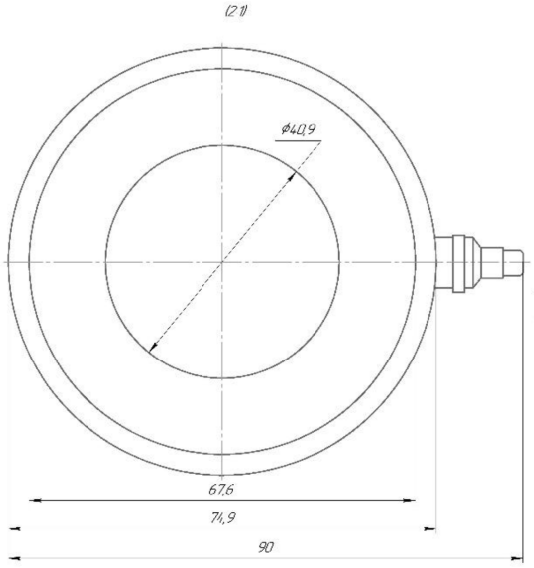
Розгортка гвинтової лопаті

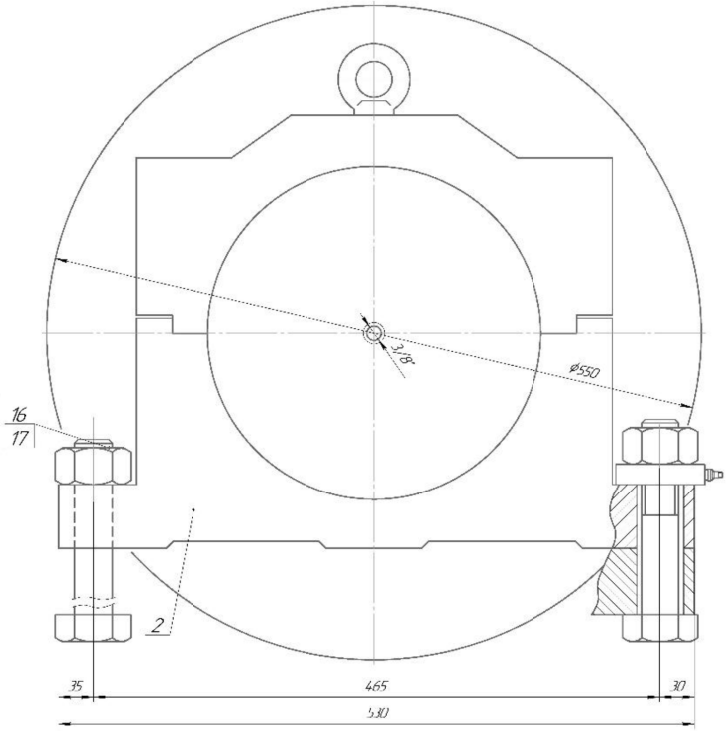


						КРБ.023557.120		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Гончаренко Л.О.			Футерування барабана і установка насадок	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Гончаренко Л.О.				Н	12000	1:20
Т.контр.		Гончаренко Л.О.				Лист	Листів	
Н.контр.		Гончаренко Л.О.				НТУ «ХПІ» Україна		
Затв.		Онацько А.О.				Інв.№ від.	Підпис і дата	Інв.№ дубл.
						Копіював	Формат А1	

Схема підключення датчика



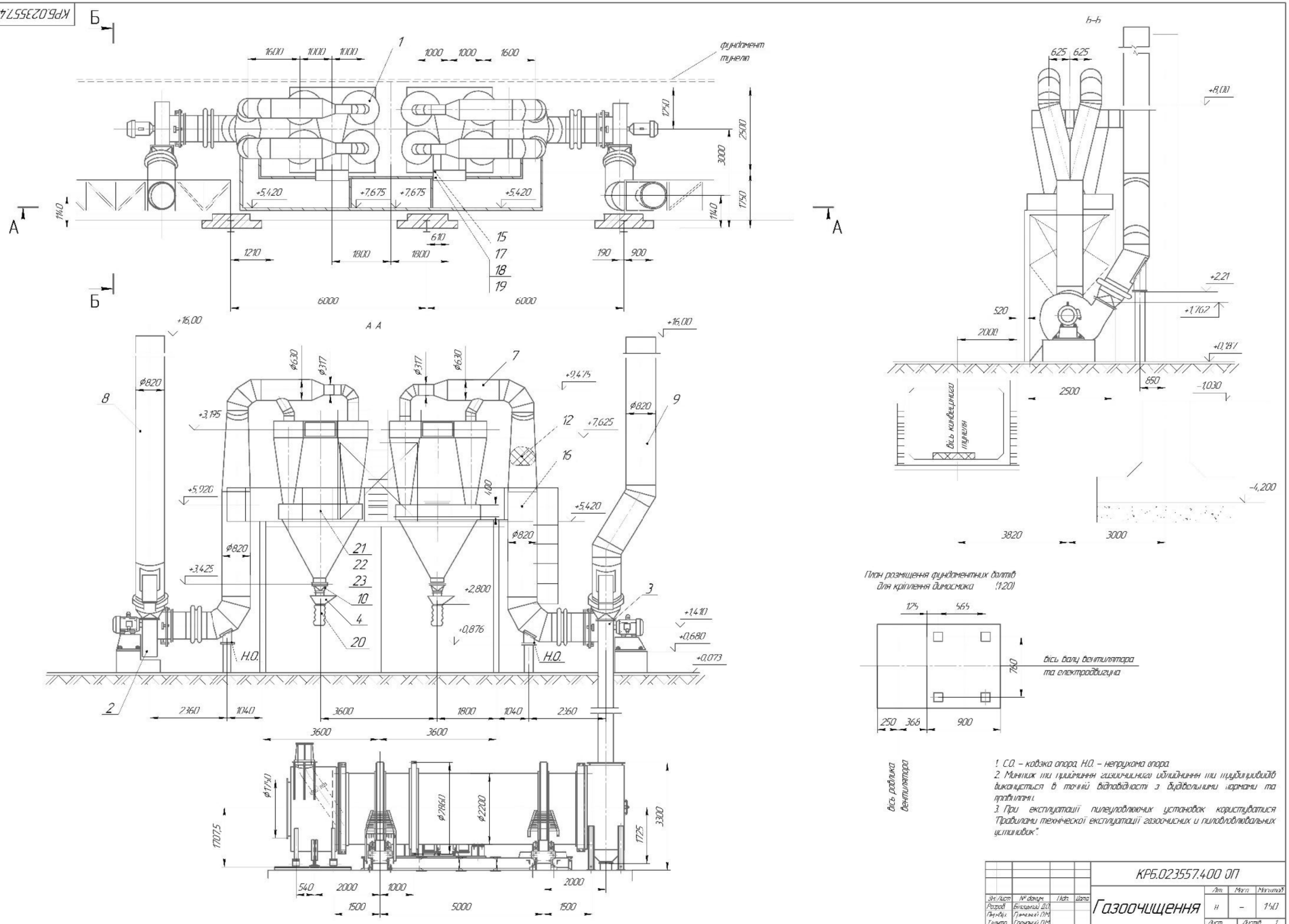






Датчик	217В
Максимальне зусилля	500 кН
Чутливість	0,05
Коефіцієнт теплового розширення	≤0,22
Діапазон температур	–54 до +121 С^0

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ.023557.300 МК		
Розроб.		Гайдашенко І.О.			Контрольоване затягнення стрижня болта	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Гуренкова О.М.				Н		1:2
Т.контр.		Гуренкова О.М.				Арк. 1	Аркушів 1	
Н.контр.		Коханенко І.О.				МЕІ, Україна, ІРМ кн. КІМ Електричні апарати кафедра РЕА, рис. Б 1333 с.2		
Затв.		Ткач І.О.	А12			Формат А1		



1. С.О. – ковзна опора, Н.О. – непорухома опора.
2. Монтаж та приймання гігієнічних обладнання та індивідуалів виконується в точній відповідності з видавальними нормами та правилами.
3. При експлуатації пилеуловлюючих установок користуватися "Правилами технической експлуатації газоочисних и пиловловлювальних установок".

				КРБ.023557.400 ОП		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		
Розроб.		Бєлошицький Д.В.			Газоочищення	Літ. / Маса / Масштаб: Н / – / 1:40
Перевір.		Гуменний І.М.				Лист / Листів: 1
Т.контр.		Гриценко О.М.				МОН України ІФНТУНГ, кафедра МАХ, гр. ГЗЗЗ-с2
Н.контр.		Заславський Т.О.				
Затв.		Пилипів А.П.				Формат А1