

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства та
зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____Юрій БОГОМОЛ
«___»_____2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Виробництво високолегованих порошків багатofункціональ-
ного призначення»**

Виконала:
студентка ІV курсу, групи ФН-11
Польова-Машовець Софія Азівовна _____

Керівник:
професор, к. т. н., професор
Степанчук Анатолій Миколайович _____

Консультант з охорони праці:
зав. каф, професор, д. т. н.,
Левченко Олег Григорович _____

Консультант з економічно-організаційного розділу:
доцент, к. е. н., доцент,
Нараєвський Сергій Вікторович _____

Нормоконтроль:
доцент, к. т. н., доцент, Бірюкович Ліна Олегівна _____

Рецензент:
доцент, к.т.н., доцент, Биба Євген Георгійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Виробництво високолегованих порошків багато-
функціонального призначення»**

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та
порошкової металургії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Нанотехнології та комп'ютерний
дизайн матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій БОГОМОЛ**

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студентці

Польовій-Машовець Софії Азізовні

1. Тема проєкту «Виробництво високолегованих порошків багатофункціонального призначення», керівник проєкту Степанчук Анатолій Миколайович, професор, к. т. н., затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. №1733-с

2. Термін подання студентом проєкту 17.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту:

- Продуктивність виробництва 140 т/рік;
- Проаналізувати сучасний стан виробництва високолегованих порошків багатофункціонального призначення, у тому числі для напилювання зносостійких покриттів газотермічними методами.

- Проектування провести з використанням сучасних уявлень про отримання порошків зносостійких матеріалів та технологічні процеси їх виготовлення;
- Період окупності повинен бути меншим за 3-5 роки.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ, технологічний, будівельний, спеціальний, розділ охорони праці, організаційно-економічний розділи, висновки та перелік використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових кресленників, плакатів, презентацій тощо): апаратурно-технологічна схема, план ділянки з зазначенням на ньому розташування обладнання, обертова піч, муфельна піч, установка для механічного диспергування розплавів, техніко-економічні показники спроектованого виробництва

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно – економічний	Нараєвський С. В., доцент		
Охорона праці	Левченко О. Г., проф. зав. каф. ОПШЦБ		

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Пошук літератури. Аналіз сучасного стану виробництва високолегованих порошків багатофункціонального призначення.	15.04.2025	
2	Вибір вихідної сировини для отримання порошків.	15.04.2025	
3	Вибір та розробка технологічного процесу виробництва високолегованих порошків.	20.04.2025	
4	Розрахунок матеріального балансу. Вибір та розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання.	25.04.2025	
5	Розробка спеціального розділу.	12.05.2025	
6	Розробка розділу охорони праці.	25.05.2025	
7	Розробка організаційно-економічного розділу	28.05.2025	
8	Виконання графічної частини проекту.	01.06.2025	
9	Оформлення дипломної записки.	01.06.2025	

Студентка

Софія ПОЛЬОВА-МАШОВЕЦЬ

Керівник

Анатолій СТЕПАНЧУК

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект вміщує: стор. 102 , рис. 4 , табл. 28 , 6 креслень форматом А1.

ВИСОКОЛЕГОВАНІ ПОРОШКИ, ЕКОНОМІКА, ОБЛАДНАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ПЕРІОД ОКУПНОСТІ ПОРОШКИ, РОЗПИЛЕННЯ, САМОФЛЮСІВНІ СПЛАВИ

У даному проекті розроблений план цеху по виробництво високолегованих порошків багатофункціонального призначення.

Проведено аналіз матеріалів, які можуть бути використані для наплення бмгатофункціональних покриттів. Розглянуті методи отримання легованих порошків, зокрема для напилювання покриттів.

Розроблений технологічний процес отримання порошків самофлюсівних сплаавів на основі заліза. Проведені розрахунки матеріального балансу і балансу матпріалів. Вибране і розрахована необхідна кількість технологічного обладнання для забезпечення технологічного процесу заданої продуктивності. Складено план розміщення обладнання в цеху.

В спеціальній частині проекту проведпні теоретичні дослідження по встановленню оптимальних параметрів отримання порошків з заданими властивостями диспергуванням розплаів на установці механічного диспергування розплавів,

Розроблені заходи по охороні праці та навколишнього середовища , які за-безпечують необхідні умови праці та екології.

В проекті розроблені організаційний та економічний розділи, які дозволили визначити техніко-економічні показники спроектовагоо виобництва. Визначена собівартість одиниці продукції та встановлений період окупності. Вартість 1 т. продукції складає 1880082,4 грн., а період окупності складає 3,3 років. Останнє свідчить про рентабільність спроектованого виробниц-

Т.ва.					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Польова-Ма-			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Степанчук				6	102
Реценз.					ФН-11 ІМЗ		
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..					
Затверд.		Богомол Ю. І.					

ABSTRACT

This project developed a plan for a workshop for the production of highly alloyed powders of multifunctional purpose.

An analysis of materials that can be used for spraying multifunctional coatings was carried out. Methods for obtaining alloyed powders, in particular for spraying coatings, were considered.

A technological process for obtaining powders of self-fluxing alloys based on iron was developed. Calculations of the material balance and the balance of materials were carried out. The required amount of technological equipment was selected and calculated to ensure the technological process of a given productivity. A plan for the placement of equipment in the workshop was drawn up.

In the special part of the project, theoretical studies were conducted to establish the optimal parameters for obtaining powders with specified properties by dispersing melts on a mechanical melt dispersion installation,

Measures for labor protection and the environment were developed, which provide the necessary working and ecological conditions.

The project developed organizational and economic sections, which allowed determining the technical and economic indicators of the designed production. The cost of a unit of production was determined and the payback period was established. The cost of 1 ton of production is 1880082,4 UAH, and the payback period is 3.3 years. The latter indicates the profitability of the designed production.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ABSTRACT			
Розроб.	Польова-Ма-					Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Степанчук					7	102	
Реценз.						ФН-11 ІМЗ		
Н. Контр.	Бірюкович Л.О..							
Затверд.	Богомол Ю. І.							

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Вибір матеріалу.....	10
1.1.1 Вибір та обґрунтування схеми технологічного процесу	13
1.1.2 Вибір схеми технологічного процесу.....	18
1.2 Опис технологічного процесу.....	21
1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції.....	21
1.3 Опис технологічного процесу	22
1.4 Розрахунок і складання балансу матеріалів	30
2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	54
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	57
4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	67
4.1 Аналіз параметрів мікроклімату.....	67
4.2 Аналіз освітлення	68
4.3 Шум та вібрація.....	69
4.4 Аналіз загазованості та запиленості.....	70
4.5 Електробезпека.....	75
4.6 Пожежна безпека.....	76
5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	78
6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	83
6.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників.....	83
6.2 Розрахунок фондів заробітної плати.....	84
7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	87
7.1 Розрахунок капітальних вкладень.....	87
7.2 Визначення планової собівартості одиниці продукції.....	90
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	98

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Польова-Ма-			ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Степанчук				8	102	
Реценз.						ФН-11 ІМЗ		
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..						
Затверд.		Богомол Ю. І.						

ВСТУП

Тепер в сучасній науці і техніці виникає потреба в нових матеріалах для виготовлення деталей машин і механізмів методами порошкової металургії для забезпечення для забезпечення їх надійної роботи та збільшення продуктивності техніко-економічних показників їх роботи. Це стосується багатьох галузей науки та техніки, зокрема машинобудування, енергетики, авіаційної і космічної техніки, медицини та інш. Це питання також може вирішуватись шляхо нанесення на деталі машин та механізмів газотермічних покриттів багатofункціонального призначення – від зносостійких, корозійностійких, жаростійких до декоративних.

Підвищенням експлуатаційних характеристик вузлів та механізмів отриманих методами порошкової металургії та напилюванням покриттів вимагає створення нових порошків. Такими порошками можуть бути високолеговані порошки, які можна створювати з різноманітним комплексом функціональних властивостей — високою твердістю, термо- та корозійною стійкістю, високою зносостійкістю в умовах дії високих навантажень, дії абразивів та агресивних середовищ.

У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні високоефективних виробництв для отримання високолегованих порошків з можливістю керування їх властивостями залежно від вимог до них, які визначаються умовами експлуатації виробів і покриттів з них.

У межах даної дипломної роботи передбачається проведення аналізу сучасного стану виробництва високолегованих порошків багатofункціонального призначення, зокрема для нанесення зносостійких покриттів.

Передбачається проектування підприємства по отриманню високолегованих порошків з річною продуктивністю 140 тонн, з урахуванням сучасних підходів до отримання порошкових матеріалів і технологічних процесів їх виготовлення і економічного обґрунтування проєкту.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Польова-Ма-			ВСТУП	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Степанчук					9	102
Реценз.								
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..						
Затверд.		Богомол Ю. І.						
						ФН-11 ІМЗ		

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вибір матеріалу порошку для напилювання зносостійких покриттів

Сучасних технологіях нанесення покриттів широко використовуються порошкові матеріали, які забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики поверхонь деталей. Залежно від хімічного складу та призначення, порошки поділяють на кілька основних груп [1]– [3].

Інтерметалеві сплави, наприклад на основі Ni-Al, Ni-Ti, Ti-Ni (марки ПН70Ю30, ПН85Ю15, ПТ88Н12, ПТ65Ю35) [1], відзначаються високою жаростійкістю і здатністю протистояти окисненню, що робить їх придатними для покриттів, які експлуатуються у високотемпературних та агресивних середовищах. Вони мають високу твердість і зносостійкість, що дозволяє їх застосовувати для захисту поверхонь, що піддаються тертю.

Порошки сплавів на основі заліза включають різноманітні вуглецеві та леговані сталі (Ст.10, Ст.50, У8А, У12А), а також нержавіючі сталі (ПРХ18Н9, Ст.316АІSІ), які широко використовуються для ремонту та відновлення зношених деталей машин [1]. Високолеговані сталі застосовуються для створення зносостійких покриттів на поверхнях, що працюють в умовах абразивного зносу, наприклад шийках валів, а нержавіючі сталі забезпечують додатковий захист від корозії у нафтодобувній, хімічній та суднобудівній промисловості. Важливо уникати оплавлення таких покриттів на повітрі через ризик окислення легуючих елементів.

Порошки чавунів (марки СЧ18-36, ПР-ЧН15Д7, М92F, МРА ZIS 555) використовуються для створення зносостійких і корозійностійких покриттів,

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Польова-Ма-			ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Степанчук					10	102
Реценз.								
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..						
Затверд.		Богомол Ю. І.						
					ФН-11 ІМЗ			

які особливо ефективні для захисту деталей від адгезійного зносу, у підшипниках. Однією з переваг порошків чавунів є їх відносно низька вартість у порівнянні з іншими залізовмісними сплавами [1]– [3].

Покриття, виготовлені з порошків сплавів, у складі яких основним елементом є **кобальт**, відзначаються високими експлуатаційними властивостями. Зокрема, широко використовуються сплави систем Co-Cr-Al-Y, Co-Cr-Ni-W, Co-Cr-W-Ni, Co-Ni-Cr та Co-Mo-Cr-Si. До цієї групи входять такі марки, як стеліти, аллої, колманої, трибалої, а також порошки типу ПГ-АН15, ПГ-10К-01 тощо. Такі матеріали формують покриття з твердістю від 45 HRC до 60 HRC (залежно від конкретного хімічного складу), а також забезпечують високу опірність до корозії, окислення при високих температурах і зносу. Завдяки своїм властивостям ці покриття застосовують у вузлах запірної арматури для ядерної енергетики, в деталях обладнання хімічної та нафтогазової промисловості, двигунах внутрішнього згорання, а також у складових газотурбінних установок (наприклад, на лопатках). Основним обмеженням є висока вартість таких сплавів, що знижує їхню економічну доцільність у деяких випадках.

Самофлюсівні сплави (СФС) є одними з найважливіших матеріалів, що використовуються для формування захисних і відновлювальних покриттів на поверхнях деталей машин та обладнання . Їх застосування дозволяє підвищити зносостійкість, опір корозії, жаростійкість, а також захистити від дії агресивного середовища, високих температур і вологості [1]–[9].

До цієї групи зазвичай відносять сплави на основі нікелю, кобальту або заліза, які містять у складі бор і кремній у кількості не менше 1,5%. Важливою перевагою таких матеріалів є можливість їх оплавлення після нанесення, що дозволяє досягти практично повної щільності покриття й забезпечити високу міцність зчеплення з основним матеріалом — до 450 МПа.

Суть самофлюсувального ефекту полягає в наступному [3]–[9]: під час нагрівання СФС до температури плавлення (1000–1200 °С) відбувається активне утворення рідкої фази. Якщо процес проходить у кисневмісному сере-

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довищі, окремі елементи сплаву окислюються. Однак завдяки присутності кремнію та бору — елементів, що мають високу спорідненість до кисню — відбувається утворення оксидів SiO_2 та B_2O_3 відповідно. Ці оксиди, взаємодіючи між собою, утворюють боросилікатний шлак, температура плавлення якого нижча за температуру самого сплаву (приблизно 850–950 °С). Цей шлак створює тонкий захисний прошарок, що перешкоджає подальшому окисненню інших елементів сплаву. Більш того, боросилікатна плівка активно розчиняє оксиди таких металів, як залізо, кобальт, хром тощо, очищаючи поверхню деталі та покращуючи адгезію. Завдяки цьому самофлюсівні сплави широко використовуються при створенні композиційних матеріалів, що потребують високих характеристик міцності та зносостійкості.

Самофлюсівні сплави (СФС) на основі нікелю широко використовуються для нанесення зносостійких і корозійностійких покриттів завдяки унікальному поєднанню властивостей, які забезпечують їх легувальні елементи. Зокрема, високий вміст хрому і бору сприяє формуванню твердих боридних фаз, що підвищують зносостійкість та твердість покриттів [3]–[10]. Ці сплави демонструють низьку температуру плавлення внаслідок наявності зони "ліквідус-солідус", що дозволяє проводити процес самофлюсівного оплавлення при температурі близько 1000–1200 °С.

Термодинамічне моделювання показує [1]–[4], що вміст бору у межах 1–4 %, силіцію – 2–5 %, а хрому – до 27 % формує боросилікатні шлаки, які захищають поверхню покриття від окислення та сприяють покращенню адгезії до основи. Бор і силіцій активно реагують з киснем, утворюючи оксиди, що за низької температури формують захисний шар, який запобігає подальшому окисленню металевих компонентів. Це підвищує довговічність покриття у агресивних середовищах.

Ці сплави, стійкі до корозії і зносу, у складі яких присутній нікель у поєднанні з хромом, бором та іншими елементами, що дозволяє отримувати покриття з високою твердістю (до 60 HRC) і стабільністю при експлуатації у складних умовах, наприклад, в паливних системах або морському середовищі. Такі покриття використовуються для відновлення та зміцнення деталей машин

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і механізмів, що експлуатуються при підвищених температурах та корозійних впливах [1]–[4]:.

Основним недоліком СФС на основі нікелю є висока собівартість матеріалів через використання дорогих легувальних елементів у чистому вигляді. Крім того, через низьку густину бору та силіцію виникають технологічні складнощі при їх введенні в розплав, що призводить до втрат цих елементів у процесі напилення.

Самофлюсівні сплави на основі заліза вигідніші за нікелеві завдяки значно нижчій вартості (іноді у десять разів), меншій залежності від дефіцитного нікелю та можливості використання доступних феросплавів, які мають нижчу ціну і більшу доступність порівняно з чистими металами. Незважаючи на меншу кількість досліджень, відомі марки СФЖ-КП-1, 2, 3, які мають властивості, близькі до нікелевих аналогів [3, [5]:.

Склад сплавів варіюється (%) [1]–[3]: Ni 15–40, Cr 3,5–10, В 2–4, Si 1–3, С 0,8–2, Мо 0–3,5, Cu 0–8, Mn 0,5–1,5, Р до 0,8. Твердість і зносостійкість здебільшого залежать від бору, вуглецю (збільшують їх) та нікелю (зменшує твердість). Сплави з бором 3–4 %, вуглецем до 2 %, кремнієм 2–3 %, нікелем 20–30 % мають твердість 50–55 HRC і зносостійкість 0,6–0,75. Додавання хрому до 10 % підвищує твердість до 60–62 HRC.

Температура плавлення цих сплавів коливається від 1243 до 1493 К, фосфор і мідь знижують її на 80–100 К. Найнижча температура плавлення у сплавів з 4–5 % міді, 0,4–0,5 % фосфору і мінімальним хромом [1].

Кут змочування близький до нуля, що забезпечує хорошу адгезію покриттів. Застосовують такі сплави для зносостійких, корозійностійких, жароміцних покриттів і відновлення деталей, при цьому вони значно дешевші за нікелеві.

Отже, для газотермічного нанесення покриттів найбільш ефективними є залізнi самофлюсівні сплави на основі заліза [1]–[10], що поєднують доступність та належні експлуатаційні характеристики.

1.1.1 Вибір і обґрунтування технологічного процесу

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для газотермічного напилення використовують спеціальні металеві, керамічні або композитні порошки, які мають відповідні властивості для створення зносостійких, корозійностійких або теплоізоляційних покриттів [1]–[5].

Для забезпечення якісного та ефективного нанесення покриттів у процесах газотермічного напилення порошки повинні відповідати ряду вимог щодо форми, розміру частинок та хімічного складу.

Найбільш бажаною є сферична форма частинок, оскільки вона забезпечує високу текучість порошку, рівномірну подачу в зону напилення та формування щільного покриття з мінімальною пористістю [2], [3]:

Порошки з гранульованою або неправильною формою застосовуються рідше та здебільшого в умовах плазмового напилення з адаптованими параметрами подачі.

У більшості випадків для напилювання самофлюсівних порошків використовують газополум'яне напилювання, аби порошки повністю розплавлялися у рідкий шар, який змочує основу, адже головна особливість самофлюсівних порошків "самозмочування" основи після розплавлення, вони розраховані на оплавлення після напилення.

Технологія отримання високолегованих самофлюсівних порошків, що застосовуються в газотермічному напиленні, має враховувати не лише легувальні елементи, а й наявність флюсуючих компонентів — наприклад, бору (В), кремнію (Si), фосфору (Р), які забезпечують самофлюсівні властивості: розтікання розплаву по поверхні, видалення оксидів та формування рівномірного, щільного та гладкого шару покриття під час термічного оброблення після нанесення порошку. Нижче розглянуто основні промислові технології отримання таких порошків [3], [10]–[16]:

- диспергування розплавів газом аборідиною;
- відцентрове розпилювання розплавів;
- механічне подрібнення;
- фізико-хімічні методи (відновлення, електроліз);
- компактування з наступним дробленням;

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– плазмове розпилення (плазмохімічний синтез).

В теперішній час основним промисловим методом отримання сферичних порошків порошків металів та сплавів, у тому числі самофлюсівних сплавів на основі нікелю чи заліза, є методи диспергування розплавів [3], [13]– [16]. Вони забезпечують регульований хімічний склад (всі компоненти сплаву в розплаві перед розпиленням). Порошки після охолодження мають сферичну форму, оптимальну для напилення. Можна виготовити сплави з флюсувальними добавками (В, Si, Cr тощо), які забезпечують самофлюсівну здатність після запікання. Типові варіанти: газова атомізація (повітря, азот, аргон), водна атомізація, центрифужна атомізація (для великих сферичних частинок). Технологічна схема отримання порошків самофлюсівних сплавів методом диспергування розплавів показана на рисунку 1.1.

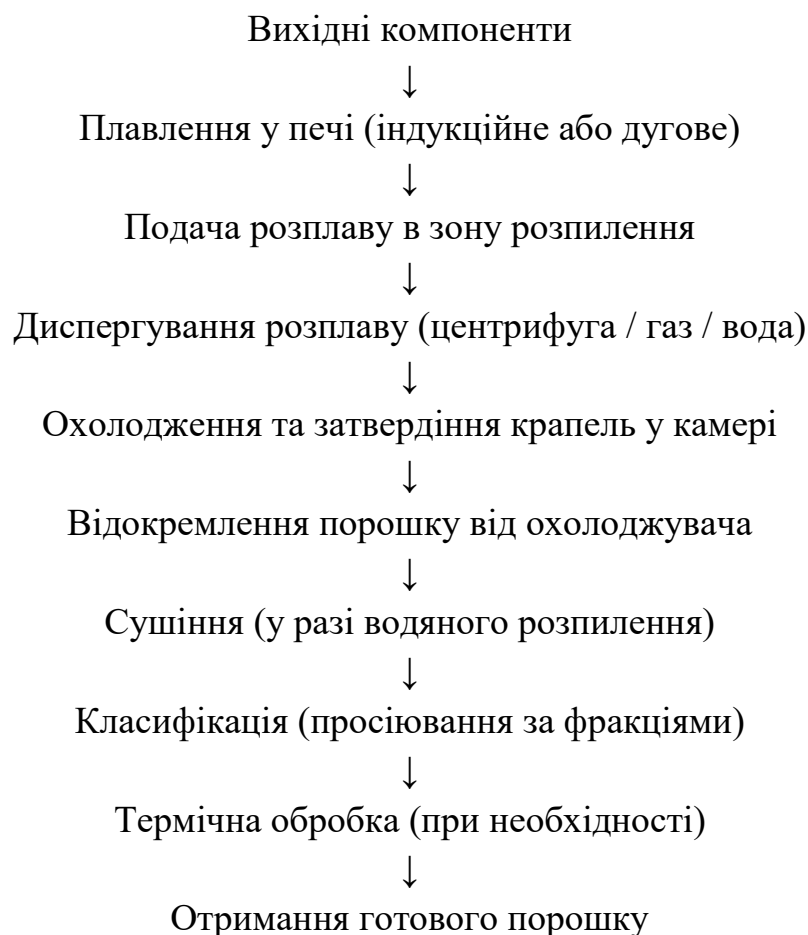


Рисунок 1.1 – Технологічна схема отримання порошків самофлюсівних сплавів методом диспергування розплавів

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Одним з ефективних методів отримання порошків самофлюсівних сплавів є розпилення на центрифугі. Цей спосіб базується на принципі перетворення розплавленого металу в порошкову форму шляхом дії відцентрової сили [1], [3]. Його активно використовують у порошковій металургії для виготовлення сферичних частинок із високими технологічними властивостями. Суть процесу полягає в тому, що розплав металу або сплаву подається на швидко обертовий диск або чашу. Під дією відцентрової сили розплав розбризкується з периферії обертової поверхні, утворюючи дрібні краплі, які тверднуть у польоті або після контакту з охолоджуючим середовищем. Як охолоджувач зазвичай використовують газ (інертний або активний) або воду.

Метод дозволяє отримувати сферичні або близькі до сферичних частинки із розміром від кількох до сотень мікронів, що є важливою перевагою при подальшому застосуванні порошків у наплавленні, термічному напиленні та інших технологіях. Сферична форма забезпечує добру текучість, рівномірне нанесення і щільне пакування частинок у процесі використання. Технологічна схема процесу отримання порошків відцентровим розпилюванням показана на рисунку 1.2 .

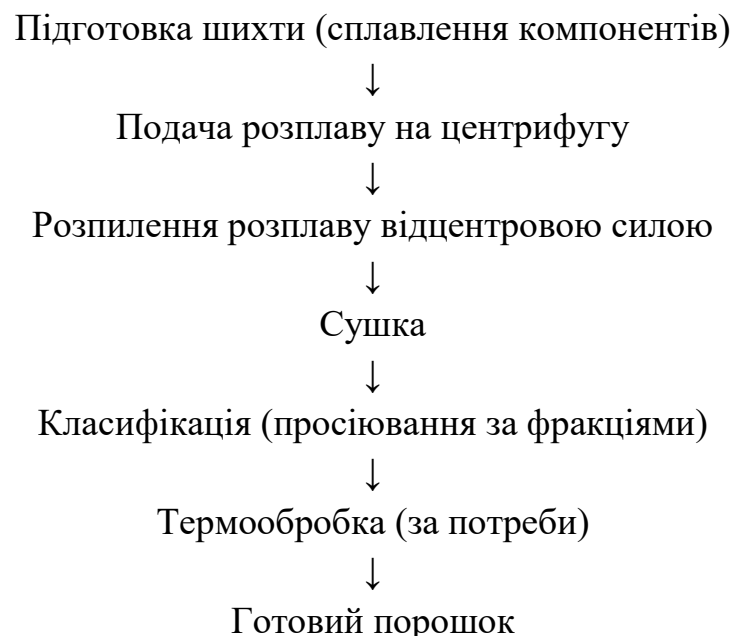


Рисунок 1.2 – Технологічна схема процесу отримання порошків відцентровим розпилюванням

Термообробка (за необхідності) у контексті виробництва порошків самофлюсівних сплавів означає, що цей етап застосовується не завжди, а лише у випадках, коли це обґрунтовано технологічними чи експлуатаційними вимогами до порошку. Термообробка потрібна: для зняття внутрішніх напружень (після швидкого охолодження під час розпилення частинки можуть мати внутрішні залишкові напруження, які знижують стабільність порошку при зберіганні чи використанні); для гомогенізації структури (за швидкого затвердіння утворюються нерівномірності у складі. Термообробка вирівнює мікроструктуру та забезпечує стабільні властивості порошку); для поліпшення спікання або наплавлення (деякі сплави після відпалу краще спікаються або демонструють кращу плинність у процесах наплавлення); для зниження крихкості (в окремих випадках порошки можуть бути крихкими одразу після розпилення. Термообробка дозволяє стабілізувати кристалічну решітку); для декомпозиції або видалення летких фаз (якщо в складі присутні леткі компоненти або залишки охолоджувального середовища (наприклад, вода чи технологічний газ), відпал може їх видалити).

Коли термообробка не потрібна: якщо порошок і так має стабільну структуру, добру плинність, відсутність залишкових напружень або призначений для негайного використання (наприклад, для термічного напилення); під час виробництва порошків із термочутливих сплавів, де додаткове нагрівання може призвести до небажаних фазових змін.

Методи отримання порошків шляхом диспергування розплаву газовим, рідинним або механічним руйнуванням [1], [13]–[16] один з ефективними методами, які має багато переваг: високу продуктивність, простоту автоматизації та відносно висока економічна ефективність. Особливо ефективні вони для отримання порошків з багатокомпонентних сплавів, бо дає можливість рівномірно розподілити всі компоненти в кожній частинці.

Суть методу в тому, що струмінь рідкого металу розбивається на дрібні краплі під дією потоку газу або рідини. Замість газу чи води іноді використовують ультразвук, лазер, електроімпульси чи інші джерела енергії.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш часто застосовують форсуночне розпилення [1], [13]. Для цього металеву шихту або скрап розплавляють в індукційній печі, перегрівають, щоб він був більш рідкий, і направляють у розпилювальну камеру. Чим тонший струмінь, тим дрібніші частинки порошку. Але струмінь не має бути занадто холодним — інакше канал заб'ється.

Розпилення проводять або газом (повітря, азот, аргон), або водою. Якщо застосовується вода, іноді додають спеціальні добавки, які захищають порошок від окиснення під час сушки.

Тип розпилювальної камери визначає подальшу обробку порошку. У камерах сухого типу охолодження відбувається в газовому середовищі. Основними перевагами є відсутність потреби в сушінні та термічній обробці продукту. Проте такі камери мають великі розміри й потребують складної системи газоочистки та регенерації.

У камерах мокрого типу розпилення проводять у рідині (переважно у воді). Такі установки є компактнішими, з простішою системою очищення. Однак у цьому випадку виникає потреба у зневодненні порошку, його сушінні та часто – відпалі для зняття напружень.

Отже, метод диспергування розплаву є універсальним і дозволяє отримувати порошки з різними фізико-хімічними характеристиками залежно від вибору енергоносія, типу камери та параметрів процесу. Такий підхід дає змогу ефективно керувати структурою й властивостями порошкового матеріалу.

1.1.2 Висновки та постановка задачі проектування

З розглянутого вище можна зробити висновок про те, що серед матеріалів, які використовуються для нанесення покриттів, найбільш широке розповсюдження знаходять самофлюсівні сплави на основі нікелю та заліза, але найбільш доцільно використовувати самофлюсівні сплави на основі заліза. Для

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виготовлення таких сплавів такий дефіцитний елемент, як нікель використовується у менших кількостях і у вигляді відходів металургійного переділу або сплавів з залізом, а інші легуючі елементи (хром, бор, кремній, марганець) – у вигляді феросплавів, що спрощує їх введення у розплав. Тому в якості вихідної сировини вважаємо найбільш доцільним використання нікельвміщуючих руд заліза. У зв'язку з цим виникає проблема збагачення таких руд.

З метою одержання порошків для газотермічного напилення покриттів серед розглянутих методів одержання порошків сплавів найбільш доцільне використання методу розпилення розплавів. Останній має високу продуктивність, а головне, дозволяє одержувати порошки з властивостями, притаманними порошкам для нанесення покриттів. Перш за все це сферична форма частинок порошку, яка забезпечує його високу плинність. Серед методів одержання порошків сплавів розпиленням розплавів доцільне використання розпилення механічним диспергуванням розплавів.

Для підвищення економічної ефективності виробництва бажано як вихідну сировину використовувати її малої вартості. У нашому випадку як джерело легувальних елементів можна використовувати високолеговані руди та феросплави.

У зв'язку з вище викладеним вище на виробництві, що проектується, пропонується використання технологічного процесу, схема якого представлена на рисунку 1.3.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

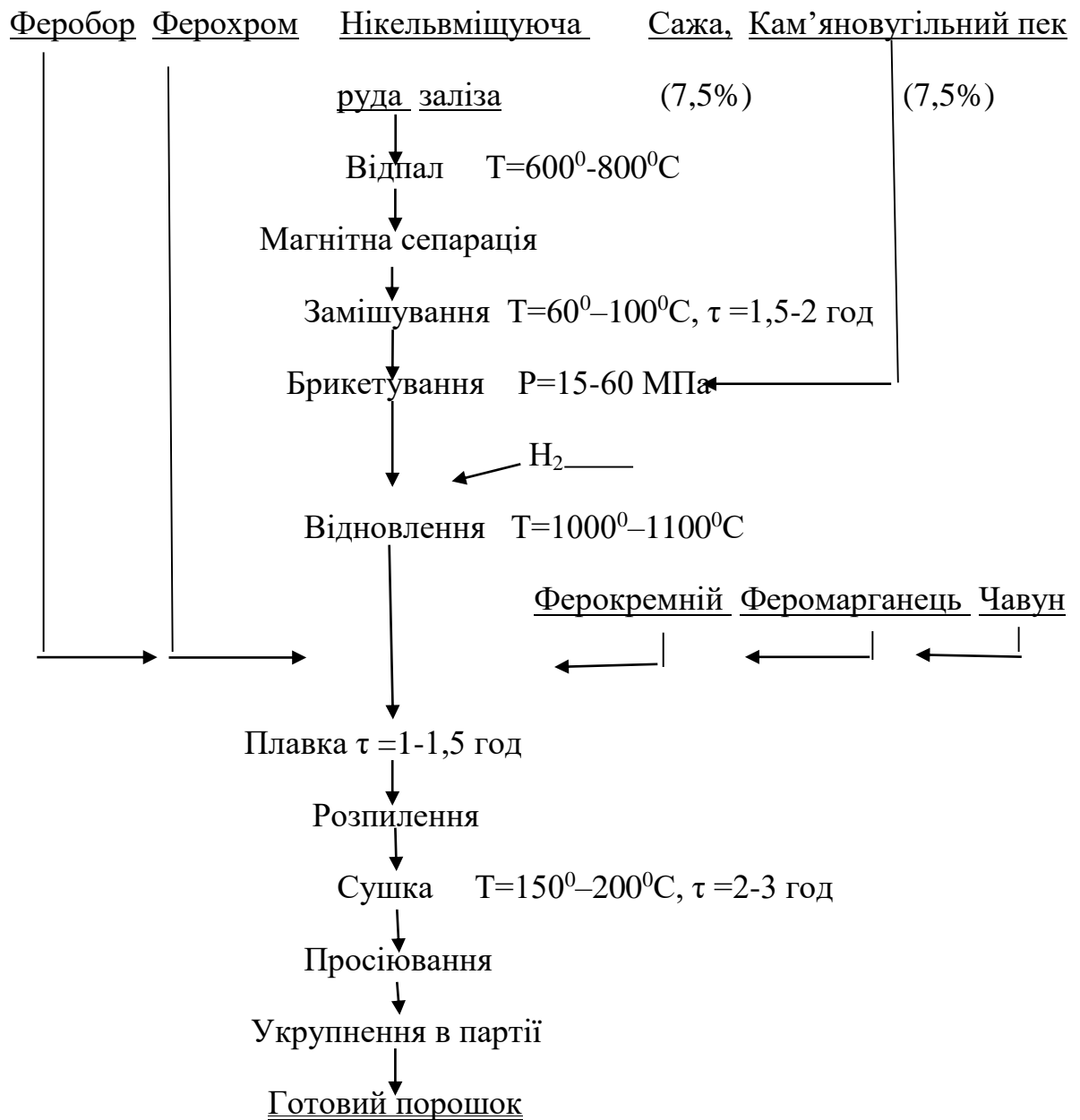


Рисунок 1.3 – Технологічна схема виготовлення самофлюсівних сплавів на основі заліза

1.2 Розробка технологічного процесу

1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції та технічних умов на неї

Як було зазначено вище, найбільш універсальними матеріалами, що використовуються для нанесення покриттів, являються самофлюсівні сплави, серед яких особливе місце посідають самофлюсівні сплави на основі нікелю. Однак із-за високої вартості і дефіцитності сировини, що використовується для їх виробництва, в останній час постає питання про створення самофлюсівних сплавів з подібними фізико-механічними властивостями, але з використанням менш дефіцитної сировини. Тому на виробництві, що проектується, будуть вироблятися порошки самофлюсівних сплавів на основі заліза, які не поступаються за своїми властивостями сплавам на основі нікелю, і мають слідуєчий хімічний склад: залізо (основа), нікель 10 %, бор 3 %, хром 8 %, кремній 2,5 %, вуглець 1,2 %, марганець 0,5 %.

Оскільки порошки для напилення повинні мати достатню текучість, у зв'язку з тим, що у зону напилення подаються гравітаційно і рідше транспортуючими засобами, то, як правило, їх розмір обмежують 50 – 200 мкм. Тому на виробництві, що проектується, будуть вироблятися порошки вказаного гранулометричного складу.

Для одержання порошків самофлюсівних сплавів на основі заліза вказаного вище складу в якості вихідних компонентів використовуються: никельвміщуюча руда, як джерело заліза та нікелю, причому з вмістом нікелю не менше 10 %; ферохром, як джерело хрому, з вмістом хрому 75 %; феробор, як джерело бору, з вмістом бору 75 %, феросиліцій, як джерело кремнію, з вмістом кремнію 75 %, феромарганець, як носій марганцю, з вмістом марганцю 75 %, чавун, як джерело вуглецю. В якості допоміжних матеріалів використовуються кам'яновугільний пек та сажа.

Технічні умови на сировину приведені у таблиці 1.1.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Технічні умови на сировину, напівфабрикати та готову продукцію

Найменування	Характеристика	Державний стандарт або технічні умови
Нікельвміщуюча руда	вміст нікелю у руді не менше 10 мас. %	
Ферохром	технічно чистий	ГОСТ 4757 – 91
Феробор	технічно чистий	ГОСТ 14848 – 69
Феросиліцій	технічно чистий	ГОСТ 1415 – 78
Феромарганець	технічно чистий	ГОСТ 4755 – 91
Чавун		СЧ
Сажа	вологість не більше 2,5%, зольність не більше 0,06%	ГОСТ 7875 – 87
Кам'яновугільний пек		ПК
Водень	технічно чистий	ГОСТ 3022 – 80
Порошок самофлюсівного сплаву	розмір частинок 50-200 мкм	ТУ

1.3 Опис технологічного процесу

Найбільш поширеними матеріалами, які використовуються для нанесення захисних покриттів, є самофлюсівні сплави, серед яких особливої уваги заслуговують сплави на нікелевій основі. Проте через високу вартість і обмежену доступність сировини, необхідної для їх виготовлення, дедалі актуальнішим стає питання розробки альтернативних сплавів із подібними фізико-механічними характеристиками, але на основі більш доступних елементів. У зв'язку з цим на проектуваному підприємстві передбачається виробництво самофлюсівних порошкових сплавів на залізній основі, які за своїми властивостями не поступаються нікелевим аналогам. Орієнтовний хімічний склад таких сплавів : залізо (основний компонент), нікель – 10 %, бор – 3 %, хром – 8 %, кремній – 2,5 %, вуглець – 1,2 %, марганець – 0,5 %.

						ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
							22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Оскільки порошкові матеріали для нанесення покриттів повинні володіти достатньою плинністю — адже подача до зони напилення зазвичай здійснюється під дією сили тяжіння або за допомогою транспортувальних систем, — їх фракційний склад, як правило, обмежується в межах 50–200 мкм. Саме порошки з такими розмірами частинок планується виготовляти у рамках цього виробництва.

Для виготовлення порошкових самофлюсівних сплавів на основі заліза зазначеного вище складу, як вихідні матеріали використовуються компоненти, що забезпечують наявність необхідних хімічних елементів. Зокрема, джерелом заліза та нікелю слугує руда, що містить нікель у концентрації не менше 10 %. Для введення хрому застосовується ферохром із вмістом хрому близько 75 %. Бор уводиться до складу за допомогою феробору з аналогічною концентрацією — 75 %. Кремній додається у вигляді феросиліцію, що також містить 75% відповідного елемента. Феромарганець, який містить 75 % марганцю, використовується для легування сплаву марганцем. Для насичення суміші вуглецем використовується чавун.

Крім основних компонентів, у процесі отримання залізозмісних самофлюсівних порошків застосовуються також допоміжні речовини — кам'яновугільний пек та технічна сажа, які сприяють стабілізації процесу та покращують якісні характеристики кінцевого продукту.

Відпал. З огляду на потребу в ефективному збагаченні значних обсягів залізних руд, що характеризуються слабкими магнітними властивостями (зокрема гематито-мартитові, бурі залізняка, сидерити), виникла необхідність у впровадженні нових підходів до їхньої переробки. Одним із таких методів є термічне оброблення руди з метою підвищення її магнітної сприйнятливості. Основна ідея полягає у перетворенні оксиду заліза (Fe_2O_3) у магнетит (Fe_3O_4) шляхом термічного відновлення, що забезпечує можливість подальшого ефективного збагачення за допомогою магнітної сепарації.

В залежності від газового середовища, у якій здійснюється процес, відпал поділяється на окислювальний та відновлювальний. В останньому випадку,

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який ще називають магнетизуючим відпалом, відбувається трансформація немагнітних або слабomagнітних сполук у форми з вираженими феромагнітними властивостями.

Магнетизуючий відпал зазвичай здійснюється за температур у межах 600–800 °С у середовищі газоподібного відновника, наприклад, водню або його аналогів. Для проведення даного процесу застосовується різноманітне термічне обладнання, зокрема трубчасті печі, шахтні установки, муфельні печі, реактори з киплячим шаром, а також обертові печі.

Після завершення відпалу та охолодження обробленої сировини отриманий продукт надходить на етап магнітного збагачення, де за рахунок змінених магнітних властивостей забезпечується ефективно вилучення цінного заліза.

Магнітна сепарація. Основна мета процесу збагачення – це підвищення концентрації основних компонентів у руді, з одночасним зменшенням вмісту порожніх порід та шкідливих домішок. Це досягається шляхом розділення рудних мінералів від небажаних складових. Всі методи збагачення базуються на різниці фізичних властивостей рудних мінералів і пустих порід, таких як розмір частинок, форма, щільність, магнітна проникність, змочуваність, електропровідність та інші.

Під час збагачення залізних руд одним із найбільш ефективних методів є магнітне збагачення, яке дозволяє досягти високих техніко-економічних показників, особливо при обробці магнетитових руд. Магнітне збагачення полягає в розділенні частинок руди за їх магнітними властивостями за допомогою магнітних сепараторів.

Процес відбувається наступним чином: руда потрапляє в магнітне поле, де магнітні частинки, під дією цього поля, притягуються до магнітних полюсів. Водночас, немагнітні частинки рухаються в іншому напрямку під дією інших сил, таких як гравітаційні, відцентрові або опір середовища. Це дозволяє відокремити магнітні частинки від немагнітних.

Хоча теоретично магнітне збагачення можна застосовувати до будь-яких рудних мінералів, на практиці воно найкраще працює для сильномагнітних мінералів, таких як магнетити та магеміти. Сильномагнітні руди збагачуються

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на сепараторах, де використовується слабке магнітне поле з напруженістю $(32-95) \cdot 10^3$ А/м, а слабомагнітні руди обробляються в полях з більш високою напруженістю $(143-1270) \times 10^3$ А/м. Напруженість магнітного поля регулюється силою струму, який подається до електромагнітів. Для слабомагнітних руд можуть також використовуватися постійні магніти.

Після проходження процесу збагачення немагнітні частинки відокремлюються та відправляються на відвал, а магнітна фракція направляється для подальшої обробки або замішування.

Замішування. Під час операції замішування, після того як руда пройде магнітне збагачення, до матеріалу додаються сажа та кам'яновугільний пек. Сажа виступає як відновник і допомагає розпушити масу під час брикетування, а пек, з одного боку, також слугує відновником, з іншого – виконує роль зв'язуючого компонента. Крім того, пек покращує теплопровідність суміші, що важливо для процесу.

Процес замішування здійснюється в шнекових змішувачах за температури 60–100 °С. Підвищена температура потрібна для того, щоб пек розм'якшився і став більш пластичним. Після того як компоненти ретельно змішуються, отримана маса, яка має консистенцію тіста, піддається подальшому етапу – брикетуванню.

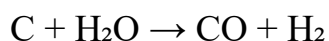
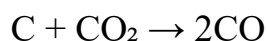
Брикетування. Коли суміш оксидів відновлюється у вигляді сипучої шихти, через зниження ефективності контакту між частинками процес відновлення йде повільніше. Кращі умови для цього процесу створюються, коли шихту спресовують у брикети. Це дозволяє значно покращити результат, оскільки сажа, яка додається до шихти, погіршує її теплопровідність. Внаслідок цього відновлення заліза та нікелю до металевого стану відбувається довше, тому брикетування дозволяє значно зменшити час, необхідний для прогріву шихти до температури відновлення.

Процес брикетування здійснюється за допомогою двохвалкового преса, де тиск на шихту варіюється від 15 МПа до 60 МПа.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відновлення. Процес відновлення у цьому випадку спрямований на збагачення руди за рахунок перетворення оксидів заліза та нікелю в металеву форму. Для цього в запропонованій технології використовують метод комбінованого відновлення, де одночасно застосовуються два типи відновників – твердий (сажа, кам'яновугільний пек) та газоподібний (водень, конвертований газ).

Механізм відновлення полягає в тому, що частинки вуглецю рівномірно розподіляються в порах брикетованої шихти, і утворені при процесі відновлення CO_2 та H_2O вступають у реакцію з вуглецем, що сприяє проходженню регенерації CO та H_2 , які знову продовжують процес відновлення:



Така взаємодія газів підвищує швидкість їх дифузії через шар відновлюваної шихти, що сприяє прискоренню процесу. Відновлення відбувається на межі твердої та газоподібної фаз, і його ефективність залежить від площі поверхні твердої фази, що контактує з газом. Ця площа залежить як від зовнішньої поверхні частинок, так і внутрішньої – поверхні пор. Останню можна збільшити за допомогою введення розпушувача, такого як сажа. Газифікація сажі не тільки підвищує пористість шихти, але й запобігає її спіканню, сприяючи покращенню внутрішньої дифузії газу–відновника [1].

Ступінь відновлення залежить від кількох факторів, зокрема від температури та тиску газу відновника, а також від розміру частинок вихідної сировини. Малий розмір частинок сприяє збільшенню контактної поверхні між оксидами і газом відновником, що прискорює процес відновлення. Але ж ахунок цього цьому погіршується газопроникність шихти, і процес дифузії газу відновника переходить у режим Кнудсенівської дифузії, що знижує ефективність відновлення [1].

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За результатами аналізу літератури [1], [4] , повне відновлення руди з різними розмірами частинок відбувається за температури 1000–1100 °С впродовж 60 хвилин. Тому оптимальним режимом відновлення можна вважати ці параметри.

Для здійснення процесу відновлення можна використовувати різні види печей, але найбільш підходящими є муфельні електропечі для відновлення залізної окалини або конвеєрні печі. В якості відновника можуть використовуватися водень або конвертований природний газ, при цьому витрати газу складають від 1,5 до 3 м³/год для кожної печі.

Продуктом відновлення є слабо спечена губка, яка надалі направляється на операцію плавки.

Плавка. Процес плавки має на меті отримання розплаву сплаву, що складається з елементів, характерних для самофлюсівних сплавів на основі заліза. Як зазначалося раніше, до складу такого сплаву входять: залізо (як основний компонент), нікель, хром, бор, кремній, вуглець і марганець. Як сировини для отримання цього сплаву використовуються відновлені руди, які є джерелами нікелю, тоді як інші легуючі елементи додаються у вигляді феросплавів, таких як феробір, ферохром, феросиліцій і феромарганець. Чавун слугує джерелом вуглецю.

Плавка здійснюється в індукційних печах, де для запобігання окисленню компонентів розплаву, а також для розкислення та зниження вмісту надлишкового кремнію, що надходить з рудою, додається спеціальний шлак. Процес плавки триває близько 1–1,5 години. Після цього готовий металевий розплав направляється на подальшу операцію розпилювання.

Розпилення. Основною метою процесу розпилення є отримання порошку самофлюсівних сплавів на основі заліза з необхідною дисперсністю, що забезпечує оптимальні фізичні характеристики, такі як текучість, об'ємна маса та інші. Важливим є також досягнення потрібної форми частинок, оскільки ці параметри суттєво впливають на подальше використання порошку.

Як зазначалося раніше, для таких порошоків розмір частинок повинен коливатися в межах від 50 мкм до 200 мкм, причому форма частинок бажано має

						ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
							27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

бути сферичною. Для досягнення цієї мети рекомендується застосовувати газове розпилення в установках з водяним охолодженням стінок, що дозволяє зменшити час охолодження частинок і забезпечити їх сферичну форму. Цей підхід також сприяє зменшенню розмірів камери розпилення.

До основних факторів, які впливають на дисперсність порошку, належать в'язкість і поверхневий натяг розплаву, температура та тиск газового потоку [1], [13]. В'язкість розплаву визначає ступінь подрібнення металу на краплі і частинки, а також їх подальше дроблення. Зниження в'язкості підвищує ефективність утворення дрібніших часток. В'язкість металевого розплаву знижується зі збільшенням температури, що сприяє кращому подрібненню в процесі розпилення.

Поверхневий натяг впливає на форму частинок і ступінь їх подрібнення. Вищий поверхневий натяг зазвичай веде до утворення більш правильних за формою частинок, але його величина зменшується при підвищенні температури. Для забезпечення високої ефективності подрібнення необхідно підвищувати температуру розплаву та газу, що дозволяє зберігати оптимальні властивості в'язкості та поверхневого натягу на всіх етапах розпилення.

Згідно з технологічним процесом, температура розплаву повинна бути на 150 – 200 °С вищою за точку плавлення сплаву, що становить 1100 – 1150 °С. Отже, температура розплаву в цьому процесі повинна складати близько 1300 °С. Тиск газу під час розпилення має бути в межах 4 – 10 МПа. За збільшення тиску зменшується розмір частинок, і досягається критична швидкість, при якій процес розпилення переходить у "вибуховий" режим.

Рекомендується підтримувати тиск енергоносія на рівні 8 – 10 МПа. Споживання енергоносія складає 1 – 1,5 м³ на кожен кілограм розплаву. У якості енергоносія може бути використано повітря, оскільки самофлюсівні сплави на основі заліза мають високу стійкість до окислення.

Для підвищення економічної ефективності процесу отримання порошків можна використовувати механічне диспергування розплавів з використанням установок типу «Полет» [3], [13], [14]. В проекті для визначення оптимальних

						ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
							28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

параметрів отримання порошків сферичної форми були проведені теоретичні дослідження по впливу параметрів розпилювання (швидкість обертання полет, початкова температура розплаву) на формоутворення частинок порошків самофлюсівних сплавів.

Після цієї операції порошок надходить на операцію сушки.

Сушка. Процес сушки здійснюється для видалення залишкової вологи з порошкових матеріалів за температурив у межах 150–200 °С упродовж 1,5 – 2,0 год. Оскільки порошки самофлюсівних сплавів на основі заліза мають високу стійкість до окислення в атмосферних умовах за температур до 600 °С, їх можна ефективно сушити на відкритому повітрі за допомогою конвеєрних печей або спеціальних сушильних установок.

Просіювання. Процес просіювання спрямований на відділення потрібної фракції порошку. Для наплення використовуються порошки з розміром частинок від 50 до 200 мкм, тому основною метою цієї операції є виділення саме цієї фракції. Просіювання може здійснюватися за допомогою грохотів, вібраційних сит та інших відповідних пристроїв. Після завершення просіювання отримана фракція направляється на етап укрупнення, тоді як порошок з більшими частками повертається назад на операцію плавлення.

Укрупнення. Основною метою укрупнення є зменшення варіацій у гранулометричному та хімічному складі порошків, які були отримані в різних циклах розпилення, тобто досягнення стабільності їх якості. Цей процес можна виконувати в різноманітних типах змішувачів.

Технічний контроль. Технічний контроль здійснюється на кожному етапі технологічного процесу та включає перевірку якості матеріалів і правильності режимів роботи обладнання. Основні об'єкти контролю охоплюють:

- сировину, напівфабрикати, допоміжні матеріали та кінцеву продукцію;
- технологічні параметри – температура, тиск, тривалість виробничих циклів.

Плавка. На етапі плавки передбачена перевірка хімічного складу матеріалів один раз за зміну. У разі виявлення відхилень від заданого складу вживаються коригувальні заходи, зокрема коригується склад шихти.

						ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
							29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Розпилювання. Після завершення процесу розпилення проводиться перевірка таких параметрів, як гранулометричний та хімічний склад отриманого порошку, а також форма його частинок. Цей контроль здійснюється один раз на зміну.

Для визначення гранулометричного складу порошку використовується метод ситового аналізу. Для цього 100 г порошку просіюють через набір стандартних сит із різними розмірами отворів. Після просіювання зважують частину порошку, яка залишилася на кожному ситі, з точністю до 0,01 г. Загальна маса всіх фракцій повинна бути не менше 99 % від маси початкової проби. Вміст кожної окремої фракції визначають з точністю до 0,1 % за допомогою наступної формули :

$$X = \frac{G_{п}}{G} \cdot 100,$$

де $G_{п}$ – маса певної фракції порошку (г),

G – маса проби, що аналізується (г).

Для визначення форми частинок порошку використовуються оптичні або електронні мікроскопи. Для цього з проби матеріалу (приблизно 10 г) здійснюється квартування.

1.4 Розрахунок і складання балансу матеріалів

Для ефективного вирішення організаційних завдань на проєктованому виробництві, зокрема вибору та визначення кількості технологічного обладнання, а також оцінки техніко-економічних характеристик, важливим є проведення матеріального балансу. Це дозволяє розрахувати добову продуктивність цеху та визначити обсяг матеріалів, що надходять і виводяться з різних етапів технологічного процесу.

Розрахунки проводимо згідно вимог навчальних посібників [17]–[20]. Для обчислення добової продуктивності необхідно визначити фонд часу, протягом якого працює обладнання. Це вимагає врахування календарної кількості

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

днів у році, що відводяться на планово-попереджувальні ремонти. На існуючих лініях всі агрегати ремонтуються одночасно, і для оцінки простою враховується час, необхідний для ремонту найбільш складних одиниць обладнання. Якщо ремонт проводиться поетапно, то простої визначають як суму всіх етапів ремонту.

Час, необхідний для ремонту на неавтоматизованих виробничих лініях, обчислюється на основі графіка планово-попереджувальних ремонтів, який складається з урахуванням нормативних (таблиця 1.2).

Для отримання фактичного фонду часу роботи обладнання з календарної кількості днів віднімаються дні, відведені на планові ремонти та неробочі дні цеху.

Таблиця 1.2 – Графік планово-запобіжного ремонту обладнання

Обладнання	I квартал			II квартал			III квартал			IV квартал			Всього
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	
Піч відпалу						К $\frac{3-17}{30}$							24
Магнітний сепаратор		П $\frac{17}{7}$						П $\frac{12}{7}$					14
Змішувач					О $\frac{15}{4}$					П $\frac{11}{8}$			12
Прес	О $\frac{19}{4}$						П $\frac{12}{8}$						12
Піч відновлення						К $\frac{3-17}{30}$							24
Індукційна піч			П $\frac{5-10}{6}$								О $\frac{16}{2}$		8
Установка для розпилення	О $\frac{19}{2}$									П $\frac{9}{8}$			10
Сушило				О $\frac{11}{2}$								О $\frac{16}{2}$	4
Вібросито		О $\frac{12}{2}$						О $\frac{19}{2}$					4
Змішувач		О $\frac{12}{2}$						О $\frac{19}{2}$					4

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			Арк.
								31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Разом – $116/8=15$ днів.

О – огляд, П – поточний ремонт, К – капітальний ремонт.

Часовий баланс роботи цеху наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Баланс часу роботи цеху

	Елементи балансу	Кількість днів
1	Календарне число днів	365
2	Час на планово-попереджувальний ремонт	15
3	Загальнонаціональні свята	9
4	Вихідні дні	104
5	Неробочі дні цеху	128
6	Робочі дні цеху	237

Після визначення кількості робочих днів (n) виробництва розраховуємо добу продуктивність цеху А за формулою [17]–[19] :

$$A = \frac{G}{n},$$

де G – річна програма виробництва;

n – кількість робочих днів на рік

$$A = \frac{140000}{237} = 590,7 \text{ кг}$$

У ході обробки сировини для виробництва кінцевого продукту завжди виникають втрати матеріалів (рис. 1.4). Тому для правильної оцінки добової продуктивності необхідно врахувати ці втрати при розрахунку кількості вихідної сировини. Визначення кількості матеріалу, який має бути на перший день роботи, здійснюється через загальне вилучення (ϕ). Таким чином, кількість матеріалу, що потрібна для старту виробництва (A_0), можна обчислити за наступною формулою [17]–[19]:

$$A_0 = \frac{A}{\phi} \cdot 100.$$

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

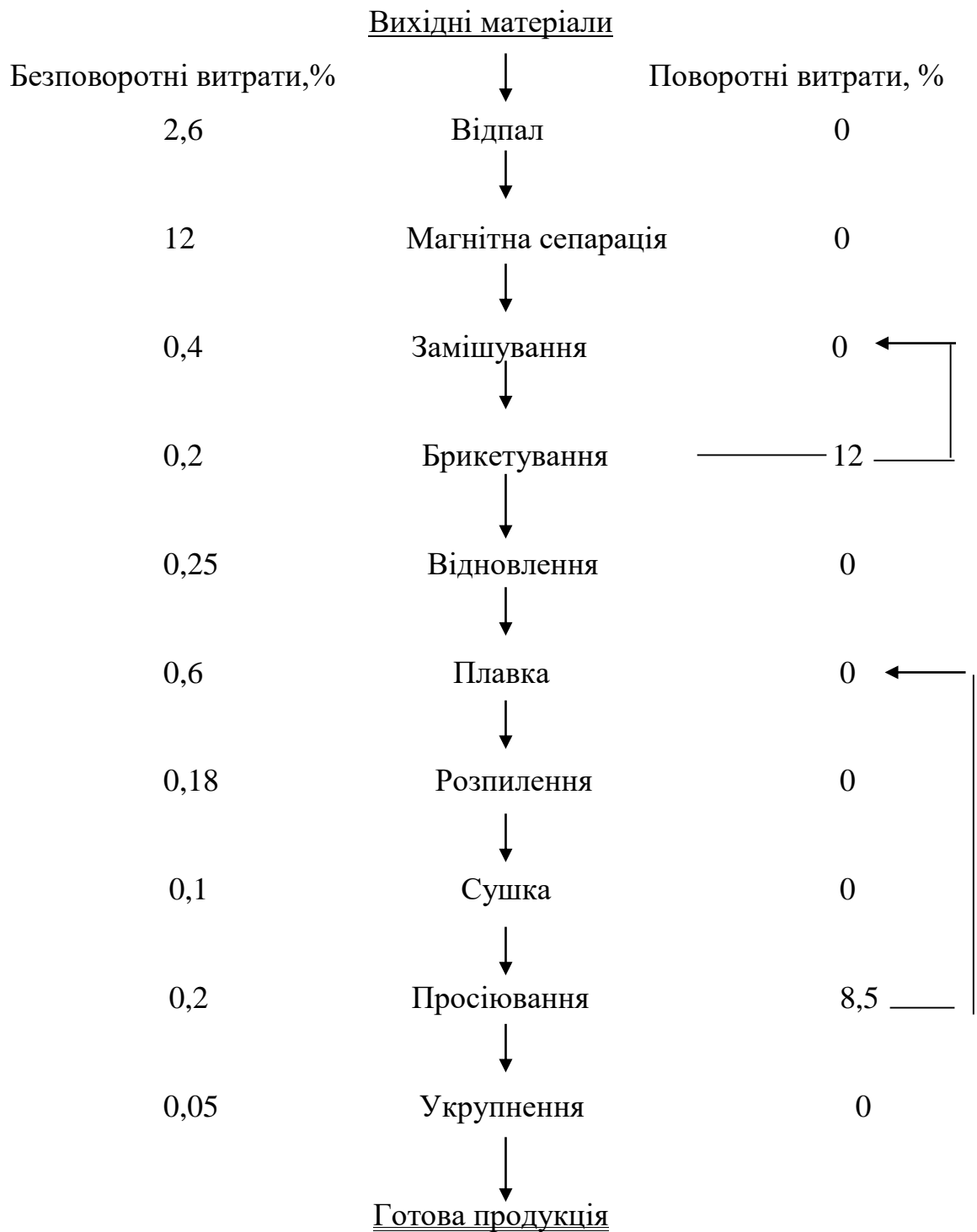


Рисунок 1.4 – Втрати, що виникають під час процесу виробництва порошкових самофлюсівних сплавів на основі заліза

Розрахунок прямого поопераційного вилучення. Щоб визначити пряме поопераційне вилучення (η), від загального обсягу виробництва за добу (100%) необхідно відняти суму всіх втрат, які складаються з поворотних (а) та безповоротних (б) втрат. Формула для розрахунку представлена нижче [17]–[19].

$$\eta = 100 - (a + b), \%$$

на першій операції	$\eta_1 = 100 - 2,6 = 97,4\%$
на другій операції	$\eta_2 = 100 - 12 = 88\%$
на третій операції	$\eta_3 = 100 - 0,4 = 99,6\%$
на четвертій операції	$\eta_4 = 100 - (0,2 + 1,2) = 98,6\%$
на п'ятій операції	$\eta_5 = 100 - 0,25 = 99,75\%$
на шостій операції	$\eta_6 = 100 - 0,6 = 99,4\%$
на сьомій операції	$\eta_7 = 100 - 0,18 = 99,82\%$
на восьмій операції	$\eta_8 = 100 - 0,1 = 99,9\%$
на дев'ятій операції	$\eta_9 = 100 - (8,5 + 0,2) = 91,3\%$
на десятій операції	$\eta_{10} = 100 - 0,05 = 99,95\%$

Розрахунок загального вилучення на кожному етапі. Для визначення загального вилучення (φ_n) на кожному етапі переробки матеріалу використовуємо наступну формулу [17]–[19]:

$$\varphi_n = \frac{\varphi_{n-1} \cdot \eta_n}{100},$$

де φ_{n-1} – загальне вилучення на попередньому етапі;

φ_n – загальне вилучення на поточному етапі,

η_n – пряме поопераційне видобування.

Для першого етапу приймається значення φ_1 , яке дорівнює 97,4 %.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varphi_4 = \frac{85,37 \cdot 98,6}{100} = 84,17\%$$

$$\varphi_5 = \frac{84,17 \cdot 99,75}{100} = 83,96\%$$

$$\varphi_6 = \frac{83,96 \cdot 99,4}{100} = 83,46\%$$

$$\varphi_7 = \frac{83,46 \cdot 99,82}{100} = 83,31\%$$

$$\varphi_8 = \frac{83,31 \cdot 99,9}{100} = 83,23\%$$

$$\varphi_9 = \frac{83,23 \cdot 91,3}{100} = 75,99\%$$

$$\varphi_{10} = \frac{75,99 \cdot 99,95}{100} = 75,95\%$$

Розрахунок поворотних та безповоротних втрат. Для визначення втрат на кожному етапі процесу, відносно початкової сировини, використовуємо наступну формулу [17]–[19]:

$$\beta_n(\alpha_n) = b_n(a_n) \cdot \frac{\varphi_{n-1}}{100},$$

де $\beta_n(\alpha_n)$ – відповідно безповоротні та поворотні втрати у відсотковому співвідношенні до початкового матеріалу;

$b_n(a_n)$ – безповоротні та поворотні втрати в процентному вираженні;

φ_n – загальне вилучення

на першій операції

поворотні $\alpha_1 = a_1 = 0\%$

безповоротні $\beta_1 = b_1 = 2,6\%$

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на другій операції

поворотні $\alpha_2=0\%$ безповоротні $\beta_2=12 \times 97,4/100=11,688\%$

на третій операції

поворотні $\alpha_3=0\%$ безповоротні $\beta_3=0,4 \times 85,71/100=0,343\%$

на четвертій операції

поворотні $\alpha_4=1,2 \times 85,37/100=1,024\%$

безповоротні $\beta_4=0,2 \times 85,37/100=0,171\%$

на п'ятій операції

поворотні $\alpha_5=0\%$ безповоротні $\beta_5=0,25 \times 84,17/100=0,21\%$

на шостій операції

поворотні $\alpha_6=0\%$ безповоротні $\beta_6=0,6 \times 83,96/100=0,504\%$

на сьомій операції

поворотні $\alpha_7=0\%$ безповоротні $\beta_7=0,18 \times 83,46/100=0,15\%$

на восьмій операції

поворотні $\alpha_8=0\%$ безповоротні $\beta_8=0,1 \times 83,31/100=0,083\%$

на дев'ятій операції

поворотні $\alpha_9=8,5 \times 83,23/100=7,075\%$

безповоротні $\beta_9=0,2 \times 82,23/100=0,166\%$

на десятій операції

поворотні $\alpha_{10}=0\%$

безповоротні $\beta_{10}=0,05 \times 75,99/100=0,038\%$

Кількість сировини, що необхідна для початку виробничого процесу у перший день :

$$A_0 = \frac{590,7 \cdot 100}{75,95} = 777,75 \text{ кг}$$

Розрахунок абсолютних втрат. Абсолютні втрати на кожному етапі технологічного процесу визначаються за допомогою такої формули [17]–[19]:

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$g_n^b(g_n^a) = \frac{A_0 \alpha_n (\beta_n)}{100},$$

де $g_n^a(g_n^b)$ – це відповідно поворотні та безповоротні абсолютні втрати;

A_0 – обсяг сировини, необхідний для початку виробничого процесу в перший день;

$\alpha_n (\beta_n)$ – відповідно відсоткові величини поворотних і безповоротних втрат.

Втрати складають:

на першій операції

поворотні $g_1^a = 0$ кг безповоротні $g_1^b = 777,75 \times 2,6 / 100 = 20,22$ кг

на другій операції

поворотні $g_2^a = 0$ кг безповоротні $g_2^b = 777,75 \times 11,688 / 100 = 90,9$ кг

на третій операції

поворотні $g_3^a = 0$ кг безповоротні $g_3^b = 777,75 \times 0,343 / 100 = 2,67$ кг

на четвертій операції

поворотні $g_4^a = 777,75 \times 1,024 / 100 = 7,96$ кг

безповоротні $g_4^b = 7,75 \times 0,171 / 100 = 1,33$ кг

на п'ятій операції

поворотні $g_5^a = 0$ кг безповоротні $g_5^b = 777,75 \times 0,21 / 100 = 1,63$ кг

на шостій операції

поворотні $g_6^a = 0$ кг безповоротні $g_6^b = 777,75 \times 0,504 / 100 = 3,92$ кг

на сьомій операції

поворотні $g_7^a = 0$ кг безповоротні $g_7^b = 777,75 \times 0,15 / 100 = 1,17$ кг

на восьмій операції:

поворотні $g_8^a = 0$ кг безповоротні $g_8^b = 777,75 \times 0,083 / 100 = 0,65$ кг

на дев'ятій операції :

поворотні $g_9^a = 777,75 \times 7,075 / 100 = 55,03$ кг

безповоротні $g_9^b = 777,75 \times 0,166 / 100 = 1,29$

на десятій операції

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поворотні $g_{10}^a = 0$ кг безповоротні $g_{10}^b = 777,75 \times 0,038 / 100 = 0,3$ кг

Розрахунок кількості матеріалу, яка надходить на кожну операцію технологічного процесу. Визначання кількості матеріалів, яку потрібно вводити на початку кожного робочого дня, проводимо за формулою [17]–[19]:

$$B = A_0 - \Sigma g^a,$$

де A_0 – кількість сировини, яку необхідно подати в перший день;

Σg^a – сумарні поворотні втрати на всіх етапах.

$$B = 777,75 - (7,96 + 55,03) = 714,76 \text{ кг}$$

На першу операцію надходить:

$$714,76 + 0 = 714,76 \text{ кг}$$

Кількість матеріалу, який виходить з операції, визначається як сума поворотних і безповоротних втрат [17]–[19]:

$$714,76 - 20,22 = 694,54 \text{ кг}$$

На другу операцію надходить така кількість матеріалу:

$$694,54 + 0 = 694,54 \text{ кг}$$

З другої операції виходить: $694,54 - (0 + 90,9) = 603,64$ кг

На третю операцію згідно з технологічною схемою надходить 603,64 кг та поворотні втрати 7,96 кг з четвертої операції. Тому загальна кількість, яка поступає на данну операцію, складає:

$$603,64 + 7,96 = 611,6 \text{ кг}$$

З третьої операції виходить така кількість матеріалу :

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$611,6-2,67=608,93 \text{ кг}$$

На четверту операцію надходить 608,93 кг матеріалу, а виходить з операції:

$$608,93-(7,96+1,33) = 599,64 \text{ кг}$$

На п'яту операцію надходить 599,64 кг матеріалу, а виходить з операції:

$$599,64-(0+1,63) = 598,01 \text{ кг}$$

На шосту операцію надходить 598,01 кг матеріалу та зворотні втрати 55,03 кг з дев'ятої операції. Загальна кількість матеріалу, що надходить на данну операцію складає:

$$598,01+55,03=653,04 \text{ кг}$$

З шостої операції виходить:

$$653,04-(0+3,92) = 649,12 \text{ кг}$$

На сьому операцію надходить 649,12 кг матеріалу, а виходить така кількість матеріалу:

$$649,12 - 1,17 = 647,95 \text{ кг}$$

На восьму операцію надходить 647,95 кг матеріалу, а виходить з операції така кількість матеріалу:

$$647,95 - 0,65 = 647,3 \text{ кг}$$

На дев'яту операцію надходить 647,3 кг, а виходить з операції:

$$647,3 -(1,29+55,03) = 590,98 \text{ кг}$$

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На десяту операцію надходить 590,98 кг, а виходить з операції:

$$590,98 - (0 + 0,3) = 590,68 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків матеріального балансу на кожній операції, зводимо до таблиці 1.4. На основі цих розрахунків формуємо загальний баланс матеріалів, враховуючи, що частина нікелю та заліза надходить на етапи відпалу, магнітної сепарації та відновлення у вигляді залізної руди. Також здійснюється розрахунок необхідних кількостей ферохрому, феробору, феросиліцію, феромарганцю та чавуну, що використовуються на етапі плавки, щоб забезпечити необхідну кількість хрому, бору, кремнію, марганцю та вуглецю у кінцевому продукті. Крім того, на етапі змішування передбачається введення сажі у кількості 7,5-8 мас.%. Для формування брикетів у шихту додається зв'язувальний компонент, що становить 7,5 мас. %. Отримані результати заносяться до таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Матеріальний баланс за операціями по виробництву порошків самофлюсуючих сплавів на основі залі

Найменування операції	Поопераційні втрати			Пряме поопераційне вилучення, %	Загальне вилучення, %	Втрати по відношенню до введеного в процес матеріа-		Абсолютні втрати		Кількість матеріалу, що поступає на операцію, кг			Кількість матеріалу, що виходить з операції, кг
	поворотні	безповоротні	загальні			поворотні	безповоротні	поворотні	безповоротні	з попередньої операції	поворотні втрати	всього	
Відпал	0	2,6	2,6	97,4	97,4	0	2,6	0	20,22	777,76	0	777,76	694,54
Магнітна сепарація	0	12	12	88	85,71	0	11,688	0	90,9	694,54	0	694,54	603,64
Змішування	0	0,4	0,4	99,6	85,37	0	0,343	0	2,67	603,64	7,96	611,6	608,93
Брикетування	1,2	0,2	1,4	98,6	84,17	1,024	0,171	7,96	1,33	608,93	-	608,93	599,64
Відновлення	0	0,25	0,25	99,75	83,96	0	0,21	0	1,63	599,64	-	599,64	598,01
Плавка	0	0,6	0,6	99,4	83,46	0	0,504	0	3,92	598,01	55,03	653,04	649,12
Розпилення	0	0,18	0,18	99,82	83,31	0	0,15	0	1,17	649,12	-	649,12	647,95
Сушка	0	0,1	0,1	99,9	83,23	0	0,083	0	0,65	647,95	-	647,95	647,3
Просіювання	8,5	0,2	8,7	91,3	75,99	7,075	0,166	55,03	1,29	647,3	-	647,3	590,98
Укрупнення в партії	0	0,05	0,05	99,95	75,95	0	0,038	0	0,3	590,98	-	590,98	590,68

Таблиця 1.5 – Баланс матеріалів

Найменування операції	Руда	FeCr	FeB	FeMn	FeSi	Чавун	Сажа	Пек	Всього
Відпал	795,03	–	–	–	–	–	–	–	795,03
Магнітна сепарація	774,36	–	–	–	–	–	–	–	774,36
Замішування	681,44	–	–	–	–	–	60,12	60,12	801,69
Брикетування	678,72	–	–	–	–	–	59,88	59,88	798,49
Відновлення	669,21	–	–	–	–	–	59,05	59,05	787,31
Плавка	523,302	69,66	26,12	4,35	21,77	7,84	–	–	653,04
Розпилення	–	–	–	–	–	–	–	–	649,12
Сушка	–	–	–	–	–	–	–	–	647,95
Просіювання	–	–	–	–	–	–	–	–	647,3
Укрупнення в партії	–	–	–	–	–	–	–	–	590,98

1.5 Вибір і розрахунок кількості обладнання

Необхідну кількість обладнання для кожної операції визначаємо за формулою [17]–[18], [22]:

$$N_{\text{розр.}} = \frac{G}{p \cdot \tau},$$

де G – маса матеріалу, кг;

p – продуктивність агрегату, кг/год;

τ – число годин роботи за добу.

Як правило розрахункове $N_{\text{розр.}}$ дрібне число. Його необхідно привести до найближчого більшого цілого числа. Звичайно кількість обладнання яке вимагає складного обслуговування та ремонту приймають на одиницю більшу за розрахункове. На підставі одержаних даних розраховують коефіцієнт завантаження обладнання [17]:

$$K_{\text{розр.}} = \frac{N_{\text{розр.}}}{N_{\text{факт.}}} \quad (1.28)$$

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання для відпалу. Для цієї операції в даному проекті вибираємо обертову барабанну піч безперервної дії для відновлення оксидів з наступними характеристиками [3], [21], [22]:

Потужність – 25 кВт

Габаритні розміри – 4,45×1,25×3,1 м

Робоча температура – 900°C

Розміри робочого простору $D_{\text{вн}}=0,4$ м; $L=2,5$ м

Відновлювальне середовище – водень, конвертований природний газ

Продуктивність – для оксидів заліза на основі базових виробництв
40–50 кг/год

Вартість – 40000 грн

Необхідну кількість печей визначаємо за формулою:

$$N = \frac{G_1}{p \cdot \tau},$$

де G_1 – кількість матеріалу, що переробляється на операції відпалу за добу, кг;

p – продуктивність печі, кг/год;

τ – час роботи печі на добу, год.

Тоді:

$$N = \frac{795,03}{45 \cdot 24} = 0,74$$

Приймаємо одну піч з коефіцієнтом завантаження:

$$K_3 = \frac{0,74}{1} = 0,74$$

Обладнання для магнітної сепарації. Для цієї операції вибираємо сепаратор роторний з високоінтенсивним магнітним полем для сухого збагачення руд 1,2 ЕРС – 2 [21] :

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики сепаратора:

Потужність

електромагнітної системи – 23 кВт

двигунів – 10 кВт

Індукція – 1,2 Тл

Габаритні розміри – 4×5,2×3,1 м

Вартість – 62000 грн

Продуктивність – 0,6 – 1,2 т/год

Необхідну кількість сепараторів визначаємо за формулою:

$$n = \frac{G_2}{p \cdot \tau},$$

де G_2 – кількість матеріалу, що переробляється на операції магнітної сепарації за добу, кг;

p – продуктивність сепаратора, $q=600$ кг/год;

τ – час роботи сепаратора на добу, год.

$$\text{Тоді : } N = \frac{774,36}{600 \cdot 8} = 0,2$$

Приймаємо один сепаратор з коефіцієнтом завантаження :

$$K_3 = \frac{0,2}{1} = 0,2.$$

Обладнання для змішування. На цій операції проходить змішування збагаченої руди із сажею та кам'яновугільним пеком. Для кращого змішування пек повинен бути підігрітий до 60 – 80 °С. Тому на цій операції найбільш прийнятним агрегатом є шнековий змішувач з паровим обігрівом [21], [22].

У зв'язку з цим вибираємо для цієї операції шнековий змішувач з наступними характеристиками :

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність – 1,7 кВт

Об'єм робочого простору – 0,4 м³

Габаритні розміри – 2,3×1,15×1,35 м

Вартість – 4200 грн

Продуктивність – розрахункова

Необхідну кількість змішувачів визначаємо за формулою:

$$N = \frac{G_3}{p \cdot \tau},$$

де G_3 – кількість матеріалу, що переробляється на операції змішування за добу, кг;

p – продуктивність змішувача, кг/год;

τ – час роботи змішувача на добу, год.

Продуктивність змішувача визначаємо за формулою:

$$P_{3M} = \frac{G_3}{\tau_{3M}},$$

де G_{3M} – вага одного завантаження у змішувач, кг;

τ_{3M} – технологічний час змішування, год.

Вагу одного завантаження визначимо за формулою:

$$G_3 = V_{3M} \cdot \varphi \cdot \gamma_{нас},$$

де V_{3M} – робочий об'єм змішувача, м³;

φ – коефіцієнт заповнення змішувача ($\varphi = 0,45$);

$\gamma_{нас}$ – насипна щільність порошку ($\gamma_{нас} = 0,3 \gamma_{нас.сер}$), кг/м³.

Середню щільність матеріалу шихти визначаємо за формулою [3]:

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma_{\text{нас.сер}} = \frac{\gamma_{\text{руди}} \cdot \gamma_{\text{сажі}} \cdot \gamma_{\text{пека}} \cdot 100}{\gamma_{\text{руди}} \cdot \alpha_{\text{сажі}} \cdot \alpha_{\text{пека}} + \gamma_{\text{сажі}} \cdot \alpha_{\text{руди}} \cdot \alpha_{\text{пека}} + \gamma_{\text{пека}} \cdot \alpha_{\text{руди}} \cdot \alpha_{\text{сажі}}},$$

де $\gamma_{\text{руди}}$, $\gamma_{\text{сажі}}$, $\gamma_{\text{пека}}$ – щільність руди, сажі та кам'яновугільного пеку відповідно, г/см³;

$\alpha_{\text{руди}}$, $\alpha_{\text{сажі}}$, $\alpha_{\text{пеку}}$ – вміст в шихті руди, сажі та кам'яновугільного пеку відповідно 85, 7,5 та 7,5 мас. %.

$$\text{Тоді: } \gamma_{\text{нас.сер}} = \frac{4,9 \cdot 1,88 \cdot 1,02 \cdot 100}{4,9 \cdot 7,5 \cdot 7,5 + 1,88 \cdot 85 \cdot 7,5 + 1,02 \cdot 85 \cdot 7,5} = 3,49 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Тоді: } G_3 = 0,4 \cdot 0,45 \cdot 0,3 \cdot 3490 = 188,46 \text{ кг}$$

$$P_{\text{зм}} = \frac{188,46}{2} = 94,23 \text{ кг/год}$$

$$\text{Необхідна кількість змішувачів буде: } N = \frac{801,69}{94,23 \cdot 8} = 1,06$$

$$\text{Приймаємо 2 змішувачі з коефіцієнтом завантаження: } K_3 = \frac{1,06}{2} = 0,53$$

Обладнання для брикетування. На цій операції відбувається надання тістоподібній шихті технологічності і певної щільності необхідних для подальшого її відновлення. Передбачається пресування брикетів яйцевидної форми певного об'єму (70 – 100 см³) і ваги 80 – 120 г. Ущільнення відбувається за тиску 60 – 100 МПа.

У зв'язк з тим, що до брикетів не ставляться прпецезійні вимоги щодо розмірів і ваги доцільно для цієї операції використовувати високородуктивні двовалкові преса [21], [22].

Вибираємо двовалковий прес з наступними характеристиками:

Потужність – 3,5 кВт

Габаритні розміри – 1,2×1,8 м

Вартість – 5500 грн

Продуктивність – розрахункова

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідну кількість пресів визначаємо за формулою :

$$N = \frac{G_4}{p \cdot \tau},$$

де G_4 – кількість матеріалу, що переробляється на операції брикетування на добу, кг;

p – продуктивність преса, кг/год;

τ – час роботи пресу на добу.

Продуктивність пресу q (т/год) визначаємо за формулою:

$$P_n = 0,0006 \cdot G_6 \cdot B \cdot n,$$

де G_6 – маса брикету, г;

B – число елементів на одному бандажі ($B = 20$);

n – частота обертання валків, s^{-1} (0,5).

Визначаємо Масу одного брикету визначаємо за формулою:

$$G_6 = \gamma \cdot V,$$

де V – об'єм брикету, cm^3 ;

γ – щільність матеріалу шихти, g/cm^3 .

Тоді:

$$G_6 = 3,49 \cdot 7 = 24,43 \text{ г, а}$$

$$P_n = 0,0006 \cdot 24,43 \cdot 20 \cdot 0,5 = 0,147 \text{ т/год}$$

$$N = \frac{798,49}{147 \cdot 8} = 0,68$$

Приймаємо один прес з коефіцієнтом завантаження: $K_3 = \frac{0,68}{1} = 0,68$

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання для відновлення. Для відновлення злізонікелевого оксиду вибираємо муфельну електропіч для відновлення залізної окалини ЦНДІЧМ – 7 [21], [22] .

Характеристики печі:

Потужність – 93 кВт

Габаритні розміри – 5,8×1,15×2,6 м

Вартість – 25000 грн

Продуктивність – 30–40 кг/год на підставі базових виробництв

Необхідну кількість печей визначаємо за формулою:

$$N = \frac{G_5}{p \cdot \tau},$$

де G_5 – кількість матеріалу, що переробляється на операції відпалу за добу, кг;

p – продуктивність печі, кг/год;

τ – час роботи печі на добу, год.

Тоді:

$$N = \frac{787,31}{30 \cdot 24} = 1,09$$

Приймаємо дві печі з коефіцієнтом завантаження: $K_3 = \frac{1,09}{2} = 0,55$

Обладнання для плавки. На цій операції відбувається отримання розплаву самофлюсівного сплаву з певними характеристиками для подальшого його розпилювання. У цьому відношенні найбільш придатними для отримання розплавів сплавів є індукційні печі.

Для цеху, що проектується, вибираємо індукційну піч з наступними характеристиками:

Потужність – 50 кВт

Габаритні розміри – 1,5×2,0×1,2 м

Вартість – 42000 грн

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуктивність – розрахункова

Необхідну кількість печей визначаємо за формулою:

$$N = \frac{G_6}{p \cdot \tau},$$

де G_6 – кількість матеріалу, що переробляється на операції на добу, кг;

p – продуктивність печі, кг/год;

τ – час роботи печі на добу, год.

Продуктивність печі визначаємо за формулою:

$$P_{п} = \frac{G_3}{\tau_m},$$

де G_3 – вага однієї заправки, кг;

τ_m – час виплавки, год.

Тоді:

$$P_{п} = \frac{60}{1,2} = 50 \text{ кг/год,}$$

а
$$N = \frac{653,04}{50 \cdot 16} = 0,82$$

Приймаємо одну піч з коефіцієнтом завантаження $K_3 = \frac{0,82}{1} = 0,82$

Обладнання для розпилювання. Оскільки при одержанні порошків самофлюсівного сплаву на основі заліза і подальшого їх застосуванням для нанесення покриттів форма частинок набуває важливого значення, тому в проєкті передбачається використання установки тиу «Полет», в якій можна створювати умови для отримання порошків з широким діапазоном властивостей [13]. Ефективність цієї установки також зумовлена відсутністю необхідності використання газових енергогосіїв.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Характеристики установки:

Продуктивність – розрахункова

Габаритні розміри – 2,20×1,20×1,67 м

Потужність – 100 кВт

Вартість – 18000 грн

Необхідну кількість установок розпилення визначаємо за формулою:

$$n = \frac{G_2}{p \cdot \tau},$$

де G_2 – кількість матеріалу, що переробляється на операції розпилення за добу, кг;

p – продуктивність установки розпилення, кг/год;

τ – час роботи установки розпилення на добу, год.

Оскільки процес виплавки самофлюсівного сплаву у данному технологічному процесі є лімітуючою стадією, то продуктивність установки розпилення буде визначатися продуктивністю індукційної печі. Отже, продуктивність установки розпилення буде складати також 50 кг/год.

Тоді:

$$N = \frac{362,37}{50 \cdot 16} = 0,45$$

Приймаємо одну установку розпилення з коефіцієнтом завантаження :

$$K_z = \frac{0,45}{1} = 0,45$$

Обладнання для сушки. Для видалення залишкової вологи з порошків, одержаних розпиленням розплавів, використовують різноманітні сушильні шафи, печі.

Оскільки в нашому випадку одержуваний порошок має незначну кількість надлишкової вологи, то найбільш прийнятною для сушки є сушильна шафа.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

У зв'язку з цим вибираємо сушильну шафу ІЕП-282 з наступними характеристиками:

Потужність – 2,5 кВт

Габаритні розміри – 1,0×1,2×1,8 м

Розміри робочого простору (полки) – 0,7×0,72×0,15 м

Робоча температура – 180⁰С

Вартість – 3500 грн

Продуктивність – розрахункова

Необхідну кількість сушильних шаф визначаємо за формулою:

$$n = \frac{G_8}{p \cdot \tau},$$

де G_8 – кількість матеріалу, що переробляється на операції сушки за добу, кг;

Продуктивність сушильної шафи визначаємо за формулою:

$$P_{ш} = \frac{G_{ш} \cdot n}{\tau_c},$$

де $G_{ш}$ – кількість матеріалу, завантаженого у піддон, кг;

n – кількість полок у сушильній шафі;

τ_c – тривалість процесу сушки, год.

Продуктивність сушильної шафи будемо визначати виходячи з розмірів її робочого простору. В шафі існують 4 полки на яких буде розміщуватись порошок піддонах з такими габаритними розмірами: 0,6×0,6×0,08 м.

Масу матеріалу, що завантажується у піддон, визначаємо за формулою:

$$G_{ш} = V_{п} \cdot K_3 \cdot \gamma_{нас},$$

де $V_{п}$ – об'єм піддона, м³;

K_3 – коефіцієнт заповнення піддона ($K_3=0,75$);

$\gamma_{нас}$ – насипна щільність порошку ($\gamma_{нас}=0,3 \gamma_{мат}$), кг/м³.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді: $G_{ш} = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,08 \cdot 0,75 \cdot 0,3 \cdot 8050 = 52,16$ кг

$$P_{ш} = \frac{52,16 \cdot 4}{3} = 69,55 \text{ кг/год,}$$

а $N = \frac{647,95}{69,55 \cdot 16} = 0,58$

Приймаємо одну сушильну шафу з коефіцієнтом завантаження:

$$K_3 = \frac{0,58}{1} = 0,58$$

Обладнання для просіювання. Для виділення з одержаного при розпиленні порошку необхідної фракції (менше 200 мкм) проводимо його просіювання. Для цього вибираємо вібраційне сито марки ВС-2 з наступними характеристиками [22], [22]:

Потужність – 0,7 кВт

Габаритні розміри – 1,2×0,75×1,2 м

Вартість – 1200 грн

Продуктивність – 130 кг/год

Необхідну кількість вібраційних сит визначаємо за формулою:

$$n = \frac{G_9}{p \cdot \tau},$$

де G_9 – кількість матеріалу, що переробляється на операції просіювання за добу, кг;

p – продуктивність вібраційного сита, кг/год;

τ – час роботи вібраційного сита на добу, год.

Тоді: $N = \frac{647,3}{130 \cdot 8} = 0,62$

Приймаємо одне вібраційне сито з коефіцієнтом завантаження:

$$K_3 = \frac{0,62}{1} = 0,62$$

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання для укрупнення в партії. Для укрупнення в партії (усереднення по хімічному та гранулометричному складу) партій порошків вибираємо барабанний двохконусний змішувач з наступними характеристиками [3], [22], [22] :

Потужність – 3,0 кВт

Габаритні розміри – 1,1×1,25×1,7 м

Об'єм робочого простору – 0,2 м³

Вартість – 1600 грн

Продуктивність – розрахункова

Необхідну кількість змішувачів визначаємо за формулою:

$$N = \frac{G_{10}}{p \cdot \tau},$$

де G_{10} – кількість матеріалу, що переробляється на операції за добу, кг;

p – продуктивність змішувача, кг/год;

τ – час роботи змішувача на добу, год.

Продуктивність змішувача визначаємо за формулою:

$$P_{зм} = \frac{G_3}{\tau_{зм}},$$

де $G_{зм}$ – вага одного завантаження у змішувач, кг;

$\tau_{зм}$ – технологічний час змішування, год.

Вагу одного завантаження визначимо за формулою:

$$G_3 = V_{зм} \cdot \varphi \cdot \gamma_{нас},$$

де $V_{зм}$ – робочий об'єм змішувача, м³;

φ – коефіцієнт заповнення змішувача ($\varphi = 0,45$);

$\gamma_{нас}$ – насипна щільність порошку ($\gamma_{нас} = 0,3 \gamma_k$), кг/м³;

γ_k – щільність самофлюсівного сплаву, $\gamma_k = 8050$ кг/м³.

Тоді: $G_3 = 0,2 \cdot 0,45 \cdot 0,3 \cdot 8050 = 217,35$ кг

$$P_{зм} = \frac{217,35}{1,5} = 144,9 \text{ кг/год}$$

Необхідна кількість змішувачів буде :

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$N = \frac{590,98}{144,9 \cdot 8} = 0,5$$

Приймаємо один змішувач з коефіцієнтом завантаження: $K_3 = \frac{0,5}{1} = 0,5$

Одержані дані заносимо до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зведена відомість обладнання цеху

Найменування операції	Найменування обладнання	Продуктивність, кг/год	Число годин роботи на добу	Добове завдання, кг	Прийнята кількість одиниць обладнання	Коефіцієнт завантаження	Встановлена потужність, кВт	Вартість, грн
Відпал	Барабанна піч відновлення	45	24	795,03	1	0,74	25	40000
Магнітна сепарація	Магнітний сепаратор 1.2 ЕРС – 2	600	8	774,36	1	0,2	33	62000
Замішування	Шнековий змішувач з паровим обігрівом	94,23	8	801,69	2	0,53	1,7	4200
Брикетування	Двохвальцевий прес	147	8	798,49	1	0,68	3,5	5500
Відновлення	Піч відновлення ЦНДІЧМ – 7	30	24	787,31	2	0,55	93	60000
Плавка	Індукційна піч ІСТ – 0,06	50	16	653,04	1	0,82	100	42000
Розпилення	Установка розпилення ІС НАН України	50	16	649,12	1	0,45	24	18000
Сушка	Сушильна шафа ІЕП – 282	52,16	16	647,95	1	0,58	2,5	3500
Просіювання	Сито вібраційне ВС – 2	130	8	647,3	1	0,62	0,7	2,4
Укрупнення в партії	Змішувач ЗВ – 0,2	144,9	8	590,98	1	0,5	3	2,6

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			Арк.
								53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Приміщенням цеху є стандартна будівля довжиною 30 м і шириною 18 м. Відстань між колонами стін складає 6 м, між якими знаходяться скляні пакети (вікна). Посередині цеху є наскрізний коридор шириною 3 м. План розміщення обладнання наведений на рисунку .

В цеху розміщені наступні приміщення :

Склад вихідної сировини.

В ньому у спеціальних ємностях зберігається місячний запас вихідної сировини – рули, феросплавів, вуглецю, камяноугільного пеку. Приміщення забезпечене для транспортування сировини електрокарами.

Відділення підготовки вихідної сировини.

Відділення забезпечене площею для розміщення технологічного обладнання (обертова піч для відпалу руди, змішувач, брикетувальний прес, піч відновлення (2 шт.). Приміщення відділення забезпечує безпечне пересування продукції за допомогою електрокар і обслуговування обладнання під час його поточного і капітального ремонтів.

Відділення розпилювання і обробки готової продукції.

Відділення має площу, яка забезпечує безпечне обслуговування індукційної печі і проведення технологічної операції для приготування розплаву самофлюсівного сплаву. Обслуговування і проведення технологічного процесу отримання порошків сплаву механічним диспергуванням розплаву на утановці типу «Полет».

Площа відділення забезпечує розміщення в ньому обладнання для сушіння отриманого після диспергування порошку, його прросіювання та укрупнення в партії.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Польова-Ма-			БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Степанчук					54	102
Реценз.						ФН-11 ІМЗ		
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..						
Затверд.		Богомол Ю. І.						

Відділення упаковки готової продукції і її складування.

У відділенні розміщені прилади та обладнання для дозування продукції та упаковки її вагою в 10 кг в пласмасові ємності . Розміщені стелажі для зберігання добової продукції.

Побутові приміщення.

У приміщенні розміщені кімнати для превдягання та проведення санітарно-шгігієнічних прлоцедур.

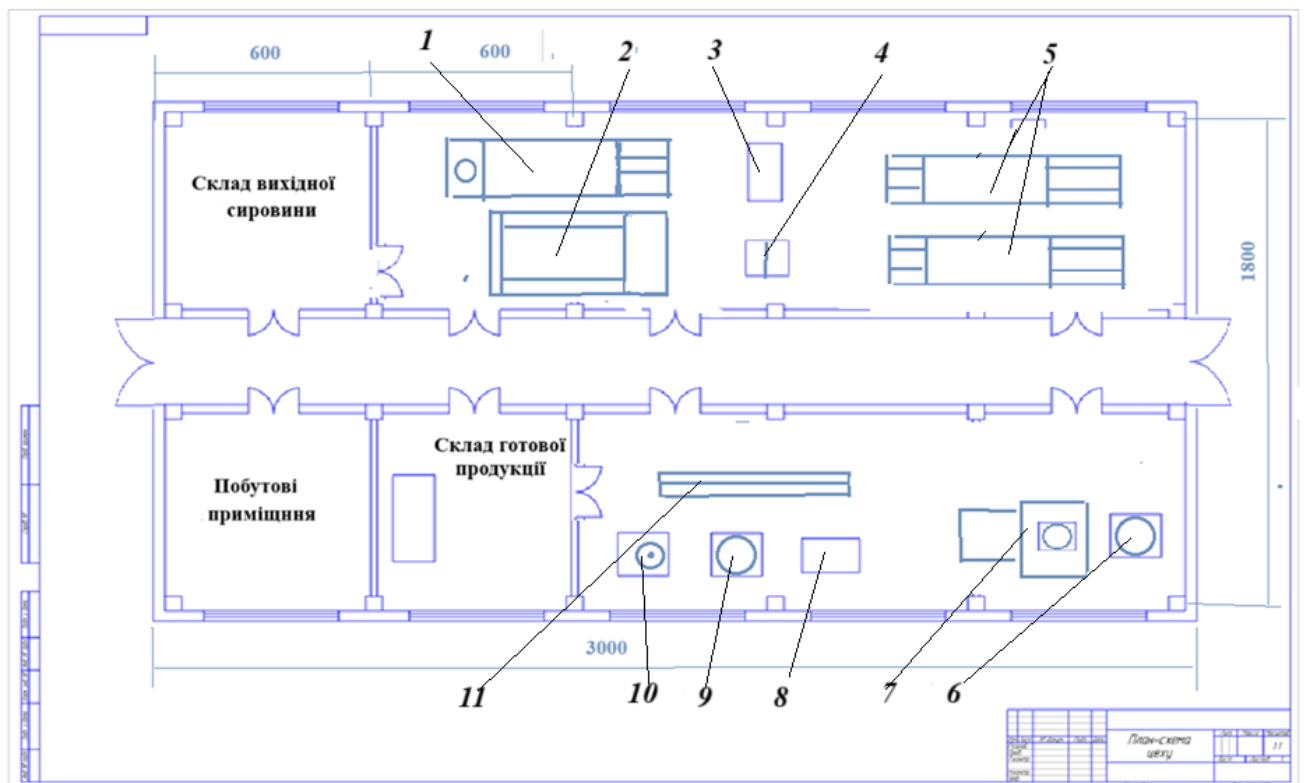


Рисунок 2.1 – План розміщення обладнання:

1 – піч відпалу; 2 – магнітний сепаратор; 3 – змішувач; 4 – прес для брикетування; 5 – піч відновлення; 6 – індукційна піч плавлення; 7 – установка для розпилювання; 8 – сушильна шафа; 9 – сито; 10 – змішувач; 11 – робочий стіл

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ФН11.8116.4203.003.01ПЗ

Арк.

55

В цеху приміщення розподілені таким чином, що не відбувалось перехрещення технологічних потоків і поворотних потоків напівпродуктів і готової продукції.

Комуніації (підведення води, електроенергії) розмішені у приямках вздовж стін цеху.

Передбачена вентиляція загальна і місцева біля кожного обладнання на ехнологічних операціях. Повітряпроводи оснащені уловлювачами і фільтрами для попередження попадання пилу (дрібної фракції порошоків) у навколишнє середовище.

Для монтажу і демонтажу обладнання передбачені редьсові підйомники.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Теоретичне дослідження процесу отримання порошків самофлюсівних сплавів механічним диспергуванням розплавів

Однією з вимог до порошків самофлюсівних сплавів для напилювання покриттів газотермічними методами є їх сферична форма, яка забезпечує їх високу текучість і, тим самим, їх рівномірну подачу в зону напилювання. Тому під час отримання порошків необхідно забезпечувати умови для отримання заданої форми.

Як відомо [3], [13], під час отримання порошків розпилюванням розплавів у совою отримання їх зі сферичною формою є співвідношенн часу охолодження продуктів диспергування до температури кристалізації ($\tau_{\text{охол}}$) та час сфероїдизації ($\tau_{\text{сф}}$). У свою чергу час охолодження складається з часу охолодження до температури початку кристалізації і часу кристалізації.

Згідно робіт [3], [13], коли час сфероїдизації $\tau_{\text{сф}}$ менший за час охолодження $\tau_{\text{охол}}$, то продукти диспергування встигають набути форми кулі.

Якщо ж $\tau_{\text{сф}}$ більший за $\tau_{\text{охол}}$, частинка розплаву зберігає деформовану форму, тобто частинки порошку будуть неправильної форми.

Час охолодження краплі розпливу, протягом якого можлива її сфероїдизація:

$$\tau_{\text{охол}} = \tau' + \tau'',$$

де τ' – час охолодження краплі рідини до температури початку кристалізації*

Час охолодження визначається за формулою [3], [13]:

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Польова-Ма-			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Степанчук				57	102
Реценз.					ФН-11 ІМЗ		
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ							

$$\tau' = \frac{c\gamma d}{6\alpha_k} \ln \frac{t_M - t_r}{t_k - t_r};$$

де t_M , t_k – відповідно початкова температура розплаву, температура початку кристалізації, °С;

t_r – температура навколишнього середовища;

c – теплоємність розплаву;

γ – густина розплаву;

d – у середній діаметр краплинок продуктів диспергування;

α_k – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією.

У свою чергу α_k згідно визначається за формулою Кутателадзе [3] :

:

$$\alpha_{\text{кон}} = \xi P^{0,4} q_H^{0,7},$$

де ξ – коефіцієнт характеру кипіння води (приймають 2,6);

P – тиск газового середовища, атм;

q_H – теплове навантаження.

Тиск газового середовища в роботі не вимірювався. Для його оцінювання в роботі пропонується застосувати формулу переходу від швидкості до тиску, яка дозволяє оцінити тиск струменя газу, в нашому випадку застосували формулу згідно [3]:

$$P = 0.5 \times \rho W^2$$

де ρ – густина газу парогазової суміші (993, кг/м³);

W – швидкість газу (у нашому випадку відносна, швидкість – лінійна швидкість Полети), м/с.

Значення теплового навантаження для випадку охолодження в середовищі парогазової суміші визначали формулою [3]:

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_H = 10^3 K \beta_B \sqrt{\sigma_B \gamma_{\Pi}^2 (\gamma_M - \gamma_{\Pi})}$$

де K – коефіцієнт для випадку пари = 0,16;

β_B – теплота пароутворення;

σ_B – поверхневий натяг води;

γ_{Π} – густина пару;

γ_M – густина розплаву.

Для розрахунків використовували літературні та розрахункові дані наведені в таблицях 2.3, 2.4. Інформація щодо величини теплоємності, густини розплаву сплаву практично відсутні. Тому для оцінювання параметрів розпилювання використовували їх значення розраховані за формулою адитивності (табл. 3.1).

Час кристалізації визначають за формулою :

$$\tau'' = \frac{Qm}{qS},$$

де Q – питома теплота кристалізації, Дж/кг;

q – питомий тепловий потік, Дж/(м² · с), $q = \alpha_K(t_K - t_r)$;

m – маса краплини;

S – поверхня краплини.

Згідно [3], [13] час сфероїдизації краплі оцінюється як час, необхідний для утворення кулі з пасма, що виникло в початковий момент диспергування під дією сил поверхневого натягу. В цих роботах наведено вираз для часу сфероїдизації початкового продукту диспергування у вигляді прядки (циліндра зі співвідношенням $L/D = 10$), виходячи з рівності сил внутрішнього тертя, що перешкоджають зміні форми розплаву, і сил поверхневого натягу. Він може бути визначений за формулою :

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час сфероїдизації розраховували для випадку охолодження у середовищі пару води за формулою :

$$\tau_{\text{сфер}} = \frac{3}{4} \frac{\pi^2 \eta_m \gamma_e}{V_k \sigma_m \gamma_{\text{пов}}} (R_k^4 - r_{\text{пр}}^4),$$

де η_m – вязкість розплаву;

γ_e – густина енергоносія (пару);

R, r – відповідно радіуси сфероїдизованої краплі розплаву і початкової прядки, м;

V_k – об'єм краплини, м³;

σ_p – поверхневий натяг розплаву ;

$\gamma_{\text{пов}}$ – густина повітря ;

Ефективна густина енергоносія, залежить від типу кипіння, в роботі [3] під час розпилування розплавів металів та сплавів було встановлено тип кипіння перехідний, між плівковим і бульбашковим, тому ефективна густина енергоносія складає 335 кг/м³

Як видно з формул на час охолодження краплинок і час їх сфероїдизації впливають тепло-фізичні характеристики розплавів (теплоємність, густина, коефіцієнт тепловіддачі) а також технологічні параметри процесу розпилування

В проєкті проводилось визначення часу охолодження та часу сфероїдизації крапель розплаву самофлюсівних сплавів на основі заліза з метою визначення оптимальних технологічних параметрів (швидкість обертання полет, початкова температура розплаву) для розпилення розплавів з метою отримання порошку самофлюсівного сплаву з заданими властивостями.

Визначався вплив температури розплаву, середнього розміру частинок продуктів диспергування , відносної швидкості частинок (числа обертів полет) .

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані для проведення розрахунків наведені в таблицях 3.1 – 3.3.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад самофлюсівних сплавів на основі заліза

Вміст, %						
Fe	Ni	Cr	B	Si	C	Ni
Основа	18	7,5	1,3	1,2	0,9	18

Таблиця 3.2 – Вихідні параметри для розрахунку часу охолодження продуктів диспергування розплавів

№ п/п	Назва параметру	Розмірність	Значення
1	Теплоємність розплаву	Дж/кг×К	664,9
2	Густина розплаву	кг/м ³	7820
3	Коефіцієнт теплопередачі	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	1183301,23
4	Початкова температура розплаву	°С	1200–1300
5	Температура (газу)	°С	25
6	Температура плавлення	°С	1180
7	Діаметр частинок розплаву	м	0,00005–0,0002

Результати розрахунку приведені в таблиці 3.3 .

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 3.3 – Час охолодження до температури кристалізації розплаву самофлюсівного сплаву на основі заліза з використанням у якості робочого газу повітря (Для початкової температури розплаву 1500 К)

Діаметр частинок, мкм	Швидкість газу, м/с	Швидкість частинки, м/с	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К)	Час охолодження, с
50	250	40	8693,93	0,00528
100			6147,54	0,01495
150			5019,44	0,02747
200			4346,97	0,04229
50	300	40	9673,71	0,00475
100			6840,35	0,01344
150			5585,12	0,02468
200			4836,14	0,03801
50	250	60	8269,58	0,00556
100			5847,47	0,01572
150			4774,44	0,02888
200			4134,79	0,04447
50	300	60	9294,20	0,00494
100			6571,99	0,01399
150			5366,01	0,02569
200			4647,10	0,03956
50	250	20	9098,51	0,00505
100			6433,62	0,01429
150			5253,03	0,02625
200			4549,26	0,04041
50	300	20	10038,89	0,00457
100			7098,56	0,01294
150			5795,95	0,02379
200			5019,44	0,03663

Час кристалізації визначали за формулою (3.1). Остання з врахуванням визначення величин, що входять до неї була перетворена нами у вигляд :

$$\tau_{кр} = \frac{\theta_{кр}\gamma_M R_{ч}}{3\alpha_k(T_{кр}-T_{\delta})}, \quad (3.1)$$

де $\theta_{кр}$ – теплота кристалізації;

γ_M – густина матеріалу;

$R_{ч}$ – радіус частинки;

α_k – коефіцієнт теплопередачі конвекцією;

$T_{кр}$ – температура початку кристалізації;

T_{δ} – температура газу

Вихідні параметри для розрахунку часу кристалізації наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку часу кристалізації

Параметр	Розмірність	Значення
Тплота кристалізації	Дж/кг	276400
Коефіцієнт теплоотдачі	Вт/(м ² град)	[3]
Температура початку кристалізації	К	1453
Температура дуття	К	298
Радіус частинок	м	0,000025–0,0001

Результати визначення часу кристалізації частинок розплаву самофлюючих сплавів на основі заліза у залежності від умов розпилення наведено в таблиці 3.5 .

Таблиця 3.5 – Час кристалізації розплаву самофлюсівного сплаву на основі заліза

Діаметр частинок, мкм	Швидкість газу, м/с	Швидкість частинки, м/с	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К)	Час кристалізації, с
50	250	40	8693,93	0,00184
100			6147,54	0,00521
150			5019,44	0,00958
200			4346,97	0,01475
50	300	40	9673,71	0,00165
100			6840,35	0,00468
150			5585,12	0,00861
200			4836,14	0,01325
50	250	60	8269,58	0,00194
100			5847,47	0,00388
150			4774,44	0,01007
200			4134,79	0,0155
50	300	60	9294,20	0,00172
100			6571,99	0,00487
150			5366,01	0,00896
200			4647,10	0,01379
50	250	20	9098,51	0,00176
100			6433,62	0,00498
150			5253,03	0,00915
200			4549,26	0,01409
50	300	20	10038,89	0,00159
100			7098,56	0,00451
150			5795,95	0,00829
200			5019,44	0,01277

Для визначення сумарного часу сфероїдизації використовували формулу [13] :

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{сф}} + \tau_{\text{д}} = \frac{3\pi\eta_p}{\sigma} (R - r) + 1,65 \frac{d}{V_r} \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_r} \right)^{0,5}$$

та вихідні дані, які наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вихідні параметри для визначення часу сфероїдизації

Параметр	Розмірність	Значення
Кінематична в'язкість, η_p	м ² /с	0,96·10 ⁻⁶
Поверхневий натяг	Н/м	1,3
Радіус прядки	мкм	0,000013(13% от R=Д/2)
Відносна швидкість газу	м/с	230–290
Щільність розплаву	кг/м ³	7374
Щільність газу	кг/м ³	1,26

Результати визначення часу сфероїдизації наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. – Час сфероїдизації продуктів диспергування розплаву самофлюсівного сплаву на основі заліза

Діаметр частинок, мкм	Радіус прядки, мкм	Відносна швидкість газу (лінійна швидкість полет), м/с	Час сфероїдизації x 10 ⁻⁵ , с
50	3,6	230	2,492
100	6,5		4,984
150	9,7		7,476
200	13		9,968
50	3,6	260	2,076
100	6,5		4,153
150	9,7		6,230
200	13		8,307
50	3,6	290	1,780
100	6,5		3,560
150	9,7		5,340
200	13		7,120

Отримані результати по визначенню часу охолодження частинок – продуктів диспергування розплавів, часу їх кристалізації та сфероїдизації показав, що час сфероїдизації на один чи два порядки менший за час охолодження частинок розплаву до температури кристалізації. Тому згідно з викладеними вище уявленням в розглянутих умовах диспергування розплавів самофлюсівних сплавів на основі заліза слід чекати утворення частинок сферичної або близької до неї форми.

Аналіз отриманих даних дозволив встановити оптимальні технологічні режими отримання порошків з самофлюсівних сплавів на основі заліза з сферичною або близької до гнпею формою і виходом фракції з середнім розміром частинок меншим за 200 мкм. більшим за 90 %. Це початкова температура розплаву більша за **1250 – 1300 °С**, швидкість обертів полет **2800 – 3000 об./хв.**

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Предметом аналізу є виробничий підрозділ, який спеціалізується на виготовленні самофлюсівних сплавів з основою на залізі. Хімічна композиція сплаву включає приблизно 10% нікелю, 8% хрому, 3% бору, 2,5% кремнію, 1,2% вуглецю та 0,5% марганцю. Річний обсяг виробництва становить 140 тонн.

Площа приміщення, в якому здійснюється виробничий процес, дорівнює 648 квадратним метрам, тоді як його внутрішній об'єм сягає 5443 кубічних метри. У штаті цеху працює 47 осіб, зайнятих у основних і допоміжних операціях, а загальна чисельність працівників за обліком складає 61 особу.

Розрахунок площі та об'єму на одного працівника свідчить про наступне: кожен співробітник має у своєму розпорядженні близько 10,6 м² площі та приблизно 89,2 м³ повітряного простору. Ці показники повністю відповідають діючим будівельним нормам, зокрема положенням, згідно з якими на одного працівника повинно припадати щонайменше 4,5 м² площі та 15 м³ об'єму приміщення [30, 31].

4.1 Аналіз параметрів мікроклімату

У проєктованому виробничому приміщенні здійснюються технологічні процеси, що відносяться до категорії фізичного навантаження **Пб**, що передбачає роботу середньої інтенсивності відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 [37]. Всі параметри мікроклімату в цеху мають бути забезпечені згідно з нормами, наведеними у таблиці 1.1 вказаного нормативного документа.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Польова-Ма-			СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Степанчук					67	102
<i>Реценз.</i>						ФН-11 ІМЗ		
<i>Н. Контр.</i>		Бірюкович Л.О..						
<i>Затверд.</i>		Богомол Ю. І.						

Таблиця 4 – Параметри мікроклімату цеху, що проектується

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості ПБ	17–21	40–60	0,1
Теплий	Середньої важкості ПБ	20–27	40–60	0,1–0,2

4.2 Аналіз освітлення

Відповідно до положень ДБН В.2.5-28:2006 «Природне і штучне освітлення», у проєктованому виробничому приміщенні визначено грубий характер зорової діяльності. Мінімальний розмір об'єкта, який необхідно розпізнати під час роботи, не перевищує 5 міліметрів, що класифікує зорове навантаження як **VI розряд**.

У конструкції цеху передбачається поєднання природного та штучного освітлення. Для організації доступу денного світла передбачено відповідні світлопроникні отвори (віконні або zenітні прорізи), що дозволяють досягти нормативного рівня природної освітленості робочих зон.

Штучне освітлення в цеху забезпечується за допомогою газорозрядних ламп, які складають 70% від загального освітлення, та ламп розжарювання, що займають решту 30%. Відповідно до вимог ДБН В.2.5.28-2006 [40], коефіцієнт природного освітлення має дорівнювати 1%, а рівень освітленості від штучного освітлення — 150 люкс.

У процесі виробництва порошків для самофлюсівних сплавів на основі заліза використовуються такі матеріали та технічне обладнання. Серед матеріалів: руда, що містить нікель, феробор, ферохром, ферокремній, феромарганець, чавун, сажа, кам'яновугільний пек, а також водень. Обладнання включає барабанні печі для відпалу руди, магнітні сепаратори, шнекові змішувачі

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для приготування порошкових сумішей, преси для пресування шихти, електричні печі для відновлення залізної окалини, індукційні печі та установки для розпилення, сушильні шафи для сушіння порошоків, вібраційні сита для просіювання порошоків, змішувачі для усереднення порошоків за хімічним і гранулометричним складом.

Застосовані матеріали та обладнання можуть бути джерелами виробничого травматизму та професійних захворювань. Під час обслуговування проєктованого цеху можуть виникати такі шкідливі й небезпечні фактори:

- підвищений рівень шуму та вібрації;
- високий рівень пилу;
- ризик ураження електричним струмом;
- вибухонебезпечність при використанні конвертованого газу

або водню в процесі відновлення.

4.3 Шум та вібрація

У проєктованому цеху спостерігаються різні типи шуму. Механічний шум виникає через рух окремих вузлів та деталей машин і установок, таких як змішувачі, вібраційне сито, установки для розпилення, прес. Аеродинамічний шум створюється через витікання стисненого повітря, газів і газоподібних середовищ з високою швидкістю (компресори та вентиляційні пристрої). Гідродинамічний шум утворюється в результаті процесів у рідинах (установка розпилення), а електромагнітний шум — через роботу електричних машин, апаратів та приладів, зокрема силових трансформаторів.

Тривалий вплив шуму на організм людини може призвести до розвитку патологічних змін у слуховому апараті, таких як його стомлюваність та професійне захворювання — туговухість. Крім того, високий рівень шуму може викликати механічні ушкодження органів слуху, зокрема розрив барабанної перепонки. Шум має також вплив на серцево-судинну систему, що може проявлятися у порушенні тону та ритму серцевих скорочень, зміні артеріального тиску. Він також негативно позначається на функціях шлунка, що може спричинити гастрит. Найбільш вразливою є нервова система.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Шумове навантаження погіршує точність виконання робочих операцій, утруднює сприймання та обробку інформації. Згідно з нормами ДСН 3.3.6.037-99, рівень шуму в проектованому цеху не повинен перевищувати 80 дБА [38, 39].

4.4 Аналіз загазованості та запиленості

У процесі роботи в цеху, зокрема в відділеннях приготування шихти, розпилення та просіву, у повітря робочої зони потрапляють технологічний та металевий пил. Присутність таких речовин, як феробору, ферохрому, ферокремнію, феромарганцю, сажі, кам'яновугільного пеку, може спричиняти різноманітні захворювання.

Залізнорудний пил може призвести до розвитку гіперплазії або атрофії слизових оболонок носа та шийних мигдалин. Максимально допустима концентрація залізнорудного пилу в повітрі не повинна перевищувати ГДК, що становить 4-6 мг/м³.

Сажа та кам'яновугільний пек можуть викликати захворювання дихальної системи, шлунково-кишкового тракту, серця, а також подразнення очей (кон'юнктивіт), шкіри (дерматити, алергічні реакції) та навіть онкологічні захворювання. Гранично допустимі концентрації для сажі та пеку складають 4 мг/м³ та 6 мг/м³ відповідно.

Присутність феробору, ферохрому, ферокремнію та феромарганцю може призвести до хронічних захворювань органів дихання (бронхіти, риніти), порушень функції шлунково-кишкового тракту, захворювань серцево-судинної системи, а також до розвитку професійних хвороб, таких як пневмоконіоз та металосилікоз.

Згідно з вимогами ДСН 3.3.6.042-99, система вентиляції в цеху та відділеннях повинна забезпечувати відповідні параметри мікроклімату (температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря), а також контролювати вміст шкідливих речовин у повітрі робочих зон, дотримуючись встановлених норм [48, 49].

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Місцева вентиляція реалізується через різноманітні системи, такі як витяжні парасольки, витяжні шафи, камери та інші спеціалізовані установки.

Візьмемо для прикладу розрахунок місцевої вентиляції над вібраційним ситом.

Для визначення габаритів витяжної вентиляції необхідно врахувати наступні параметри:

1. Висоту підвісу вентиляції приймаємо рівною 1,8 м від рівня підлоги.
2. Розміри вентиляції будемо визначати за допомогою відповідних розрахункових формул:

$$A = a + 0,8 \cdot h, \quad B = b + 0,8 \cdot h,$$

де a, b – сторони поверхні, що перекривається, м;

h – відстань від низу парасольки до поверхні, що перекривається, м;

$$h = 1,8 - 1,2 = 0,6 \text{ м}$$

- 3) кут розкриття парасольки приймаємо 60° ;
- 4) повну висоту парасольки $h_{\text{п}}$ визначаємо за формулою:

$$h_{\text{п}} = \frac{A - D_0}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} + h_6,$$

де D_0 – діаметр витяжної труби, м;

h_6 – висота бурта, м ($h_6 = 0,1$ м);

- 5) об'єм повітря, що видаляється витяжною трубою від парасольки, визначаємо за формулою: $L_0 = 3600 \cdot F \cdot v_0$,

де L_0 – об'єм повітря, що видаляється, м³/год;

F – площа перерізу отвору ковпака, м²;

v_0 – середня швидкість в розрахунковому перетині парасольки ($v_0 = 1,25$ м/с).

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді: $A = 1,2 + 0,8 \cdot 0,6 = 1,68$ м; $B = 0,75 + 0,8 \cdot 0,6 = 1,23$ м,

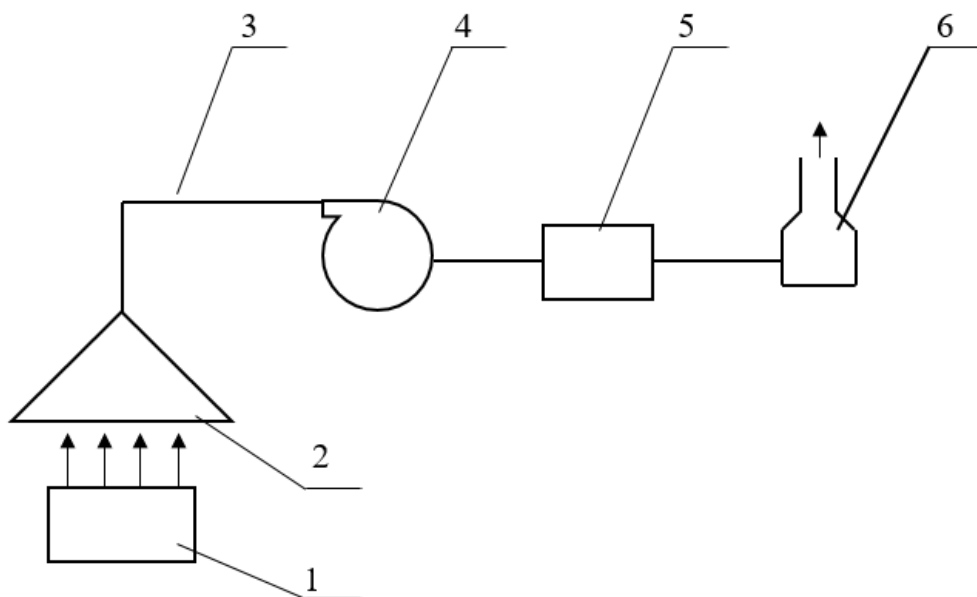
$$L_0 = 3600 \cdot 1,68 \cdot 1,23 \cdot 1,25 = 9298,8 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Після визначення необхідного обміну повітря для цеху вибираємо схему розташування повітропроводів та вентиляційного обладнання і проводимо аеродинамічний розрахунок системи вентиляції. Цей розрахунок включає визначення конструктивних розмірів повітропроводів та розрахунок витрат тиску.

В якості базових параметрів приймаємо швидкість повітря в повітропроводі $v = 11$ м/с. Згідно з номограмою, знаючи швидкість повітря в системі та обсяг повітря, що видаляється, розраховуємо діаметр повітропроводу D_0 .

Розрахований діаметр повітропроводу складає: $D_0 = 545$ мм = 0,545 м.

Загальна довжина повітропроводу становить $l = 12$ м.



1 – вібраційне сито; 2 – витяжна вентиляція; 3 – повітропровід;
4 – вентилятор; 5 – фільтр; 6 – прилад для викиду повітря

Рисунок 1 – Схема вентиляційної системи:

По методу питомих втрат, втрати тиску в повітропроводі визначаємо за формулою:

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$H = \sum (R_{\text{тр}} \cdot l + H_{\text{м}}),$$

де $R_{\text{тр}}$ – питомі втрати тиску на тертя кг/м^2 на один погонний метр довжини повітропроводу, кг/м^2 (Па);

l – довжина ділянки повітропроводу, м;

$H_{\text{м}}$ – втрати тиску на місцеві опори на ділянці, кг/м^2 (Па).

$$H_{\text{м}} = \sum \xi \cdot H_{\text{д}},$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору;

$H_{\text{д}}$ – динамічний тиск, кг/м^2 (Па).

При відомих витратах повітря та швидкості в повітропроводі за номограмою знаходимо $R_{\text{тр}}$ і $H_{\text{д}}$, які складають:

$$R_{\text{тр}}=0,21\text{кг/м}^2 = 2,1\text{Па}, \quad H_{\text{д}}=7,4\text{ кг/м}^2 = 74\text{Па}$$

Тоді: $H_{\text{тр}} = R_{\text{тр}} \cdot l = 0,21 \cdot 12 = 2,52 \text{ кг/м}^2 = 25,2 \text{ Па}$

Місцеві втрати тиску складаються з втрат тиску у витяжній парасольці – $\xi_{\text{п}}$, також втрат тиску при повороті повітропроводу на 90° – ξ_{90} . Тоді:

$$\xi_{\text{заг}} = \xi_{\text{п}} + \xi_{90},$$

Місцеві втрати тиску у витяжній парасольці визначаємо за формулою:

$$\xi_{\text{п}} = \frac{\lambda}{D_0} \cdot h_{\text{п}},$$

де λ – коефіцієнт опору тертя ($\lambda=0,04$);

D_0 – діаметр повітропроводу, м;

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

h_{Π} – висота парасольки, м.

$$h_{\Pi} = \frac{1,68 - 0,545}{2 \cdot \operatorname{tg}30^{\circ}} + 0,1 = 1,08 \text{ м}; \quad \xi_{\Pi} = \frac{0,04}{0,545} \cdot 1,08 = 0,08.$$

Місцеві втрати тиску при повороті на 90° складають:

$$\xi_{90} = 0,175 + 1,1 = 1,275$$

Загальні втрати складають: $\xi_{\text{заг}} = 1,275 + 0,08 = 1,355$;

$$H_{\text{М}} = 1,355 \cdot 7,4 = 10,03 \text{ кг/м}^2 = 100,3 \text{ Па};$$

$$H = 10,03 + 2,52 = 12,55 \text{ кг/м}^2 = 125,5 \text{ Па}.$$

Розраховуємо потужність вентилятора за формулою: $L_{\text{В}} = L_0 \cdot k$,

де k – коефіцієнт, що враховує витрати, $k=1,1$;

L_0 – розрахункова кількість повітря в системі, $\text{м}^3/\text{год}$.

$$L_{\text{В}} = 1,1 \cdot 9298,8 = 10228,68 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Вибираємо відцентровий вентилятор типу Ц4-70 №8. ККД вентилятора – $\eta_{\text{В}}=0,7$.

Необхідну потужність електродвигуна визначаємо за формулою:

$$N = \frac{L_{\text{В}} \cdot H_{\text{В}}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{В}} \cdot \eta_{\Pi}},$$

де $L_{\text{В}}$ – продуктивність вентилятора, $\text{м}^3/\text{год}$;

$H_{\text{В}}$ – повний тиск вентилятора, кг/м^2 ;

$\eta_{\text{В}}$ – ККД вентилятора;

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі ($\eta_{\text{п}}=0,85$).

$$N = \frac{10228,68 \cdot 12,25}{3600 \cdot 102 \cdot 0,7 \cdot 0,85} = 0,57 \text{ кВт.}$$

Усталену потужність електродвигуна вентилятора визначаємо за формулою:

$$N_{\text{уст}} = K \cdot N,$$

де K – коефіцієнт запасу ($K=1,3$).

$$N_{\text{уст}} = 1,3 \cdot 0,57 = 0,74 \text{ кВт.}$$

Згідно таблиці для вентилятора Ц 4-70 №8 підбираємо електродвигун типу А02-21-4 ($n=1410$ об/хв, $N_{\text{уст}}=1,1$ кВт) [36].

4.5 Електробезпека

Обладнання цеху працює на напрузі 380 В. Підлоги в приміщенні є залізобетонними і проводять струм. Потенційна небезпека ураження електричним струмом виникає в разі контакту з елементами установок, що знаходяться під напругою, або через пошкоджену ізоляцію. Ураження може статися також через неправильно налаштовані установки під час їх ремонту, а також у разі короткого замикання, коли на підлозі з'являється крокова напруга.

Електричний струм може спричинити місцеві ушкодження (опіки, електричні удари) та загальні порушення (ураження серцево-судинної системи, нервової системи, органів дихання), а в окремих випадках навіть призвести до летальних наслідків.

Згідно з ПУЕ-2017 [42], цех, що проектується, відноситься до II класу по ступеню небезпеки ураження електричним струмом, оскільки є можливість одночасного дотику людини до металевого корпусу обладнання з одного боку та металоконструкцій будівлі, з'єднаних із землею, з іншого боку.

Як було зазначено раніше, під час експлуатації цеху можуть виникати

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кілька шкідливих факторів: підвищений рівень шуму, вібрації, пилю, а також небезпека, пов'язана з рухомими частинами виробничого обладнання та електричною небезпекою [41 – 44].

Для ефективного вирішення питань охорони праці на підприємстві необхідно знизити кількість шкідливих викидів при виконанні операцій.

Щоб зменшити рівень шуму в приміщеннях цеху, передбачено використання як колективних, так і індивідуальних засобів захисту, а також акустичну обробку внутрішнього простору. Наприклад, агрегати, які генерують шум (змішувачі та ін.), будуть розміщені в спеціальних корпусах, внутрішні стінки яких оброблені звукопоглинальним матеріалом. Вентиляційні установки повинні бути оснащені прокладками з прогумованої тканини для зниження шумового навантаження. Акустична обробка стелі та верхньої частини стін передбачає використання звукопоглинальних матеріалів, а також можливе підвішування додаткових штучних поглиначів. Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018, для індивідуального захисту від шуму рекомендується використання спеціальних навушників.

Для зниження рівня вібрації всі вібраційні джерела (такі як двигуни, преси тощо) повинні бути встановлені на окремих фундаментах, ізольованих від фундаменту будівлі та інших конструкцій. Для зменшення концентрації пилю в робочих зонах потрібно герметизувати обладнання, що пилить, і використовувати спеціалізовані вентиляційні системи. Крім того, в проекті передбачено використання засобів індивідуального захисту, таких як респіратори (ШБ-1, «Пелюстка», «Астра»), пилонапроникний одяг і захисні окуляри.

Для запобігання травмування працівників у цеху передбачено установку огорожень на рухомі та обертові частини обладнання, а також автоматизацію процесу завантаження заготовок. Окрім цього, буде забезпечено вільний доступ до безпечних проходів та проїздів [33, 34].

4.6 Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007, проєктований цех належить до категорії Г за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Основними факторами, які можуть призвести до виникнення пожежі, є:

- коротке замикання електричних проводів;
- неналежна робота вентиляційних систем;
- порушення правил зберігання небезпечних матеріалів (сажа, кам'яновугільний пек, паливно-мастильні матеріали, водень).

Цех необхідно обладнати системою протипожежної сигналізації. Для гасіння пожеж планується використовувати вуглекислотні вогнегасники **ОУ-5**, а також хімічнопінні вогнегасники **ОХП-10**. Крім того, передбачена установка протипожежних щитів.

Також у цеху розроблена схема евакуації персоналу у разі виникнення пожежі. Усі працівники, які допущені до роботи в цеху, повинні пройти інструктаж з пожежної безпеки [45 – 47].

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Витрати електроенергії на технологічне обладнання визначаємо на підставі вибору і розрахунку кількості обладнання, його потужності та режиму роботи:

$$E = M \cdot \Phi_0 \cdot \eta \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5.1)$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год;

η – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи, приймається рівним: для електричних печей 0,6; для двигунів 0,3; для генераторів високочастотного нагріву 0,8;

K_2 – коефіцієнт використання потужності, дорівнює 0,7.

Барабанна піч: $E_1 = 25 \cdot 237 \cdot 8 \cdot 0,74 \cdot 0,6 \cdot 0,7 = 44195,76$ кВт-год

Магнітний сепаратор: $E_2 = 33 \cdot 237 \cdot 8 \cdot 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,7 = 2627,86$ кВт-год

Шнековий змішувач: $E_3 = 1,7 \cdot 237 \cdot 8 \cdot 0,3 \cdot 0,53 \cdot 0,7 \cdot 2 = 717,48$ кВт-год

Вальцевий прес: $E_4 = 3,5 \cdot 237 \cdot 8 \cdot 0,68 \cdot 0,3 \cdot 0,7 = 947,62$ кВт-год

Піч відновлення: $E_5 = 93 \cdot 237 \cdot 8 \cdot 0,55 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 2 = 244390,61$ кВт-год

Індукційна піч: $E_6 = 50 \cdot 237 \cdot 16 \cdot 0,82 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 87064,32$ кВт-год

Установка розпилення: $E_7 = 24 \cdot 237 \cdot 16 \cdot 0,45 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 22934,02$ кВт-год

Сушильна шафа: $E_8 = 2,5 \cdot 237 \cdot 16 \cdot 0,58 \cdot 0,6 \cdot 0,7 = 2309,33$ кВт-год

Вібраційне сито: $E_9 = 0,7 \cdot 8 \cdot 237 \cdot 0,62 \cdot 0,3 \cdot 0,7 = 172,8$ кВт-год

Барабанний змішувач: $E_{10} = 3 \cdot 8 \cdot 237 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,7 = 597,24$ кВт-год

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Польова-Ма-			ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Степанчук					78	102
<i>Реценз.</i>						ФН-11 ІМЗ		
<i>Н. Контр.</i>		Бірюкович Л.О..						
<i>Затверд.</i>		Богомол Ю. І.						

Результати визначення витрат електроенергії на технологічне обладнання зводимо у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Загальнорічні витрати електроенергії на технологічне обладнання

Найменування споживача струму	Кількість споживачів	Потужність, кВт	Фонд робочого часу на рік, год	Коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт одночасності роботи	Коефіцієнт використання потужності	Річні витрати електроенергії, кВт
Барабанна піч	1	25	5688	0,74	0,6	0,7	44195,76
Сепаратор роторний з високоінтенсивним магнітним полем 1.2 ЕРС –2	1	33	1896	0,2	0,3	0,7	2627,86
Шнековий змішувач з парообігрівом	2	1,7	3792	0,53	0,3	0,7	717,48
Прес вальцевий	1	3,5	1896	0,68	0,3	0,7	947,62
Піч відновлення ЦНДІЧМ – 7	2	93	1137 6	0,55	0,6	0,7	244390,61
Індукційна піч ІСТ–0,06	1	50	3792	0,82	0,8	0,7	87064,32
Установка розпилення ІЕ АН України	1	24	3792	0,45	0,8	0,7	22934,02
Сушильна шафа ІЕП–286	1	2,5	3792	0,58	0,6	0,7	2309,33
Вібраційне сито ВС – 2	1	0,7	1896	0,62	0,3	0,7	172,8
Барабанний змішувач	1	3	1896	0,5	0,3	0,7	597,24
Всього витрат, кВт-год							405957,04

Розрахунок освітлення виконуємо по приміщеннях на підставі плану цеху.

Вихідними даними для розрахунку є габаритні розміри приміщення, необхідна освітленість і режим роботи освітлюваних точок.

Витрати енергії на освітлення розраховуємо за формулою:

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ		Арк.
							79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$Q = \frac{S \cdot q \cdot \tau \cdot f}{1000}, \quad (5.2)$$

де S – площа, що освітлюється, m^2 ;

q – поверхнева щільність теплового потоку, $Вт/m^2$;

τ – число годин горіння на рік;

f – коефіцієнт одночасності горіння.

Величину q приймаємо: для виробничих приміщень $11 \text{ Вт}/m^2$; для побутових і службових приміщень $10 \text{ Вт}/m^2$.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймаємо: для виробничих прольотів $0,8$; для побутових та службових приміщень $0,7$; для підвалів $0,9$.

У залежності від тривалості освітлювального періоду величину τ приймаємо рівною: при однозмінній роботі 1100 год; при двозмінній роботі 2500 год; при трьохзмінній роботі 4700 год.

Склад вихідної сировини: $Q_1 = \frac{42 \cdot 11 \cdot 1100 \cdot 0,8}{1000} = 406,56 \text{ кВт-год}$

Відділення приготування шихти: $Q_2 = \frac{129 \cdot 11 \cdot 4700 \cdot 0,8}{1000} = 5335,44 \text{ кВт-год}$

Відділення відновлення: $Q_3 = \frac{87 \cdot 11 \cdot 4700 \cdot 0,8}{1000} = 3598,32 \text{ кВт-год}$

Відділення розпилення: $Q_4 = \frac{82,5 \cdot 11 \cdot 2500 \cdot 0,8}{1000} = 1815 \text{ кВт-год}$

Відділення змішувальне: $Q_5 = \frac{39 \cdot 11 \cdot 2500 \cdot 0,8}{1000} = 858 \text{ кВт-год}$

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВТК: $Q_6 = \frac{17,42 \cdot 11 \cdot 1100 \cdot 0,8}{1000} = 168,63 \text{ кВт-}$

год

Лабораторія: $Q_7 = \frac{17,42 \cdot 11 \cdot 1100 \cdot 0,8}{1000} = 168,63 \text{ кВт-}$

год

Склад готової продукції: $Q_8 = \frac{39 \cdot 11 \cdot 1100 \cdot 0,8}{1000} = 377,52 \text{ кВт-год}$

Побутові приміщення:

$$Q_9 = \frac{10 \cdot 4700 \cdot 0,7 \cdot (4,73 + 3,85 + 7,04 + 6,8 + 7,8 + 10,86)}{1000} = 1351,53 \text{ кВт-год}$$

Проїзд: $Q_{10} = \frac{111,6 \cdot 10 \cdot 4700 \cdot 0,7}{1000} = 3671,64 \text{ кВт-год}$

Результати визначення витрат електроенергії на освітлення зводимо у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Площа приміщення, м ²	Поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м ²	Коефіцієнт одночасності горіння	Число годин горіння на рік	Річні витрати, кВт-год
Склад вихідної сировини	42	11	0,8	1100	406,56
Відділення приготування шихти	129	11	0,8	4700	5335,44
Відділення відновлення	87	11	0,8	4700	3598,32
Відділення розпилення	82,5	11	0,8	2500	1815

Відділення змішування	39	11	0,8	2500	858
ВТК	17,42	11	0,8	1100	168,63
Лабораторія	17,42	11	0,8	1100	168,63
Склад готової продукції	39	11	0,8	1100	377,52
Побутові приміщення	41,08	10	0,7	4700	1351,53
Проїзд	111,6	10	0,7	4700	3671,64
Всього витрат, кВт-год					17751,27

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Чисельний склад і кваліфікацію робітників цеху, що проектується, визначаємо складанням штатного розкладу.

Для врахування планових втрат робочого часу (відпустки, хвороби) для кожної категорії працюючих в залежності від тривалості зміни і відпустки складаємо баланс робочого часу (таблиця 6.1) і визначаємо коефіцієнт переводу явочної чисельності в облікову.

Таблиця 6.1 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

Показники	Планові значення
Кількість календарних днів	365
Вихідні та святкові дні	113
Номінальний фонд робочого часу, днів	237
Невиходи на роботу, днів	35
з них:	
Відпустки	24
Захворювання	7
невиходи, що дозволяються законом	2
з дозволу адміністрації	1
Прогоули	1
Явочний робочий час	202
Середня тривалість робочого дня, год	7,9
Внутрішньозмінні втрати робочого часу та простої, год	0,2
Кількість робочих годин	7,7
Ефективний фонд часу за рік, год	1555,4

Виходячи з балансу робочого часу, визначаємо коефіцієнт переводу явочної

чисельності в облікову:
$$K_{\text{п}} = \frac{100}{100 - f},$$

де f – плановий відсоток невиходів робітників на роботу

$$f = \frac{35}{237} \cdot 100 = 14,77\% ; \quad K_{\text{п}} = \frac{100}{100 - 14,77} = 1,173$$

ФН11.8116.4203.003.01ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Польова-Ма-		
Перевір.		Степанчук		
Реценз.				
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..		
Затверд.		Богомол Ю. І.		
ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ				
			Літ.	Арк.
			83	102
ФН-11 ІМЗ				

Обліковий склад виробничих робітників розраховуємо множенням добового складу на коефіцієнт переведу явочної чисельності в облікову.

Результати розрахунку кількості основних та допоміжних робітників заносимо у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Чисельність основних та допоміжних робітників цеху

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Явочна чисельність по змінах			Загалом на добу	Коефіцієнт переведу явочної чисельності в облікову	Облікова чисельність
		1-а	2-а	3-я			
Основні робітники							
Пічковий	VI	1	1	1	3	1,173	4
Пічковий	IV	2	2	2	6	1,173	7
Оператор	IV	1	-	-	1	1,173	2
Шихтовщик	V	1	-	-	1	1,173	2
Пресовщик	IV	1	-	-	1	1,173	2
Пічковий	V	1	1	1	3	1,173	4
Плавильщик	V	1	1	1	3	1,173	4
Оператор розпилення	VI	1	1	-	2	1,173	3
Шихтовщик	IV	2	1	-	3	1,173	4
Разом							32
Допоміжні робітники							
Наладчик	VI	1	1	1	3	1,173	4
Слюсар-електрик	V	2	2	1	5	1,173	6
Вантажник	II	2	2	-	4	1,173	5
Разом							15
Всього робітників							47

6.2 Визначення фондів заробітної плати

Основні вихідні дані для розрахунку фонду заробітної плати робітників цеху: кількість основних та допоміжних робітників цеху (таблиця 6.2), діючі положення про оплату праці, законодавчі акти по заробітній платі. Розрахунок виконуємо за посадами, професіями і розрядами.

Розрахунок заробітної плати виконуємо наступним чином: згідно розряду

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робітників визначаємо тарифну ставку, яку помножаємо на кількість годин роботи робітників даної професії. В результаті одержуємо основну заробітну плату.

Додаткова заробітна плата включає в себе: оплату чергових відпусток, робочого часу, що витрачається на виконання державних обов'язків та інших запланованих втрат робочого часу. Фонд додаткової заробітної плати визначається в процентах від основної заробітної плати. Премії, що нараховуються, складають 40% від основної заробітної плати, надбавки за роботу в особливих умовах – 18% від основної заробітної плати, оплата відпусток та інші доплати та надбавки – відповідно 12% і 10% від основної заробітної плати. Результати розрахунку фондів заробітної плати основних та допоміжних робітників наведено в таблиці 6.4

Фонд заробітної плати управлінського персоналу розраховуємо, виходячи з посадових окладів і заносимо у таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок фонду заробітної плати управлінського персоналу

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посадовий оклад, грн.	Річний фонд заробітної плати, грн.
Керівники			
Начальник цеху	1	21000	252000
Заст.нач.цеху	2	19000	456000
Майстер	2	14000	336000
Разом			1044000
Спеціалісти			
Пров.інженер-технолог	1	15000	180000
Інженер-технолог 2 кат.	1	12000	144000
Диспетчер	1	10000	120000
Разом			444000
Службовці та МОП			
Обліковець	2	9000	216000
Комірник	2	9000	216000
Прибиральниця	2	8000	192000
Разом	14		624000
Всього по цеху			2112000

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк. 85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3 – Розрахунок фондів заробітної плати основних та допоміжних робітників

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Обліковий склад, код	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітна плата, грн.	Розрахунок додаткової заробітної плати, грн.					Загальний фонд заробітної плати, грн.
				Одного робітника	Всіх		Надбавки та доплати				Разом	
							Премії	За роботу в особливих умовах	Оплата відпусток	Інші доплати та надбавки		
Пічовий	VI	105,0	4	1555,4	6221,6	653268,0	261307,2	117588,2	78392,2	65326,8	522614,4	1175882,4
Пічовий	IV	85,0	7	1555,4	10887,8	925463,0	370185,2	166583,3	111055,6	92546,3	740370,4	1665833,4
Оператор	IV	85,0	2	1555,4	3110,8	264418,0	105767,2	47595,2	31730,2	26441,8	211534,4	475952,4
Шихтовщик	V	95,0	2	1555,4	3110,8	295526,0	118210,4	53194,7	35463,1	29552,6	236420,8	531946,8
Пресовщик	IV	85,0	2	1555,4	3110,8	264418,0	105767,2	47595,2	31730,2	26441,8	211534,4	475952,4
Пічовий	V	95,0	4	1555,4	6221,6	591052,0	236420,8	106389,4	70926,2	59105,2	472841,6	1063893,6
Плавильщик	V	95,0	4	1555,4	6221,6	591052,0	236420,8	106389,4	70926,2	59105,2	472841,6	1063893,6
Оператор розпилення	VI	105,0	3	1555,4	4666,2	489951,0	195980,4	88191,2	58794,1	48995,1	391960,8	881911,8
Шихтовщик	IV	85,0	4	1555,4	6221,6	528836,0	211534,4	95190,5	63460,3	52883,6	423068,8	951904,8
Разом			32			4603684,0					3683187,2	8287171,2
Наладчик	VI	105,0	4	1555,4	6221,6	653268,0	261307,2	117588,2	78392,2	65326,8	522614,4	1175882,4
Слюсар-електрик	V	95,0	6	1555,4	9332,4	886578,0	354631,2	159584,0	106389,4	88657,8	709262,4	1595840,4
Вантажник	II	60,0	5	1555,4	7777	466620,0	186648,0	83991,6	55994,4	46662,0	373296,0	839916,0
Разом			15			2006466,0					1605172,8	3611638,8
Всього			47			6610150,0					5288360,0	11898810,0

ФНІ1.8116.4203.003.01ПЗ

7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

7.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення у цех, який проектується, складаються із капітальних вкладень у основні фонди (виробничі будівлі та споруди, технологічне та допоміжне обладнання, підйомно-транспортні засоби, оснащення та ін.), а також оборотних нормованих коштів (витрати на створення оборотних запасів матеріалів та сировини змінного обладнання, запчастин, незавершене виробництво та ін.)

Розрахунок капітальних вкладень в обладнання та підйомно-транспортні засоби наведений у таблиці 7.1. При розрахунку вартість транспортування обладнання та його монтаж і наладку приймаємо у розмірі 10% від його ціни.

Таблиця 7.1 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання

Найменування обладнання, його модель або технічна характеристика	Кількість, шт.	Вартість за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.	Витрати на транспортування та монтаж, грн.	Всього, грн.
Основне технологічне обладнання					
Барабанна піч	1	1000000	1000000	100000	1100000
Магнітний сепаратор	1	340000	340000	34000	374000
Шнековий змішувач	2	60000	120000	12000	132000
Прес вальцевий	1	300000	300000	30000	330000
Піч відновлення	2	3000000	6000000	600000	6600000
Індукційна піч	1	2000000	2000000	200000	2200000
Установка розпилення	1	700000	700000	70000	770000
Сушильна шафа	1	207000	207000	20700	227700
Сито вібраційне	1	100000	100000	10000	110000
Змішувач барабанний	1	140000	140000	14000	154000
Підйомно-транспортне та допоміжне обладнання					
Електрокара	1	352800	352800	35280	388080
Всього по цеху					12385780

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Польова-Ма-			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Степанчук				87	102
Реценз.					ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ ФН-11 ІМЗ		
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..					
Затверд.		Богомол Ю. І.					

Капітальні вкладення у виробничі будівлі та споруди визначаємо, виходячи з площі цеху і усереднених нормативів вартості будівельних конструкцій та промислових проводок (таблиця 7.2.).

Таблиця 7.2 – Розрахунок капітальних вкладень у будівлі цеху

Елементи капітальних затрат	Об'єм будівлі	Вартість, грн.	
		грн/м ³	загальна
I Виробничі будівлі	4745,5	3500	16609250
1.1 Водопостачання виробничих приміщень	4745,5	35	166092,5
1.2 Каналізація виробничих приміщень	2981,3	27	80495,1
1.3 Електропроводка виробничих приміщень	4745,5	50	237275
1.4 Вентиляція виробничих приміщень	3808,06	70	266564,2
II Побутові приміщення	697,5	3000	2092500
2.1. Водопостачання побутових приміщень	697,5	40	27900
2.2. Каналізація побутових приміщень	606,28	95	57596,6
2.3. Електропроводка побутових приміщень	697,5	60	41850
2.4. Вентиляція побутових приміщень	697,5	80	55800
III Зовнішній благоустрій	5443	60	326580
IV Невраховані витрати	5443	800	4354400
Всього			23382730

Розмір (норматив) оборотних коштів, які необхідні для безперервної виробничої діяльності цеху, розраховуємо за такими елементами: виробничі запаси сировини, матеріалів та ін.; незавершене виробництво; готова продукція; інші елементи.

Виробничі запаси складаються з плинних виробничих запасів матеріалів, резервних та технологічних запасів, змінного обладнання та запчастин, інвентарю, спецодягу та ін.

Розмір капітальних вкладень у плинні виробничі запаси (K_3) розраховуємо за формулою:

$$K_3 = \frac{M^{пл} \cdot n_3}{T^{пл}},$$

де $M^{пл}$ – сума витрат на матеріали даного різновиду у плановому періоді (12699858,3 грн.);

n_3 – норма плинного запасу матеріалів даного різновиду, днів (приймаємо у межах 30 днів);

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$T^{пл}$ – кількість днів у плановому періоді (237 днів).

$$K_z = \frac{126998583 \cdot 30}{237} = 1607577 \text{ грн}$$

Величину резервного, технологічного запасу, а також змінного обладнання беремо у розмірі 50% від вартості оцінки плинного запасу.

$$K_p = 1607577 \cdot 0,5 = 803788,5 \text{ грн}$$

Суму оборотних коштів у незавершеному виробництві ($K_{нв}$) розраховуємо таким чином:

$$K_{нв} = \frac{B^{пл} T_{ц} K_{нв}}{T^{пл}},$$

де $B^{пл}$ – виробництво товарної продукції за виробничою собівартістю, грн.;

$T_{ц}$ – тривалість циклу виготовлення продукції, днів (1 день);

$K_{нв}$ – коефіцієнт наростання витрат (0,8).

$$K_{нв} = \frac{1607577 \cdot 1 \cdot 0,8}{237} = 5426,4 \text{ грн}$$

Вартість усіх інших елементів оборотних коштів складає 30% від вартості плинного запасу матеріалів.

$$K_{зал} = 0,3 \cdot 1607577 = 482273,1 \text{ грн}$$

Загальний розмір капітальних вкладень на формування оборотних коштів буде дорівнювати сумі вартості усіх вказаних елементів.

Після цього розраховуємо загальні капітальні вкладення в об'єкт (табл. 5.3.).

Таблиця 7.3. - Розрахунок загальних капітальних вкладень в будівлі цеху

Елементи капітальних вкладень	Вартість, грн.	%
1 Будівлі:		
1.1 Виробничі	16609250	49,4
1.2 Побутові	2092500	6,2
2 Обладнання:		
2.1 Основне технологічне	11997700	35,7
2.2 Підйомно-транспортне	4950	0,1
3 Норматив оборотних засобів	2899065	8,6
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	33603465	100

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.2 Визначення планової собівартості одиниці продукції

Собівартість продукції розраховують у відповідності до діючої інструкції по плануванню, урахуванню та калькуляції продукції.

Типова номенклатура калькуляційних статей витрат включає в себе такі статті: сировина та матеріали; енергія технологічна; основна заробітна плата виробників (технологічних робітників); додаткова заробітна плата виробників; відрахування на соціальні потреби виробників; утримання та експлуатація машин і устаткування; загальновиробничі витрати; підготовка та освоєння виробництва; позавиробничі витрати (витрати на маркетинг).

Планові витрати основних та допоміжних (технологічних) матеріалів визначаємо на основі матеріального балансу. Розрахунки заносимо до таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Розрахунок вартості основних та допоміжних матеріалів на річну виробничу програму

Найменування сировини та матеріалів	Добові витрати, кг	Планове число днів роботи цеху на рік	Річні витрати, кг	Планова ціна за кг, грн.	Вартість за рік, грн.
Основні матеріали					
Руда	795,0,3	237	188422,11	4,3	810215,07
Ферохром	69,658	237	16508,95	110	1815984,5
Феробор	26,122	237	6190,91	80	495272,8
Феромарганець	4,354	237	1031,90	119	122796,1
Феросиліцій	21,768	237	5159,02	65	335336,3
Чавун	7,836	237	1857,13	6,8	12628,5
Разом					3592233,3
Допоміжні матеріали					
Кам'яновугільний пек	60,125	237	14249,63	10	142496,3
Сажа	60,125	237	14249,63	48	683982,2
Разом					826478,5
Всього					4418711,8

Витрати на енергію для технологічних, санітарно-технічних потреб розраховуємо на базі даних енергетичної частини проекту і заносимо у таблицю 7.5.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.5 – Розрахунок енергоносіїв

Найменування енергоносія	Загальнорічні витрати, м ³	Планова ціна за 1 м ³ , грн.	Вартість за рік, грн.
Технічна вода	120000	24,52	2942400
Питна вода	650	30,38	19747
Гаряча вода	1672,85	80	133828
Пар технічний	4800	11	52800
Стиснине повітря	138000	0,4	55200
Водень технічний	218000	10	2180000

До загальновиробничих витрат відносяться заробітна плата допоміжних робітників та працівників апарату управління разом з відрахуванням на соціальне страхування, витрати на поточний ремонт, утримання основних виробничих фондів, охорону праці та інші витрати. Витрати на поточний ремонт споруд та обладнання складають 3% від вартості будівель та обладнання. Інші статті загальновиробничих витрат: витрати на утримання обладнання, будівель та споруд приймаємо рівними 2% від їх вартості; витрати на охорону праці приймаємо рівними 10% загального фонду заробітної плати основних робітників; амортизація будівель складає 8% від їх вартості; транспортні витрати приймаємо рівними 20% від вартості транспортного обладнання; канцелярські та конторські витрати – 800 грн на кожного службовця; інші витрати складають 10% від суми загальновиробничих витрат. Загальновиробничі витрати оформлюємо у вигляді таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Розрахунок загальновиробничих витрат

Найменування статей загальновиробничих витрат	Сума, грн.
1 Заробітна плата допоміжних робітників та управлінського персоналу (основна та допоміжна)	14010810
2 Відрахування на соціальне страхування (4%)	560432,4
3 Поточний ремонт споруд і обладнання	921132
4 Утримання обладнання, будівель та споруд	614088
5 Амортизація будівель	1496140
6 Охорона праці	1189881
7 Електроенергія на освітлення	76685,5
8 Вода на санітарно-технічні потреби	153575
9 Транспортні витрати	70560
10 Канцелярські та конторські витрати	11200
11 Інші витрати	1910450,4
Всього	21014954,3

						ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
							91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

На основі одержаних даних складаємо планову калькуляцію собівартості продукції (табл.7.7)

Таблиця 7.7 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Найменування статей витрат	Одиниця виміру	Кількість на річну програму	Ціна за одиницю, грн.	Витрати на річну програму, грн	Примітка
1 Сировина та матеріали					
1.1 Основні матеріали					Табл.7.4
Руда	кг	188422,11	4,3	810215,07	Табл.7.4
Ферохром	кг	16508,95	110	1815984,5	Табл.7.4
Феробор	кг	6190,91	80	495272,8	Табл.7.4
Феромарганець	кг	1031,90	119	122796,1	Табл.7.4
Феросиліцій	кг	5159,02	65	335336,3	Табл.7.4
Чавун	кг	1857,13	6,8	12628,5	Табл.7.4
1.2 Допоміжні матеріали					Табл.7.4
Кам'яновугільний пек	кг	60,125	10	142496,3	Табл.7.4
Сажа	кг	60,125	48	683982,2	Табл.7.4
2 Енергоносії енергетичні					
Електроенергія	кВт год	405957,04	4,32	1753734,4	Табл.5.1
Пар	м ³	4800	11	52800	Табл.7.5
Вода технічна	м ³	120000	24,52	2942400	Табл.7.5
Водень технічний	м ³	218000	10	2180000	Табл.7.5
Стиснене повітря	м ³	138000	0,4	55200	Табл.7.5
3 Основна заробітна плата виробничих робітників	грн			4603684,0	Табл.6.3
4 Додаткова заробітна плата	грн			3683187,2	Табл.6.3
5 Відрахування на соціальне страхування	грн			331486,8	4% від заробітної плати
6 Амортизація обладнання	грн			2972587,2	24% від загальної вартості

7 Загальновиробничі витрати	грн			21014954,3	Табл.7.6
8 Загальногосподарські витрати	грн			5253738,6	25% від загально-виробничих
9 Підготовка до освоєння виробництва	грн			920736,8	20 % від основної заробітної плати
Всього виробнича собівартість	грн			239283221	
10 Позавиробничі витрати	грн			23928322,1	10 % від виробничої собівартості
Всього повна собівартість річної програми	грн			263211543,1	

Повну собівартість одиниці продукції ($C_{п}$) розраховуємо як відношення повної собівартості річної програми випуску продукції ($C_{п}^{р\dot{и}ч}$) до річного обсягу випуску продукції цехом :

$$C_{п} = \frac{C_{п}^{р\dot{и}ч}}{Q}$$

де Q – річний обсяг випуску продукції (140 т/рік).

$$C_{п} = \frac{263211543,1}{140} = 18800824 \text{ грн/т}$$

7.3 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення

Для оцінки варіантів господарських чи технічних рішень найчастіше застосовуються такі показники економічної ефективності:

- трудомісткість продукції (зворотній показник продуктивності живої праці);
- капіталомісткість (фондомісткість) продукції;
- період окупності капітальних витрат.

Трудомісткість продукції визначається як відношення витраченої кількості праці до загального обсягу виробленої продукції. Технологічна трудомісткість одиниці продукції розраховується як сума витрат часу на окремі операції технологіч-

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ного процесу. Технологічну трудомісткість (t) у нормо-годинах раховуємо за формулою:

$$t = \frac{Ч_{\text{осн}} \cdot \Phi_{\text{роб}}^{\text{пл}}}{Q}$$

де $Ч_{\text{осн}}$ – чисельність основних робітників (32 чоловіка);

$\Phi_{\text{р}}^{\text{пл}}$ – ефективний фонд часу роботи робітника на рік (1555,4 год);

Q – плановий річний обсяг виробництва продукції.

$$t = \frac{32 \cdot 1555,4}{140} = 355,52 \text{ нормо-годин/т}$$

Капіталомісткість (фондомісткість) продукції (K_Q) визначаємо як частку від ділення величини загальних капітальних витрат ($K_{\text{заг}}$) у будівництво цеху на величину річного планового обсягу виробництва продукції :

$$K_Q = \frac{K_{\text{заг}}}{Q}; \quad K_Q = \frac{33603465}{140} = 240024,7 \text{ грн/т}$$

Найбільш розповсюдженим показником економічної ефективності капітальних є період окупності капітальних витрат ($\Pi_{\text{ок}}$), який має критеріальний характер:

$$\Pi_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{\Gamma\Pi_{\text{р}}} < \Pi_{\text{ок}}^{\text{н}},$$

де $\Gamma\Pi_{\text{р}}$ – річна сума грошового потоку, грн.;

$\Pi_{\text{ок}}^{\text{н}}$ – нормативний період окупності, років.

Грошовий потік за рік розраховуємо як суму чистого прибутку та амортизаційних відрахувань, визначених за рік експлуатації спроектованого цеху:

$$\Gamma\Pi_{\text{р}} = 0,82 \cdot (Ц - C_{\text{п}}) \cdot Q + \sum A,$$

де 0,82 – коефіцієнт, який враховує частку чистого прибутку у валовому прибутку;

$C_{\text{п}}$ – повна собівартість одиниці продукції, грн.;

Ц – ринкова ціна одиниці продукції, грн. (1932 грн/кг);

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ΣA – загальна річна сума амортизаційних відрахувань, грн. (4468727,2 грн)

$$ГП_p = 0,82 \cdot (1932 - 1880,1) \cdot 140000 + 4468727,2 = 10281527,2 \text{ грн}$$

$$P_{ок} = \frac{33603465}{10281527,2} = 3,3 \text{ роки}$$

Техніко-економічні показники цеху заносимо до таблиці 7.8.

Таблиця 7.8 – Техніко-економічні показники спроектованого цеху

Найменування показників	Одиниця виміру	Показники по проекту
1	2	3
1 Річний плановий обсяг виробництва продукції (Q)	т	140
2. Загальна площа цеху (дільниці)	м ²	648
3 Виробнича площа цеху (дільниці)	м ²	564,94
4 Капіталомісткість продукції (K _Q)	грн/т	240024,7
5 Загальна чисельність працюючих, ут.ч.	чол	61
5.1 Основних (технологічних)робітників	чол	32
5.2 Допоміжних (обслуговуючих) робітників	чол	15
5.3 Управлінський персонал та МОП	чол	14
6 Річний загальний фонд заробітної плати	грн	2896603,8
7 Середньорічний заробіток одного парацівника	грн	58703,9
8 Річний виробіток на одного працюючого (продуктивність праці)	т/чол	2,3
9 Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{\text{нормо} - \Gamma}{\text{т}}$	355,52
10 Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{\text{грн}}{\text{т}}$	18800824
11 Період окупності (P _{ок})	років	3,3

ВИСНОВКИ

В даному проекті розроблений план цеху по виробництво високолегованих порошків багатofункціонального призначення.

Проведено аналіз матеріалів, які можуть бути використані для напилення бмгатофункціональних покриттів .

Розглянуті методи отримання легованих порошків, зокрема для напилювання покриттів.

Розроблений технологічний процес отримання порошків самофлюсівних сплаавів на основі заліза. Проведені розрахунки матеріального балансу і балансу матпріалів. Вибране і розрахована необхідна кількість технологічного обладнання для забезпечення технологічного процесу заданої продуктивності. Складено план розміщення обладнання в цеху.

В спеціальній частині проекту проведенні теоретичні дослідження по встановленню оптимальних параметрів отримання порошків з заданими властивостями диспергуванням розплаів на установці механічного диспергування розплавів,

Розроблені заходи по охороні праці та навколишнього середовища , які забезпечують необхідні умови праці та екології.

В проекті розроблені організаційний та економічний розділи, які дозволили визначити техніко-економічні показники спроектованоого виобництва. Визначена собівартість одиниці продукції та встановлений період окупності. Вартість 1 т. продукції складає 18800824 грн., а період окупності складає 3,3 років. Останнє свідчить про рентабільність спроектованого виробництва.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Польова-Ма-			ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Степанчук					96	102
Реценз.								
Н. Контр.		Бірюкович Л.О..						
Затверд.		Богомол Ю. І.						
						ФН-11 ІМЗ		

CONCLUSIONS

This project developed a plan for a workshop for the production of highly alloyed powders of multifunctional purpose.

An analysis of materials that can be used for spraying multifunctional coatings was carried out.

Methods for obtaining alloyed powders, in particular for spraying coatings, were considered.

A technological process for obtaining powders of self-fluxing alloys based on iron was developed. Calculations of the material balance and the balance of materials were carried out. The required amount of technological equipment was selected and calculated to ensure the technological process of a given productivity. A plan for the placement of equipment in the workshop was drawn up.

In the special part of the project, theoretical studies were conducted to establish the optimal parameters for obtaining powders with specified properties by dispersing melts on a mechanical melt dispersion installation,

Measures for labor protection and the environment were developed, which provide the necessary working and ecological conditions.

The project developed organizational and economic sections, which allowed determining the technical and economic indicators of the designed production. The cost of a unit of production was determined and the payback period was established. The cost of 1 ton of production is 28,413.73 UAH, and the payback period is 3.07 years. The latter indicates the profitability of the designed production.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ							
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	CONCLUSIONS			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Польова-Ма-</i>										
<i>Перевір.</i>		<i>Степанчук</i>								97	102	
<i>Реценз.</i>								ФН-11 ІМЗ				
<i>Н. Контр.</i>		<i>Бірюкович Л.О.</i>										
<i>Затверд.</i>		<i>Богомол Ю. І.</i>										

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Степанчук А. М. Матеріали для напилювання покриттів : навч. пос. / А. М. Степанчук, І. І. Білик. – Київ : Центр учбової літератури, 2016. – 236 с.
2. Дубовий О. М. Технологія напилення покриттів : підручник.
/ О. М. Дубовий, А. М. Степанчук. – Миколаїв : НУК, 2007. – 353 с.
3. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук : підручник. / А. М. Степанчук.– Київ : НТУУ”КПІ”, 2006. – 353 с.
4. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник
/ Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко и др. – Київ : Наук. думка, 1987. – 544 с.
5. Нанесення покриття : навч. посібник / В.М. Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К. А. Ющенко; за ред. К. А. Ющенка. – Київ : Арістей, 2005. – 204 с.
5. Газотермическое напыление композиционных порошков / А. Я. Кулик, Ю. С. Борисов, А. С. Мнухин, М. Д. Никитин. – Ленинград : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 199 с.
6. Степанчук А. М. Експлуатаційні властивості самофлюсівних сплавів на основі заліза одержаних з використанням недефіцитної сировини / А. М.Степанчук, О. В. Степанв, О. Й. Гончарук // Наукові нотатки. – Луцьк, ЛТДУ. – 2004. – Вип.4. – С. 317–330
7. Степанчук А. Н. Разработка и исследование высоколегированных сплавов на основе железа для газотермического нанесения покрытий / А. Н. Степанчук, Н. С. Вдовиченко, А. А. Нечипоренко // Материалы международной НТК “Производство стали в XXI веке. Прогноз, процессы, технологии, экология”. – Киев : КПИ, –2000. – С. 449–458
8. Вдовиченко М. С. Дослідження умов одержання самофлюсівних сплавів на ос-

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Польова-Ма-</i>			ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Степанчук					98	102
<i>Реценз.</i>						<i>ФН-11 ІМЗ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Бірюкович Л.О..</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Богомол Ю. І.</i>						

нові заліза з використанням залізо-нікелевої лігатури / М. С. Вдовиченко, М. П. Данильчук, А. М. Степанчук // Вісник ЖІТІ. – 2002. – №4. – С. 62–67

9. Степанчук А. Н. Получение и свойства самофлюсующихся сплавов на основе железа / А. Н. Степанчук, А. А. Нечипоренко, Н. С. Вдовиченко // В сб. “Современные достижения в области техники и применения газотермических и вакуумных покрытий”. – Киев : ИЭС НАН Украины, – 1991.– С.78–84

10. Скороход В. В. Химические, диффузионные и реологические процессы в технологии порошковых материалов / В. В. Скороход, Ю. М. Солонин, И. В. Уварова. – Киев : Наук. думка , 1990. – 248 с.

11. Бондаренко Б. И. Восстановление окислов металлов в сложных газовых системах / Б. И. Бондаренко. – Киев : Наук.думка, 1980. – 385 с.

12. Радомысельский И. Д. Получение легированных порошков диффузионным методом и их использование / И. Д. Радомысельский, С. Г. Напара-Волгина. – Киев : Наук. думка, 1988. – 136 с.

13. Найда Ю. И. Промышленное производство порошков сплавов меди методом ударного дробления струи расплава /Ю. И. Найда. А. Н. Степанчук, А. Ю. Найда // Порошковая металлургия. – 2006. – №1/2. – С. 112–117

14. Ничипоренко О. С. Распыленные металлические порошки / О. С. Ничипоренко, Ю. И. Найда, А. Б. Медведовский. – Киев : Наук.думка, 1980. – 238 с.

15. Нечипоренко О. С. Порошки меди и ее сплавов / О. С. Нечипоренко, А. В. Помосов, С. С. Набойченко. – Москва : Металлургия, 1988. – 206 с

16. Грацианов Ю. А. Металлические порошки из расплавов / Ю. А. Грацианов, В. Н. Путимцев, А. Ф. Силаев. – Москва : Металлургия, 1970. – 245 с.

17. Степанчук А. М. Магістерська дисертація за освітньо-професійною програмою. Частина 2. Рекомендації до проектування [Електронний ресурс] : навч. посіб. / А. М. Степанчук, А. В. Мініцький, С. В. Нараєвський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 86 с. – Режим доступу:

<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45852>

18. Степанчук А. М. Проектування виробництв порошкових, композиційних та наноструктурованих матеріалів та виробів. Курсовий проект (міждисциплінарний) [Електронний ресурс] : навч. посіб. / А. М. Степанчук, А. В. Мініцький, І. І. Білик.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
32. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.
33. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці в металургійній промисловості.
34. НПАОП 28.0-1.37-14. Правила охорони праці при нанесенні металопокриттів.
35. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки адміністративного та побутового призначення.
36. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
37. ДСН 3.3.6-042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
38. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
39. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
40. ДБН В.2.5.28-2006. Природне та штучне освітлення.
41. ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
42. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
43. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
44. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
45. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
46. НАПБ Б.01.008-2018. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників.
47. ДБН В.2.5-13-98. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

48. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

49. ДСТУ EN 133:2005. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація.

					ФН11.8116.4203.003.01ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		