

Кафедра ливарного виробництва

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеню бакалавра

зі спеціальності 136 «Металургія»

за освітньо-професійною програмою «Комп’ютеризовані процеси лиття»

**на тему: Проєкт сумішоприготувального відділення ливарного цеху та
технологія виготовлення деталі із сірого чавуну**

Виконав: здобувач IV курсу, групи ФЛ-21

	Віктор БЛУЖНЕНКО	
		(підпис)
Керівник	професор Ростислав ЛЮТИЙ	
		(підпис)
Консультант з охорони праці	професор Олег ЛЕВЧЕНКО	
		(підпис)
Консультант з економічної частини	доцент Сергій НАРАЄВСЬКИЙ	
		(підпис)
Консультант з нормоконтролю	професор Ростислав ЛЮТИЙ	
		(підпис)
Рецензент	доцент Ірина ТРОСНІКОВА	
		(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____

Київ – 2026 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№з/п	Формат	Позначення			Найменування	К-сть аркушів	Примітка
1	A4				Завдання на дипломне проектування	1	
2	A4	ФЛ21.2101.1110.0000 ПЗ			Пояснювальна записка	---	
3	A1	ФЛ21.2101.1110.0003.0001 ДП			Корпус	1	
4	A1	ФЛ21.2101.1110.0003.0002 ДП			Модельна плита з моделями низу	1	
5	A1	ФЛ21.2101.1110.0003.0003 ДП			Стрижневий ящик	1	
6	A1	ФЛ21.2101.1110.0003.0004 ДП			Форма в складеному вигляді	1	
7	A1	ФЛ21.2101.1110.0003.0005 ДП			План сумішоприготувального відділення	1	
8	A1	ФЛ21.2101.1110.0003.0005 ДП			Змішувач котковий	1	
		ПІБ	Підп	Дата	ФЛ21.2101.1110.0000 ПЗ		
Розроб.	Блужненко В.В.				ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ	Аркуш	Аркушів
Керівник	Лютий Р.В.					2	--
Консульт.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, НН ІМЗ ім. Є.О. Патона	
Н/контр.	Лютий Р.В.						
Зав. каф.	Ямшинський М.М.						

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання

ім. Є. О. Патона

Кафедра ливарного виробництва

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 136 Металургія

Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані процеси лиття»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

“ ____ ” _____2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧА**

Блужненко Віктора Вікторовича

1. Тема дипломного проєкту: «Проєкт сумішоприготувального відділення ливарного цеху та технологія виготовлення деталі із сірого чавуну», керівник професор Лютий Р.В. затверджені наказом по університету № 1986-с від 28.05.2026 р.
2. Строк подання здобувачем проєкту: «10» червня 2026 р.
3. Вихідні дані: матеріали, зібрані у процесі проходження практики; літературні джерела; державні стандарти та інші нормативні документи; проєктна потужність відділення – 3 700 тонн придатних сталевих та чавунних виливків на рік.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: аналіз виробничої програми ливарного підприємства; проєктування сумішоприготувального відділення; технологія виготовлення виливка «Корпус» із чавуну СЧ150; розрахувати основні параметри змішувача; техніко-економічні показники; заходи з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення технології виготовлення виливка «Корпус»; 2) креслення модельної плити для виготовлення нижньої півформи для виливка «Корпус»; 3) креслення стрижневого ящика; 4) креслення форми у складеному вигляді для виготовлення виливка «Корпус»; 5) план сумішоприготувального відділення; 6) змішувач котковий (загальний вигляд).

6. Консультанти розділів дипломного проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Левченко О.Г., зав. каф., професор		
Економічна частина	Нарасвський С.В., доцент, к.е.н.		
Нормоконтроль	Лютий Р.В., професор, д.т.н.		

7. Дата видачі завдання: 23 квітня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання	Примітка
1	Переддипломна практика	15.04.2026-16.05.2026 р.	
2	Аналіз виробничої програми ливарного підприємства	21.05.2026 р.	
3	Проектування сумішоприготувального відділення цеху виробництва сталевих та чавунних виливків	26.05.2026 р.	
4	Розроблення технології виготовлення виливка «Корпус»	26.05.2026 р.	
5	Розрахунок та проектування устаткування	29.05.2026 р.	
6	Виконання економічної частини проєкту	01.06.2026 р.	
7	Виконання частини проєкту з охорони праці	01.06.2026 р.	
8	Виконання графічної частини проєкту	04.06.2026 р.	
9	Оформлення розділів дипломного проєкту	06.06.2026 р.	
10	Рецензування дипломного проєкту	14.06.2026 р.	
11	Захист дипломного проєкту	17.06.2026 р.	

Здобувач

Віктор БЛУЖНЕНКО

Керівник

Ростислав ЛЮТИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему: «Проект сумішоприготувального відділення ливарного цеху та технологія виготовлення деталі із сірого чавуну».

Пояснювальна записка містить 90 сторінок, рисунки, таблиці, графічну частину та список використаних джерел.

Об'єкт проєктування – технологічний процес виготовлення виливка «Корпус» із сірого чавуну СЧ150 та сумішоприготувальне відділення ливарного цеху.

Мета роботи – розроблення технології виготовлення виливка, проєктування сумішоприготувального відділення та розрахунок його основного устаткування.

У дипломному проєкті виконано аналіз виробничої програми ливарного цеху потужністю 3700 т придатних виливків на рік. Розроблено технологічний процес виготовлення виливка «Корпус» масою 5,3 кг із сірого чавуну СЧ150 литтям у разові піщано-глинясті форми. Виконано вибір положення виливка у формі, розрахунок припусків на механічну обробку, проєктування стрижня, ливникової системи та вибір формувальних матеріалів.

Спроектовано сумішоприготувальне відділення, визначено потребу у формувальних сумішах і технологічному обладнанні, виконано розрахунок коткового змішувача. Розглянуто питання енергозабезпечення, охорони праці та економічної ефективності.

Результати проєкту можуть бути використані на машинобудівних підприємствах, що спеціалізуються на виробництві чавунних і сталевих виливків.

Ключові слова: ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, СІРИЙ ЧАВУН, ВИЛИВОК «КОРПУС», СУМІШОПРИГОТУВАЛЬНЕ ВІДДІЛЕННЯ, ФОРМУВАЛЬНА СУМІШ, СТРИЖЕНЬ, ЛИВАРНА ФОРМА, КОТКОВИЙ ЗМІШУВАЧ

ABSTRACT

Diploma project on the topic: «Project of the mixture preparation department of the foundry and the technology of manufacturing parts from gray cast iron».

The explanatory note contains 90 pages, figures, tables, a graphic part and a list of sources used.

The object of the design is the technological process of manufacturing the «Body» casting from gray cast iron SCh150 and the mixture preparation department of the foundry.

The purpose of the work is to develop a casting manufacturing technology, design a mixing department and calculate its main equipment.

The diploma project analyzed the production program of a foundry with a capacity of 3700 tons of suitable castings per year.

The technological process of manufacturing a «Body» casting weighing 5.3 kg from gray cast iron SCh150 by casting in disposable sand-clay molds was developed.

The position of the casting in the mold was selected, allowances for machining were calculated, the core was designed, the sprue system was designed, and the molding materials were selected.

The mix preparation department was designed, the need for molding mixtures and technological equipment was determined, and the calculation of the roller mixer was performed.

The issues of energy supply, labor protection, and economic efficiency were considered. The results of the project can be used at machine-building enterprises specializing in the production of cast iron and steel castings.

Keywords: FOUNDRY, GRAY IRON, CASTING, MIXTURE PREPARATION DEPARTMENT, MOLDING MIXTURE, ROD, FOUNDRY MOLD, ROLLER MIXER

ЗМІСТ

Вступ	9
1. Аналіз виробничої програми ливарного цеху	11
2. Організація роботи цеху	15
2.1. Класифікація ливарного цеху	15
2.2. Структура і планування ливарного цеху	15
2.3. Режим роботи та фонди часу	19
3. Проектування технології виготовлення виливка із сірого чавуну	21
3.1. Загальна характеристика деталі	21
3.2. Аналіз конструкції виливка	22
3.3. Обґрунтуванням вибору технологічного процесу виготовлення деталі	23
3.4. Вибір положення виливка в формі та площини роз'єму	24
3.5. Припуски на механічне оброблення	26
3.6. Проектування стрижня	28
3.7. Розрахунок розмірів і вибір опок	29
3.8. Проектування та розрахунок ливникової системи	32
3.9. Формувальна та стрижнева суміш	36
3.9.1. Формувальна суміш	36
3.9.2. Стрижнева суміш	37
3.9.3. Добавки та протипригарні покриття	38
3.10. Технологія виготовлення виливка	39
3.10.1. Приготування формувальної суміші	39
3.10.2. Виготовлення стрижнів	39
3.10.3. Підготовка форм	40
3.10.4. Заливання, вибивання форм та фінішні операції	40

4. Розрахунок сумішоприготувального відділення...	42
4.1. Характеристика формувальної суміші	42
4.2. Структура сумішоприготувального відділення	43
4.3. Розрахунок маси суміші та її компонентів на річну програму.....	44
4.4. Розрахунок кількості сумішоприготувального устаткування	48
4.5. Організація роботи сумішоприготувального відділення	49
4.6. Устаткування сумішоприготувального відділення	52
4.7. Склад вихідних матеріалів	56
4.8. Транспортне устаткування.....	58
4.9. Розміри відділення.....	59
5. Розрахунок сумішоприготувального устаткування.....	60
5.1. Розрахунок розмірів чаші змішувача.....	61
5.2. Розрахунок розмірів котків змішувача	62
5.3. Визначення частот обертання котків та вертикального вала змішувача...	66
5.4. Визначення потужності привода змішувача	67
5.5. Вибір електродвигуна.....	70
6. Енергетична частина проекту	71
6.1. Витрати електроенергії.....	71
6.2. Витрати стисненого повітря	73
6.3. Витрата води.....	74
6.4. Газопостачання	75
7. Охорона праці.....	76
7.1. Загальна характеристика сумішоприготувального відділення.....	76
7.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	76
7.2.1. Небезпека рухомих частин устаткування.....	77
7.2.2. Виробничий шум	77
7.2.3. Виділення пилу	78
7.2.4. Вібрація.....	78
7.2.5. Електробезпека.....	78
7.3. Заходи щодо забезпечення нормативного мікроклімату	79
7.4. Виробниче освітлення	79

7.5. Засоби індивідуального захисту працівників.....	80
7.6. Пожежна безпека	80
7.7. Заходи з охорони навколишнього середовища.....	81
7.8. Висновки.....	81
8. Організаційно-економічний розділ.....	82
8.1. Організаційний розділ	82
8.2. Розрахунок фондів заробітної плати.....	83
8.3. Розрахунок продуктивності праці	87
9. Економічний розділ	88
9.1. Розрахунок капітальних вкладень.....	88
9.2. Визнання собівартості одиниці продукції.....	92
9.3. Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення	94
Висновки.....	97
Список використаної літератури.....	99
Додадки.....	101

ВСТУП

Для виготовлення металевих деталей застосовують такі технологічні засоби як ливарне виробництво, зварювання, кування, штампування. Кожний з методів має свої переваги, недоліки і галузі застосування. Всі ці методи схожі тим, що в як базові заготовки використовують вироби, схожі за формою та розміром на деталь і в ході подальших операцій стають максимально наближеними до необхідних деталей.

Процес виготовлення виливків складається з таких етапів:

- виготовлення ливарної форми;
- підготовка рідкого металу;
- заливання рідкого металу в форму та отримання виливка з подальшим вибиванням, обрубкою, очищенням та термічним обробленням. Існують методи лиття як в разові форми, так і в багаторазові.

Під час лиття в піщано-глинясті суміші ливарна форма є одноразовою. Але використану суміш після стадії регенерації може бути використано повторно (з добавкою до неї невеликої частини свіжих матеріалів). Окрім лиття в разові піщано-глинясті форми, застосовують лиття в хімічні самотвердні форми, лиття в форми з рідкого скла, пластичні, цементні, гіпсові форми, суміші на основі органічних масел тощо. Але лиття в піщано-глинясті форми, незважаючи на деяку застарілість цього методу, й на сьогодні широко використовують у виробництві виливків із сплавів чорних металів (чавун, сталь). Це пояснюється великим досвідом його застосування, дешевизною, розповсюдженістю та нетоксичністю вихідних матеріалів, добре налагодженою технологією.

Для оформлення внутрішніх порожнин та отворів (а іноді й зовнішніх контурів) виливка застосовують спеціальні вироби – стрижні, які завдяки своїй формі відтворюють порожнини, які не можуть бути відтворені під час виготовлення верхньої та нижньої півформ.

У дипломному проєкті вибрано технологічний процес лиття в разові піщано-глинясті форми з виготовленням стрижнів із піщано-смоляних холоднотвердних сумішей.

Крім цього, вирішено такі завдання:

- аналіз виробничої програми ливарного цеху та створення переліку номенклатури деталей, що виготовляються;
- розрахунок виробничої програми (загальний річний обсяг виготовлення литої продукції, згідно потреб у ній, прийнято рівним 3700 тонн);
- розподіл річних фондів часу роботи устаткування і робітників по кожному виробничому і допоміжному відділенню;
- проектування сумішоприготувального відділення ливарного цеху з розрахунком обсягу його виробничої програми та потрібної кількості устаткування;
- проектування одиниці устаткування для сумішоприготувального відділення;
- розроблення повного технологічного циклу виготовлення деталі «Корпус» із сірого чавуну марки СЧ150 масою 5,3 кг;
- аналіз шкідливих і небезпечних чинників на виробництві та опис заходів щодо запобігання їх дії;
- техніко-економічні розрахунки.

До пояснювальної записки додаються 6 креслень: 4 по технології виготовлення виливка, 1 – план відділення, 1 – одиниця устаткування.

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

Номенклатуру виливків ливарного цеху із вказанням маси деталей та марок сплавів наведено в табл. 1.1.

Згідно завдання дипломного проектування, сумарна потужність ливарного цеху становить 3700 тонн придатних виливків на рік.

Таблиця 1.1 – Номенклатура виливків цеху чавунного та сталевих литва

Інд. поз.	Найменування деталей	Маса, кг	Кількість на 1 виріб	Марка сплаву	Режим ТО
1	Кронштейн лівий	1,9	1	СЧ250	Відпал
2	Кронштейн правий	1,9	1	СЧ250	
3	Корпус підчіпника	3,3	4	СЧ200	
4	Втулка	1,6	4	СЧ200	
5	Стріла права передня	66,2	1	СЧ250	
6	Стріла ліва передня	66,2	1	СЧ200	
7	Півмуфта	60,4	1	СЧ250	
8	Кришка 3	70,1	1	СЧ250	
9	Шків 1	9,4	2	СЧ200	
10	Кронштейн 1	3,8	2	СЧ200	
11	Шків 2	7,2	1	СЧ200	
12	Кришка 1	2,05	1	СЧ250	
13	Кришка 2	3,4	1	СЧ250	
14	Фланець напівмуфти	26	1	СЧ200	
15	Корпус	5,3	1	СЧ150	
16	Кронштейн 2	2,7	2	СЧ150	
17	Штурвал	3,9	1	20Л	Нормалізація плюс відпуск
18	Штуцер	6,8	8	20Л	
19	Стакан	12,5	2	20Л	
20	Барабан	43,2	2	25Л	
21	Колодка	27,7	1	25Л	
22	Повзун	25,6	1	25Л	

В табл. 1.2 представлено розширені дані по номенклатурі виливків ливарного цеху.

Таблиця 1.2 – Розширена інформація щодо номенклатури деталей

Інд. поз.	Найменування детал	Марка сплаву	Габаритні розміри, мм	Кількість на виріб, шт	Маса деталі, кг	Маса комплекту, кг
1	Кронштейн лівий	СЧ250	105x75x40	1	1,9	1,9
2	Кронштейн правий	СЧ250	105x75x40	1	1,9	1,9
3	Корпус підчіпника	СЧ200	Ø105x60	4	3,3	13,2
4	Втулка	СЧ200	Ø85x55	4	1,6	6,4
5	Стріла права передня	СЧ250	410x240x105	1	66,2	66,2
6	Стріла ліва передня	СЧ200	410x240x105	1	66,2	66,2
7	Півмуфта	СЧ250	Ø545x220	1	60,4	60,4
8	Кришка 3	СЧ250	440x285x85	1	70,1	70,1
9	Шків 1	СЧ200	Ø175x70	2	9,4	18,8
10	Кронштейн 1	СЧ200	125x90x55	2	3,8	7,6
11	Шків 2	СЧ200	Ø165x60	1	7,2	7,2
12	Кришка 1	СЧ250	110x85x40	1	2,05	2,05
13	Кришка 2	СЧ250	140x95x40	1	3,4	3,4
14	Фланець напівмуфти	СЧ200	Ø455x160	1	26	26
15	Корпус	СЧ150	Ø260x105	1	5,3	5,3
16	Кронштейн 2	СЧ150	275x150x100	2	2,7	5,4
17	Штурвал	20Л	Ø120x60	1	3,9	3,9
18	Штуцер	20Л	Ø90x150	8	6,8	54,4
19	Стакан	20Л	Ø175x80	2	12,5	25
20	Барабан	25Л	Ø255x145	2	43,2	86,4
21	Колодка	25Л	Ø215x115	1	27,7	27,7
22	Повзун	25Л	460x150x55	1	25,6	25,6
	РАЗОМ					585,05

					ФЛ21.2101.1110.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Розраховується загальну річну кількість виробів ливарного цеху за формулою:

$$N = P/M, \quad (1.1)$$

де N – річна кількість виробів ливарного цеху, шт;

P – потужність ливарного цеху, т; $P = 3700$ т;

M – сумарна маса виливків з урахуванням кількості деталей на виріб, т.

Значення M визначається згідно табл. 1.2 сумуванням складових значень останньої колонки (маси комплектів). Тобто, $M = \sum M_i = 585,05$ кг.

При заданій продуктивності цеху:

$$N = \frac{3700000}{585,05} = 6324 \text{ шт.}$$

Так, при виготовленні ливарним цехом кількості виробів 6324 шт буде забезпечуватись необхідна річна програма в 3700 т/рік.

Відсоток запасних частин по відношенню до основної продукції приймаємо рівним 10 %. Асортимент виливків за масою розбивається на 2 групи: до 20 кг та більше 20 кг.

Результати розрахунків заносяться в табл. 1.3.

					ФЛ21.2101.1110.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1.3 – Подетальна виробнича програма ливарного цеху для чавунних та сталевих виливків

Таблиця 1.3 – Подетальна виробнича програма ливарного цеху для чавунних та сталевих виливків											
№	Найменування виробів і виливків	Маса виливка, кг	Кількість виливків на 1 виріб, шт	Маса виливків на один	Марка сплаву	Річна програма випуску виливків					
						на основну програму (90 %)		на запасні частини (10 %)		разом	
						шт	т	шт	т	шт	т
Чавун											
До 20 кг											
1	Кронштейн лівий	1,9	1	1,9	СЧ250	5692	10,81	632	1,20	6324	12,02
2	Кронштейн правий	1,9	1	1,9	СЧ250	5692	10,81	632	1,20	6324	12,02
3	Корпус підчпника	3,3	4	13,2	СЧ200	22766	75,13	2530	8,35	25296	83,48
4	Втулка	1,6	4	6,4	СЧ200	22766	36,43	2530	4,05	25296	40,47
5	Кронштейн 1	3,8	2	7,6	СЧ200	11383	43,26	1265	4,81	12648	48,06
6	Шків 2	7,2	1	7,2	СЧ200	5692	40,98	632	4,55	6324	45,53
7	Кришка 1	2,05	1	2,05	СЧ250	5692	11,67	632	1,30	6324	12,96
8	Кришка 2	3,4	1	3,4	СЧ250	5692	19,35	632	2,15	6324	21,50
9	Шків 1	9,4	2	18,8	СЧ200	11383	107,00	1265	11,89	12648	118,89
10	Кронштейн 2	2,7	2	5,4	СЧ150	11383	30,73	1265	3,41	12648	34,15
11	Корпус	5,3	1	5,3	СЧ150	5692	30,17	632	3,35	6324	33,52
Більше 20 кг											
12	Стріла права передня	66,2	1	66,2	СЧ250	5692	376,78	632	41,86	6324	418,65
13	Стріла ліва передня	66,2	1	66,2	СЧ200	5692	376,78	632	41,86	6324	418,65
14	Півмуфта	60,4	1	60,4	СЧ250	5692	343,77	632	38,20	6324	381,97
15	Кришка 3	70,1	1	70,1	СЧ250	5692	398,98	632	44,33	6324	443,31
15	Фланець напівмуфти	26	1	26	СЧ200	5692	147,98	632	16,44	6324	164,42
Всього по чавуну				362		142290	2060	15810	230	158100	2290
Сталь											
До 20 кг											
17	Штурвал	3,9	1	3,9	20Л	5692	22,20	632	2,47	6324	24,66
18	Штуцер	6,8	8	54,4	20Л	45533	309,62	5059	34,40	50592	344,03
19	Стакан	12,5	2	25	20Л	11383	142	1265	16	12648	158
Понад 20 кг											
20	Барабан	43,2	2	86,4	25Л	11383	491,75	1265	54,64	12648	546,39
21	Колодка	27,7	1	27,7	25Л	5692	157,66	632	17,52	6324	175,17
22	Повзун	25,6	1	25,6	25Л	5692	145,70	632	16,19	6324	161,89
	Всього по сталі			223		85374	1270	9486	140	94860	1410
ВСЬОГО ПО ЦЕХУ							3330	25296	370	252960	3700

2. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ ЦЕХУ

2.1. Класифікація ливарного цеху

Головними ознаками класифікації ливарних цехів є: маса виливків, марки ливарних сплавів, характер (серійність) виробництва, ступінь механізації та автоматизації, галузеве призначення (згідно номенклатури деталей, які випускаються).

Ливарний цех, в якому буде виготовлятися, окрім інших, деталь «Корпус» і для якого, згідно завданню, має бути розроблено проєкт сумішоприготувального відділення, за вказаними ознаками класифікації відноситься до таких груп:

- за масою виливків: цех дрібного литва (маса кожного виливка не перевищує 100 кг);
- за ливарними сплавами: цех чавунного та сталевих (змішаного) литва, з такою індексацією: СЧ (цехи лиття сірого чавуну) та ВС (цехи лиття вуглецевих сталей);
- за серійністю виробництва: цех серійного виробництва;
- за ступенем механізації: комплексно-механізований;
- за галузевим призначенням: цех виробництва продукції автотракторного призначення.

2.2. Структура і планування ливарного цеху

У проєкті передбачено виключно розрахунок і планування сумішоприготувального відділення, а не цеху в цілому. Тому його загальну структуру орієнтовно можна представити у складі таких відділень і дільниць:

1. Виробничі відділення:

- плавильне, до складу якого входять склад шихтових матеріалів, дільниця підготовки шихти та пічна дільниця (з плавильними печами та міксерами);

- формувальньо-заливально-вибивальне відділення (ймовірно із використанням комплексно-механізованої формувальної лінії), на якій передбачено дільницю ущільнення суміші в опоках, дільницю простановки стрижнів та контролю форм, дільницю заливання металу, дільницю охолодження та дільницю вибивання.

- сумішоприготувальне відділення (об'єкт проектування). Тут передбачено: склад формувальних матеріалів (з установкою сушіння піску); дільниця регенерації оборотної суміші; дільниця підготовки свіжих матеріалів; дільниця приготування формувальної суміші;

- стрижневе відділення, до складу якого входять дільниця підготовки стрижневих матеріалів, дільниця виготовлення стрижнів та дільниця фарбування стрижнів і їх контролю;

- відділення фінішних операцій, до складу якого входять дільниця обрубки, дільниця вибивання стрижнів, дільниця очищення виливків, дільниця зачищення виливків, дільниця проміжного контролю, дільниця термічного оброблення, дільниця ґрунтування та мийки виливків та дільниця остаточного контролю.

2. Допоміжні відділення. Сюди входять: лабораторії (в тому числі і експрес-лабораторії), склади (різноманітних матеріалів, опок, модельно-стрижневого оснащення, виливків тощо), комори, ремонтні та енергетичні підстанції, серверні тощо.

3. Адміністративно-побутові приміщення. Сюди входять: побутові приміщення, приміщення керівно-адміністративного апарату, інженерно-технічні служби, технічні бюро, бухгалтерія, фінансово-економічна та юридична служба,

медпункт, їдальня, душові, санвузли, кімнати відпочинку та зборів, гардероби тощо.

Для вибору правильного компоновання цеху слід враховувати такі фактори:

1. Має бути забезпечено мінімально можливу протяжність транспортних потоків, особливо важких, високо навантажених, інтенсивних та потоків, у яких матеріал має доставлятися в однієї точки до іншої дуже швидко. Це зменшує витрати на транспортування та скорочує цикл виробництва.

2. Біля відділень, які працюють з масовою підготовкою вихідних матеріалів (плавильне, сумішоприготувальне, стрижневе) потрібно проектувати склади відвантаження вихідних матеріалів на мінімальній відстані.

3. Формувально-заливально-вибивальне відділення має бути поруч з плавильним для забезпечення якомога скорішого заливання рідкого металу в форми з мінімальними втратами на охолодження.

4. Бажано уникати перехрещування вантажопотоків матеріалів.

5. Адміністративно-побутові централізовані приміщення (не прив'язані до якогось конкретного відділення) слід розмішувати вздовж коридору, який розташовано уздовж цеху.

На основі вищесказаного, можна спроектувати план цеху з відповідними відділеннями, що показано на рис. 2.1.

6			7	
1	2	3	4	5
8				

1 – відділення фінішних операцій; 2 – плавильне відділення; 3 – формувально-заливально-вибивальне відділення; 4 – сумішоприготувальне відділення; 5 – стрижневе відділення; 6 – склад шихтових матеріалів; 7 – склад формувальних матеріалів; 8 – адміністративно-побутові приміщення

Рисунок 2.1 – План компонування ливарного цеху

Переваги цієї схеми:

1. Розташування плавильного, стрижневого та сумішоприготувального відділень у безпосередньому контакті з вулицею, що дає змогу поруч розмістити відповідні великі склади вихідних матеріалів.

2. Сусідство плавильного відділення з формувально-заливально-вибивальним.

3. Можливість розташування одного ряду залізничних колій паралельно до всіх відділень та здатність обслуговувати (без перенавантаження залізничними коліями) кожен склад.

4. Розміщення адміністративно-побутових приміщень вздовж цеху.

5. Короткий шлях транспортування гарячого звороту власного виробництва з ділянки обробки в плавильне відділення.

6. Короткий шлях транспортування виливків з ділянки вибивання у відділення фінішних операцій.

7. Короткий шлях транспортування формувальної суміші в формувально-заливально-вибивальне відділення та оборобної суміші з ділянки вибивання у сумішоприготувальне відділення.

8. За схемою, наведено на рис. 2.1, видно, що ліва частин цеху «працює» з металом, а права – з формувальнимим неметалевими матеріалами. Це зменшує зайві транспортні перехрестні потоки.

Недоліком схеми є необхідність транспортування стрижнів крізь інше (сумішоприготувальне) відділення. Але виробнича програма цеху передбачає, що стрижні дрібні, тому легко можна забезпечити доставку їх на підвісних конвеєрах, така організація транспортування не буде заважати іншим операціям.

2.3. Режими роботи та фонди часу

У ливрному цеху серійного виробництва з високим рівнем механізації доцільно застосувати паралельний двозмінний режим роботи. Цей режим передбачає виконання всіх технологічних операції виготовлення виливків одночасно на різних виробничих відділеннях. Це прискорює цикл виготовлення виливків та призводить до чіткої організації роботи цеху. Режим роботи цеху двозмінний. Третя змінна проводить операції з тривалого циклу нагрівання (17–20 год) чавуну для низькотемпературного відпалу.

Календарний фонд часу робітників та устаткування становить (365 діб в році по 24 год в кожній добі): $\Phi_k = 365 \times 24 = 8760$ год.

Номінальний фонд часу Φ_n дорівнює календарному за винятком вихідних та святкових днів.

Дійсний фонд часу Φ_d визначається шляхом виключення з номінального фонду витрат часу на технічне обслуговування та планово-попереджувальний ремонт устаткування. Так, за прийнятого 40-годинного робочого тижня та двозмінного режиму роботи номінальний фонд часу складає $\Phi_n = 4140$ год. Дійсний фонд часу за таких умов складає 1840 год. Тривалість відпустки при цьому складає 20 робочих днів.

Щодо ливарного устаткування, то враховуючи особливості його експлуатації, дійсний фонд часу для різних відділень і дільниць буде відрізнятися, що представлено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Фонди часу роботи устаткування і робітників

Інд. поз.	Устаткування	Втрати від номінального фонду часу, %	Дійсний фонд часу, год	
			устаткування	робітників
ФОРМУВАЛЬНЕ ВІДДІЛЕННЯ				
1	Лінія автоматичного формування, заливання та вибивання	10	3600	1840
ПЛАВИЛЬНЕ ВІДДІЛЕННЯ				
2	Індукційні печі промислової частоти	7	3720	1740 (додаткова відпустка за складні умови роботи)
СТРИЖНЕВЕ ВІДДІЛЕННЯ				
3	Комплексні механізовані лінії для виготовлення стрижнів із ХТС	8	3680	1840
СУМІШОПРИГОТУВАЛЬНЕ ВІДДІЛЕННЯ				
4	Змішувач ХТС-суміші Змішувачі коткові для приготування формувальної суміші	10	3600	1800 (додаткова відпустка за складні умови роботи)
ВІДДІЛЕННЯ ФІНІШНИХ ОПЕРАЦІЙ				
5	Барабани галтувальні безперервної дії, барабани дробометальні періодичної дії	8	3680	1780 (додаткова відпустка за складні умови)
6	Печі термічні електричні прохідного типу	10	7700 (працюють у 3 зміни)	1740 (додаткова відпустка за складні умови)
7	Металорізальні і деревооброблювальні верстати	4	3840	1840

3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА ІЗ СІРОГО ЧАВУНУ

3.1. Загальна характеристика деталі

Деталь має назву «Корпус». Маса деталі (за кресленням) – 5,3 кг. Габаритні розміри деталі: діаметр 260 мм та висота 104 мм. Призначення деталі – для захисту та розташування всередині неї рухомих деталей обладнання та забезпечення безпеки їх роботи. Деталь також виконує носійну функцію, забезпечуючи захист рухомих частин від контакту з іншими механізмами та вузлами.

Враховуючи припуски на механічне оброблення та елементи, які неможливо виконати способом лиття (отвори малого діаметра), маса виливка становить приблизно 110 % від маси деталі. Таким чином, враховуючи масу деталі 5,3 кг, можна прийняти що маса виливка становить 5,7 кг.

Згідно класифікації за складністю, виливок «Корпус» відноситься до виливків II групи (нескладні виливки). Згідно класифікації за масою, виливок «Корпус» відноситься до дрібних виливків (до 100 кг).

Аналізуючи деталь по всьому перерізу, встановлено, що середня товщина стінки становить 15 мм, що і приймається для подальших технологічних розрахунків. Матеріал деталі «Корпус» – сірий чавун СЧ150 (ДСТУ 8833:2019) [1].

Із чавуну марки СЧ150 виготовляють виливки загального призначення, в основному станини, корпуси, рами, плити, кришки тощо, які не несуть великого динамічного навантаження та не працюють на зношування, стирання або в умовах динамічних навантажень.

Хімічний склад сплаву наведено в табл. 3.1. Властивості цього сплаву, які необхідно врахувати під час розроблення технології виготовлення деталі, наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад чавуну СЧ150 ДСТУ 8833:2019

C	Si	Mn	S	P
3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	≤ 0,15	≤ 0,20

Таблиця 3.2 – Властивості чавуну СЧ150

Властивість	Значення
Границя міцності під час розтягування, МПа, не менше ніж	150
Твердість за Брінеллем (НВ)	210
Густина, кг/м ³	7000
Модуль пружності під час розтягування, ГПа	70-110
Вільна лінійна усадка, %	1,1

Враховуючи наявність стрижня і особливості конфігурації виливка, для проектування модельного комплексу і приймаємо значення усадки 0,8 %.

3.2. Аналіз конструкції виливка

Форма виливка – циліндрична. Найменша товщина стінки – 8 мм, найбільша – 30 мм. Середня розрахункова – 15 мм. Стінки товщиною 8 мм для чавуну СЧ150 безперешкодно виконуються литтям. Деталь має декілька наскрізних отворів:

- 2 отвори для кріплення діаметром 3 мм;
- 3 отвори діаметром 8 мм;
- 4 отвори діаметром 10 мм;
- 4 отвори діаметром 16 мм.

Всі перелічені отвори мають діаметр менше 20 мм, тому литвом не виконуються (щоби не ускладнювати конструкцію стрижня), а виконуються під час подальшого механічного оброблення. Деталь має профільні внутрішні і зовнішні контури – канавки, виступи, вушка, западини тощо. Також у конструкції деталі передбачено 4 внутрішніх та 4 зовнішніх вушка.

Частину із цих елементів можливо виконати за допомогою верхньої та нижньої півформ, частину – за допомогою стрижня. Елементи, які неможливо виконати литтям, позначено на технологічному кресленні відповідним способом (закреслено).

Наприклад, деталь має канавку глибиною 3 мм та довжиною 25 мм, що є нетехнологічним елементом конструкції і тому литвом не виконується.

Стінки виливка мають бути спряженими та заокругленими. У конструкції деталі подібні спряження та заокруглення наявні на деяких елементах, але не на усіх. Тому для забезпечення технологічності виготовлення виливка непозначені на кресленні ливарні радіуси приймаються рівними 2 мм для стінок товщиною до 10 мм і 3 мм для стінок товщиною більше 10 мм [3].

З метою безперешкодного вилучення моделі з форми передбачено ливарні ухили. За висоти моделі 73 мм (нижня півформа) ливарний ухил складає 3°. За висоти моделі 20 мм (верхня півформа) ливарний ухил складає 5°. Ухили робляться за рахунок одночасного збільшення та зменшення розмірів виливка, так як ці поверхні не оброблюються.

3.3. Обґрунтуванням вибору технологічного процесу виготовлення деталі

Виливок «Корпус» дрібний та не має відповідального призначення. Для виливків із сплаву СЧ150 традиційно використовують формування в піщано-глинясті форми, виготовлені по-сирому, з вологістю близько 4 %.

Міцність на стиск таких форм близько 80–100 кПа, твердість 70–80 од. Під час аналізу можливих способів виготовлення форм розглянуто такі процеси

як формування з використанням сумішей типу РСС (рідкорухомі самотвердні), ПСС (пластичні самотвердні), ХТС (хімічно твердні). В результаті техніко-економічного аналізу встановлено, що такі варіанти виготовлення форм є недоцільними через відносно високу вартість, дефіцитність деяких компонентів і головне – через екологічну небезпеку таких процесів. Собівартість виливка при цьому буде завищеною.

Але стрижень, який буде застосовуватись для виконання внутрішньої порожнини виливка, повинен мати високу міцність та стійкість порівняно з формою, оскільки він знаходиться у більш важких умовах під час заливання і кристалізації виливка. Тому потрібно застосувати стрижневу суміш високої міцності, наприклад з уже розглянутих ХТС, РСС, ПСС. При цьому враховано, що метод РСС не дає змоги регенерувати суміш, а також та стрижень з РСС має підвищену складність вибивання, що ускладнить роботу цеху. Стрижні з сумішей на основі лігносульфонатів мають незадовільну міцність. Суміші на основі синтетичних смол мають високу міцність, але дорогі, дефіцитні, екологічно брудні, мало придатні до повторного застосування. Стрижень у даному виливку має середню складність конфігурації (відносимо його до III класу – прості стрижні із особливими елементами конструкції). Він має ажурні обриси і тому має бути достатньо міцним для забезпечення технологічних операцій фарбування, встановлення у форму і безпосередньо заливання.

Таким чином, прийнято рішення щодо вибору процесу формування в сирі піщано-глинясті форми із застосуванням стрижнів, виготовлених із ХТС на основі синтетичної смоли. Формову в цеху прийнято організувати в парних опоках на формувальних машинах з ливарним конвеєром.

3.4. Вибір положення виливка в формі та площини роз'єму

Так як виливок має форму циліндра, тому розташовувати його в формі краще циліндричною віссю в перпендикулярному напрямку. При цьому стрижень буде вертикальним.

Також під час вибору положення виливка у формі слід мати на увазі наступні рекомендації:

- можливість безперешкодного вил– неметалеві вкраплення спливають догори, тому більшу частину (або весь) виливок бажано розмішувати в нижній півформі. Але, враховуючи конфігурацію виливка, розмістити в одній півформі його неможливо, тому прийнято рішення про розділення частин виливка по формах;

учення моделі з форми. Аналізуючи цей фактор, більшу частину виливка (по нижній рівень вушок) розміщено в нижній півформі. Це єдине положення роз'єму форми, яке дає змогу безперешкодно вилучити моделі з форми без застосування додаткових стрижнів;

- враховуючи, що плоскі горизонтальні поверхні, які механічно оброблюються, розташовані в протилежних частинах деталі, то вибір положення виливка відносно необхідності розташуванні оброблюваних поверхонь в нижній частині форми, не має сенсу;

- враховуючи матеріал виливка (сірий чавун СЧ150, який має малу усадку і не схильний до утворення усадкових дефектів), правило направленої кристалізації тут має другорядне значення;

- лінія роз'єму форми має бути рівною, вилучення моделі має відбутися без підрізки та використання частин, які відокремлюються. Положення лінії роз'єму на рис. 4.1 повною мірою відповідає цьому правилу.

- стрижні мають фіксуватись у нижній півформі, що за умови вибраного положення площини роз'єму цілком виконується.

Отже, за умов дотримання технічних рекомендацій щодо вибору положення виливка у формі і площини роз'єму, можна зробити висновок, що положення виливка в формі визначається лише зручністю процесу формування, встановлення стрижнів, забезпечення мінімальної можливості безперешкодного вилучення моделі з форми. Лінію роз'єму показано на рис. 3.1.

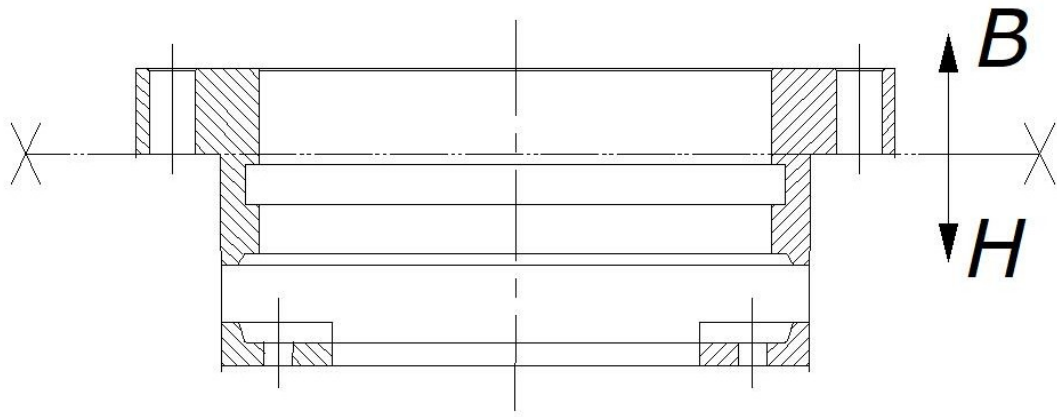


Рисунок 3.1 – Схема положення виливка в формі

3.5. Припуски на механічне оброблення

Припуски на механічне оброблення встановлюють згідно ДСТУ 8981:2020 [4]. За цим нормативним документом, порядок вибору припусків передбачає попередній вибір низки параметрів, які характеризують розмірну, масову точність виливка, нормовану якість поверхонь тощо.

За порядком, наведеним у ДСТУ, здійснено необхідні дії для встановлення розмірів припусків:

- тип ливарного процесу – встановлено як лиття в піщано-глинясті форми з вологістю 3,5–4,5 %, міцністю форми 80–100 кПа, твердістю 70–80 од, за найбільшого розміру виливка до 260 мм, сплав – чавун із подальшим термічним обробленням;

- за такого технологічного процесу і маси виливка 5,7 кг клас розмірної точності має бути вибрано із меж від 9т до 13. Приймається 11;

- ступінь жолоблення виливка: за відношення найменшого розміру елемента виливка до найбільшого $4/260 = 0,015$, ступінь жолоблення має бути вибрано із меж від 8 до 11. Приймається 10;

ступінь точності поверхонь виливка має бути вибрано із меж від 12 до 19. Приймається 16;

– клас точності маси вилівка має бути вибрано із меж від 7 до 15.

Приймається 11;

– номер ряду припусків, залежно від попередньо встановлених показників точності вилівка, має бути вибрано із меж від 4 до 7. Середнє значення 6, яке і приймаємо для вибору припусків.

Таким чином, точність вилівка становить 11т –10 – 16 – 11 ДСТУ 8981:2020 [4], що і позначено на технологічному кресленні. Поверхні які підлягають механічному обробленню, згідно креслення деталі, наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Поверхні, які підлягають механічному обробленню

Характерний розмір від бази, мм	Шорсткість		Тип поверхні / спосіб оброблення	Вид оброблення
	Ra, мкм	Rz, мкм		
Діаметр 175	6,3	40	Внутрішня циліндрична / точіння, свердління	Чорнове
Товщина 30	6,3	40	Плоска / точіння, стругання, фрезерування	Чорнове
Висота 104	6,3	40	Плоска/точіння, стругання, фрезерування	Чорнове
Діаметр 130	1,6	10	Внутрішня циліндрична / точіння, свердління, зенкування	Напівчистове

Вибрані за ДСТУ 8981:2020 допуски та припуски на оброблення показано в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Допуски та припуски на механічне оброблення

Номінальний розмір, мм	Допуск розміру, мм	Допуск форми, мм	Вид оброблення	Загальний допуск, мм	Загальний припуск на сторону, мм
Діаметр 175	5,6	1,6	Чорнове	5,0	4,8
Товщина 30	3,6	1,0	Чорнове	4,0	2,9
Висота 104	4,4	1,0	Чорнове	5,0	3,4
Діаметр 130	5,0	1,2	Напівчистове	5,0	4,8

3.6. Проектування стрижня

Застосовується один центральний стрижень із ступінчастим переходом діаметрів. Крім цього, для виконання вікон розміром 26 мм у стінках вилівка у стрижня передбачено відповідної конфігурації виступи, що показано на технологічному кресленні (розріз Б – Б).

За складністю стрижень відносять до III класу (прості стрижні із особливими елементами рельєфу). Згідно класифікації за масою та розмірами, стрижень дрібний. Вибрані розміри вертикальних знакових частин, формувальні уклони та технологічні зазори вказано в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Розміри знакових частин стрижня

Висота стрижня, мм	Діаметр, мм	Вертикальний знак, мм		Зазори, мм	Уклони, °	
112	200	Верхній	20	Вертикальний $S_1 = 0,4$ Горизонтальний $S_2 = 0,4$ Боковий $S_3 = 0,4$	Верхній	10
		Нижній	30		Нижній	7

3.7. Розрахунок розмірів і вибір опок

Так як виливок має невеликі розміри, то з метою економії формувальної суміші та скорочення тривалості виробництва краще розмістити 2 виливка в формі. Розміщення виливків у кількості 3, 4 і більше потребує вже відносно великої опоки. Для розрахунку розмірів опок потрібно керуватися рекомендованими відстанями щодо розташування моделей виливків і ливникової системи у формі. Ці рекомендовані відстані наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Мінімальні відстані розташування в опоках елементів ливарної форми для виливків масою до 50 кг

Мінімально допустимі відстані, мм				
від верху моделі до верху опоки	від низу моделі до низу опоки	від моделі до стінки опоки	між моделями	довжина живильника
60	50	50	40	30

Розрахункову схему для визначення довжини та ширини опок наведено на рис. 3.2. Під час розрахунків використано дані з табл. 3.6.

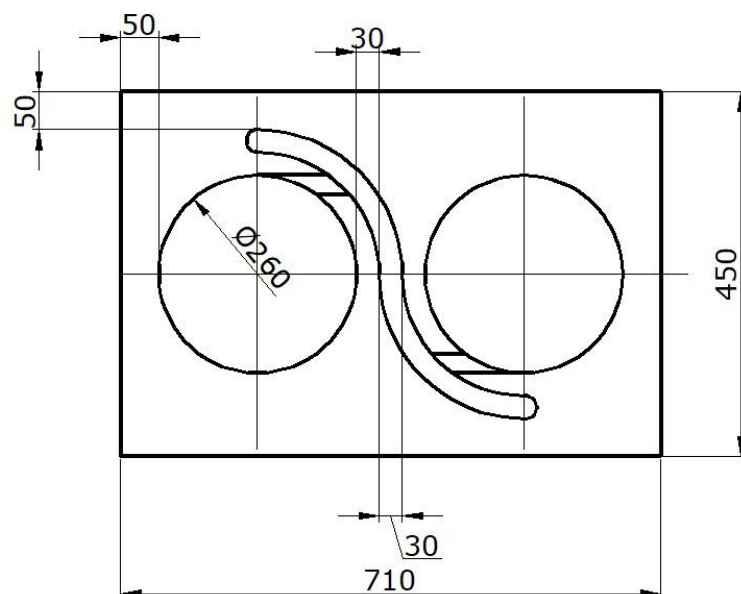


Рисунок 3.2 – Ескіз до розрахунку розмірів опок

Мінімальну довжину опоки розраховано за формулою:

$$L = 2d + 2k_1 + 2k_2 + b_{\text{шл}}, \quad (3.1)$$

де d – діаметр моделі виливка (без врахування вушок, наявність яких не впливає на довжину опоки, так як вони розташовані не по довжині опоки), мм;

k_1 – відстань від краю моделі до стінки опоки, мм;

k_2 – відстань від виливка до шлаковловлювача (довжина живильника), мм;

$b_{\text{шл}}$ – ширина шлаковловлювача, мм.

Останнє значення ще невідоме, тому приймається попередньо $b_{\text{шл}} = 20$ мм. В такому разі:

$$L = 2 \cdot 200 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 30 + 20 = 580 \text{ мм.}$$

Мінімальну довжину опоки розраховано за формулою:

$$B = d + 2k_1 + 2k_2 + b_{\text{шл}}. \quad (3.2)$$

Прийнявши раніше відомі величини, отримано:

$$B = 260 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 30 + 20 = 440 \text{ мм.}$$

Висоту нижньої опоки розраховано за формулою:

$$H_1 = h_1 + k_3, \quad (3.3)$$

де h_1 – висота нижньої половини моделі виливка, мм;

k_3 – відстань від контрладу опоки до моделі виливка, мм.

Використавши рекомендацію із табл. 3.6 та врахувавши розмір моделі виливка, отримано:

$$H_1 = 104 + 50 = 154 \text{ мм.}$$

Висоту верхньої опоки розраховано за формулою:

$$H_2 = h_2 + k_4, \quad (3.4)$$

де h_2 – висота верхньої половини моделі виливка, мм;

k_4 – відстань від контрладу опоки до моделі виливка, мм.

Використавши рекомендацію із табл. 6.6 та врахувавши розмір моделі виливка, отримано:

$$H_2 = 50 + 60 = 110 \text{ мм.}$$

Отже, мінімальна розрахункова довжина опоки становить 580 мм, ширина 440 мм, висота нижньої та верхньої відповідно 154 та 110 мм. Згідно ГОСТ 14979 – 69 [5], вибираємо сталеві парні опоки:

- верхня (0272-0001) розмірами 600×500×125 мм, маса 50 кг;
- нижня (0272-0002) розмірами 600×500×150 мм, маса 53 кг.

Решта конструктивних елементів опок за даними [5]:

- середній габаритний розмір – 500 мм;
- товщина стінок 8 мм;
- відстань між осями центрувальних отворів $750 \pm 0,2$ мм;
- діаметр центрувального отвору у втулках 20 мм;
- матеріал центрувальної та напрямівної втулока – сталі 45Л, твердість втулок HRC 45–52;
- метод спарювання: «штирем» так як опоки низькі. Довжина штирів – 180 мм;
- розмір буртиків 35 мм.

Для опок із середнім габаритним розміром до 500 мм включно виконуються ребра-хрестовини не виконуються. Всі невказані конструктивні елементи опок та їх розміри наведено в [5] та на кресленні форми у складеному вигляді.

3.8. Проектування та розрахунок ливникової системи

При вибраному положенні виливка в формі метал можна подавати в будь-яку циліндричну стінку. Головне, щоб струмінь металу не потрапляв на стрижень або безпосередньо в стінку форми під прямим кутом, в такому разі метал повільно і рівномірно заповнює порожнину форми, а ймовірність потрапляння у виливок неметалевих вкраплень є мінімальною.

Для чавуну рекомендовано застосовувати ливникову систему, що звужується, яка сприяє затриманню шлаку. Що стосується підведення металу на вигляді в плані, то для виливків круглого перерізу метал слід подавати по дотичній.

Виливок «Корпус» має невелику висоту (104 мм), тому найкращим варіантом є підведення металу або зверху або збоку, по роз'єму форми. Як було вказано під час вибору площини роз'єму форми, виливок має певні ускладнення конструкції (чотири виступи на зовнішній поверхні), які унеможливають виготовлення виливка в одній півформі і відповідно верхнє заливання.

Крім цього, верхня горизонтальна поверхня виливка (горизонтальна стінка) є занадто вузькою для подачі металу у це місце. Тому більш доцільно підводити метал у порожнину виливка по роз'єму форми. Тобто застосовується горизонтальна бічна ливникова система. Виливок із СЧ150 не є масивним та відповідальним, тому застосовуємо саму просту конструкцію ливникової системи без додаткових гальмівних елементів (дроселів) та сітки. Надлив застосовувати не треба, так як чавун СЧ150 має малу об'ємну усадку та виливок є дрібним. За маси виливка 5,7 кг та діаметра 260 мм достатньо одного живильника.

Шлаковловлювач має форму змійки з метою зменшення довжини живильників та кращого ефекту затримання шлаку.

Площу найменшого перерізу (живильників $\sum F_{\text{жив}}$) знаходимо за формулою Озана–Дітерта [6]:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{G_{\text{вил}}}{[p \times t \times \mu (2 \times g \times H_p)^{0.5}]}, \quad (3.5)$$

де $G_{\text{вил}}$ – маса всіх виливків в формі, кг. $G_{\text{вил}} = 5,7 \times 2 = 11,4$ кг;

ρ – густина сплаву в рідкому стані, кг/см³. Для чавуну $\rho = 0,007$ кг/см³;

τ – тривалість заливання форми, с;

μ – коефіцієнт, який враховує втрати на тертя та повороти в ливниковій системі. Для чавунних дбірних виливків за умови лиття в піщано-глинясті форми формовці по-сирому приймаємо $\mu = 0,38$ [6];

g – прискорення вільного падіння, см/с²;

H_p – розрахунковий металостатичний напір, см.

Розрахунковий металостатичний напір визначається за формулою:

$$H_p = H_{\text{ст}} - h_v^2 / (2h_0), \quad (3.6)$$

де $H_{\text{ст}}$ – відстань від рівня підведення живильників у виливок до рівня металу у ливниковій чаші, тобто висота верхньої опоки, см;

h_v – відстань по вертикалі від місця підведення живильника до верхньої точки виливка, см;

h_0 – висота виливка у положенні заливання, см (рис. 3.3).

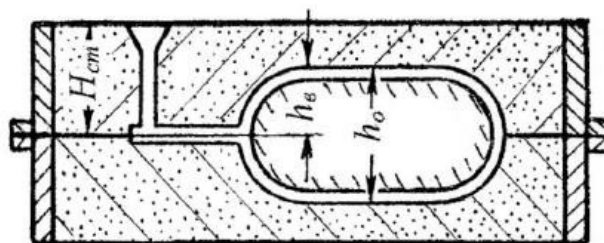


Рисунок 3.3 – Схема до визначення розрахункового металостатичного напору

Згідно рис. 3.3, маємо: $H_{\text{ст}} = 15,0$ см (висота верхньої опоки), $h_{\text{в}} = 3,0$ см, $h_0 = 10,4$ см. В такому разі:

$$H_p = 15 - 3,0^2 / (2 \cdot 10,4) = 14,3 \text{ см.}$$

Тривалість заливання для чавунних тонкостінних виливків розраховується за формулою:

$$\tau = S \times G^m, \quad (3.7)$$

де G – маса виливка, кг;

S – коефіцієнт, який залежить від товщини стінки виливка. При товщині стінки 15–20 мм, $S = 2,2$ [6];

m – коефіцієнт, $m = 1/3$.

Тривалість заливання форми:

$$\tau = 2,2 \times 5,7^{1/3} = 3,9 \text{ с.}$$

Приймається $\tau = 4,0$ с. Для виливків масою до 450 кг під час визначення площ перерізів інших елементів ливникової системи рекомендовано приймати співвідношення:

$$\sum F_{\text{ж}}^{\phi} : \sum F_{\text{шл}}^{\phi} : \sum F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,10 : 1,15. \quad (3.8)$$

де $\sum F_{\text{ж}}^{\phi}$ – сумарна площа перерізу живильників у формі, см^2 ;

$\sum F_{\text{шл}}^{\phi}$ – сумарна площа перерізу шлаковловлювачів у формі, см^2 ;

$\sum F_{\text{ст}}$ – сумарна площа перерізу стояків у формі, см^2 .

За формулою (3.5) сумарна площа живильників дорівнює:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{11,4}{[0,007 \times 4,0 \times 0,38(2 \times 9,81 \times 14,3)]^{0.5}} = 6,37 \text{ см}^2.$$

Площа перерізу одного живильника складає:

$$F_{\text{жив1}} = \frac{\sum F_{\text{жив}}}{2} = \frac{6,37}{2} = 3,19 \text{ см}^2.$$

Живильники для чавунних виливків мають трапецеподібний переріз. Товщина живильника приймається рівною 0,7–0,8 від товщини стінки, до якої він підведений. Приймається $h_{\text{ж}} = 12$ мм. Для живильника у формі трапеції його площа перерізу становить:

$$F_{\text{ж}} = \frac{a+b}{2} h_{\text{ж}}, \quad (3.9)$$

де a – нижня основа перерізу живильника;

b – верхня основа перерізу живильника.

При цьому одна сторона трапеції перерізу має бути більша за другу на 4–6 мм. Розв'язавши це рівняння з вищенаведеними умовами, отримаємо розміри живильника $a = 29$ мм та $b = 24$ мм. Тоді, $F_{\text{жив1}} = 3,18 \text{ см}^2$. Довжина живильника для вилівка масою до 10 кг складає близько 30 мм. Для шлаковловлювача площа його перерізу:

$$\sum F_{\text{шл}} = 6,37 \times 1,10 = 7,01 \text{ см}^2.$$

Шлаковловлювачів у формі два. Тому площа перерізу одного становить $3,50 \text{ см}^2$. Переріз шлаковловлювачів для чавунних виливків – також трапеція.

З метою ефективного затримання шлаку висота шлаковловлювача має бути в 2–3 рази більша за висоту живильника. Тобто, можна прийняти $h_{\text{шл}} = 25$ мм. Сторони перерізу шлаковловлювача в такому випадку складають 11 та 17 мм.

Стояк у формі один. Він має круглий переріз і виконується конусним з ухилом 2–4°. Діаметр нижньої основи стояка визначають за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F_{\text{ст}}}{\pi}}, \quad (3.10)$$

де $F_{\text{ст}}$ – площа поперечного перерізу стояка, см^2 . $F_{\text{ст}} = 1,15 \times 6,37 = 7,33 \text{ см}^2$.

При такій площі перерізу діаметр стояка становить 3,06 см або 31 мм.

Вибираємо розміри ливникової воронки. Для цього визначається масова витрата чавуну:

$$G_{\phi} = \frac{G_{\Sigma}}{\tau}, \quad (3.11)$$

де G_{Σ} – сумарна металоємність форми, враховуючи масу ливникової системи, кг;

τ – тривалість заливання форми, с.

Ливникова система складає приблизно 20 % від сумарної маси виливків в формі. Тому $G_{\Sigma} = 1,2 \times 2 \times 5,7 = 13,7$ кг/с; $G_{\phi} = \frac{13,7}{4,0} = 3,43$ кг/с.

Масовій витраті металу порядку 3,4 кг/с відповідає ливникова воронка №3 [6], яка має висоту 75 мм.

3.9. Формувальна та стрижнева суміші

3.9.1. Формувальна суміш

Для виливка «Корпус» застосовується формування по-сирому, так як виливок має масу близько 6 кг та нескладну конфігурацію. Формування здійснюється у машинний спосіб, в парних опоках. Застосовується суміш на основі кварцового піску із зв'язувальним матеріалом – бентонітом. Перевага бентоніту – більша зв'язувальна здатність (в 2-3 рази), ніж звичайної (вогнетривкої, каолінової) глини, більша газопроникність, вибиваємість та термостійкість. Суміш раще піддається регенерації. Для лиття дрібних чавунних виливків слід застосовувати дрібнозернистий пісок, наприклад фракції 0,16 мм. Вміст глинястої складової в суміші має бути не більше 1,0 %.

Суміш готується у змішувальних бігунах (котковий змішувач). Вміст оборотної суміші складає близько 90-95 %. Склад формувальної суміші наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Склад формувальної суміші, % [7]

Оборотна суміш	Кварцовий пісок 2K ₂ O ₂ 016	Бентонітово-вугільна суспензія (на базі бентоніту БП ₁ T ₂)	Крохмаліт
93-95	5-6	0,3-0,7	0,03-0,04

Крохмаліт додають у суміш з метою збільшення міцності, текучості та формувальності. Крохмаліт також покращує відбиток моделі, підвищує міцність у сирому стані, знижує обсипаємість форми.

3.9.2. Стрижнева суміш

Для виготовлення стрижнів вибрано холоднотвердну суміш (ХТС). Твердіння передбачено проводити в холодному оснащенні (ящику).

Застосовується Бета-сет-процес [7]. Його переваги – універсальність практично для всіх виливків, добра якість поверхні, стрижні мають малу чутливість до вологості, добра вибиваємість. Основа процесу – продування фенолформальдегідної смоли парами метилформіату [7]. За цього методу стрижнева суміш може подаватись в ящик як піскодувним (піскострільним) методом, так і просто засипатись та ущільнюватись. Метод застосовується для невеликих стрижнів масою до 20 кг. Зв'язувальний компонент не містить азоту і сірки. Пісок, який застосовується, повинен містити не більше 0,5 % глинястої складової з тим, що за більшої кількості цієї складової міцність смоляної суміші знижується та підвищується газотвірність. Склад стрижневої суміші наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Склад стрижневої суміші, % [7]

Пісок кварцовий 1K ₂ O ₂ 016	Смола лужна фенол- формальдегідна СФ-3042 або Fenotec.	Затверджувач метилформіат HCOO-CH ₃
Основа	0,8-1,2	0,25-0,50

Властивості стрижневої суміші наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Властивості стрижневої суміші

Міцність при розриванні, МПа, не менше, через		Обсипаємість, % не більше	Газотворність , см ³ /г	Живучість , хв	Тривалість продування , с
1 год	24 год				
0,2	0,7	0,2	16	4-7	30

3.9.3. Добавки та протипригарні покриття

Для стабілізації вологості суміші, покращення пластичності та якості відбитку додають крохмаліт (див. вище) в кількості 0,03–0,04 %. Підвищується міцність суміші, знижується обсипаємість. З метою збільшення текучості суміші та зниження в'язкості бентоніту, в суміш (понад 100 %) вводять ПАР (поверхнево-активну речовину), наприклад поліфенольний концентрат в кількості 0,05 % від маси суміші. Розділове покриття – графіт кристалічний ливарний (ГОСТ 5279-74).

3.10. Технологія виготовлення виливка

3.10.1. Приготування формувальної суміші

Вибита з опок суміш поступає на ділянку регенерації. Застосовується механічна регенерація суміші як сама проста та дешева, так як формувальна суміш для дрібних виливків із чавуну СЧ150 не має до свого складу та якості підвищених вимог. Сутність методу полягає у механічній дії на зерна піску, при якій від цих зерен відтираються плівки зв'язувального матеріалу (бентоніту) і таким чином зерна піску знову стають «чистими» і направляються у відділення приготування суміші. Метод – відцентрове очищення зерен піску.

Процес регенерації складається з таких етапів:

- охолодження суміші до температури не більше ніж 400 °С;
- магнітна сепарація;
- подрібнення спечених грудок суміші у валкових та молоткових дробарках;
- просіювання на вібраційних ситах;
- відтирання зерен піску від оболонок глини.

Свіжий пісок просіюють на ситах з метою відокремлення випадкових частинок (каміння, галька, шматки дерева). У разі потреби (за вологості піску більше 1%) останній сушать у сушарці киплячого шару. Змішування відбувається у змішувачі з вертикальними обертальними катками («бігунами»).

3.10.2. Виготовлення стрижнів

Спочатку готують пісок (просіяний, очищений, просушений до 0,1 % вологи). Для приготування стрижневої суміші застосовують змішувачі безперервної дії (лопатевого типу). Цей процес проводиться у стрижневому відділенні, так як суміші ХТС мають малу живучість і тому мають знаходитись поруч стрижневого оснащення, без зайвого транспортування по відділенням.

У пісок подається смола (СФ-3042 або Fenotec) – близько 1 % від маси піску. Тривалість перемішування 1-2 хв. Готова суміш (без затверджувача) складається в бункери та може бути застосована не більше ніж через 4-6 год після приготування. Стрижні виготовляють на піскострільних машинах. Далі в ящик подають під тиском повітря з парами метилфоміату, де останній вступає в реакцію з лужною смолою і таким чином проводиться твердіння стрижня. Наприкінці ящик обдувають повітрям та виймають стрижень, який подають у формувально-заливально-вибивне відділення.

3.10.3. Підготовка форм

Так як висота опок не перевищує 300 мм, то ущільнення суміші в опоках краще проводити пресуванням. При цьому застосовується нижнє пресування, яке забезпечує високу міцність та точність форми біля її робочих контурів та направлений газовий режим. Півформи з модельних плит знімаються штифтовим підйомом. Застосовуються формувальна пресома машина марки 22113 для опок розміром 800*700 мм. Після пресування та кантування півформ їх встановлюють на ливарний конвейєр та обудвають стисненим повітрям. Потім перевіряють стрижні (на їх стан), встановлюють у гнізда нижньої напівформи та перевіряють правильність та надійність установки стрижнів шаблоном. Після цього форми збирають (за допомогою крану) та центрують по напрямівним штирям. Після цього форми подають на заливання.

3.10.4. Заливання, вибивання форм та фінішні операції

Температура заливання чавуну СЧ150 складає 1370-1390 °С для деталей цієї масосої групи. Відповідно, для цього чавун перегрівують над температурою плавлення на 150-200 °С. Форми заливають безперервним струменем з чайникового ковша (щоби запобігти проникненню в форму шлаку).

Температура, за якої можна вибивати виливки з форми, становить 450-500°C. Тривалість витримки виливків у формі до цієї температури знаходиться в межах 20-30 хв. Для цього форми дуже повільно перемішують по території відділення на ливарному конвеєрі на шляху до вибивальної ґратки, де їх і вибивають. Суміш провалюється вниз, а виливки з ливниковою системою залишаються на полотні і згодом подаються у відділення фінішних операцій.

Чавун є крихким сплавом, тому ливники відбивають ручним молотками. Оскільки виливки дрібні, то далі вони потрапляють у галтувальний барабан (типу ОБ-800 для дрібних виливків) де очищуються від залишків формувальної та стрижневої сумішей. Потім виливки спрямовують на очищення поверхні від пригару в дробоструминну камеру, де вони очищаються потоком дробу. Зачищення проводиться на шліфувальній машині типу ВШМ.

Після зачищення виливки поступають на термічне оброблення, де підляють графітизувальному відпалу (850-950 °C) з повільним охолодженням на повітрі. Для зняття внутрішніх напружень застосовується низькотемпературний відпал (500-550 °C, витримка 1,2-1,5 год). Після цього направляють виливки на мийку, ґрунтування та на дільницю контролю якості.

4 РОЗРАХУНОК СУМІШОПРИГОТУВАЛЬНОГО ВІДДІЛЕННЯ

4.1. Характеристика формувальної суміші

Головним технологічним завданням сумішоприготувального відділення в цеху є готування із вихідних матеріалів та подача готової формувальної суміші у формувально-заливально-вибивне відділення.

Згідно запропонованого планування ливарного цеху, відділення приготування формувальної суміші знаходиться поруч із формувально-заливально-вибивним. Таким чином, суміш подається без зайвих транспортних пересувань.

В цеху, що проєктується, виготовляють форми з єдиних сирих піщано-глинястих формувальних сумішей.

Для забезпечення номенклатури виливків, яку було проаналізовано в розділі 1, єдина суміш цілком забезпечує необхідну якість та точність. Це дешевше, простіше та скоріше, ніж застосовувати облицювальні та наповнювальні суміші. До того ж, оборотну суміш можна застосовувати повторно і багаторазово після регенерації. Для виливків масою до 100 кг форми не сушать (для дрібних виливків міцність сирої форма цілком достатня), тобто проводиться формування в сирій формі.

Стрижневу суміш готують у стрижневому відділенні, так як ця суміш має обмежену живучість і тому має бути подана в стрижневі ящики без транспортування крізь інші відділення.

Склад та властивості формувальної суміші наведені в попередньому розділі в табл. 3.7.

Застосування бентоніту замість каолінової глини забезпечує більшу питому міцність форм та меншу обсипаємість, що дає змогу транспортувати форми з меншим ризиком забруднення виливків неметалевими (піщаними) вкрапленнями. Бентоніт має меншу термостійкість порівняно з каоліновими глинами, але для виливків масою до 100 кг ця термостійкість достатня. З бентонітом підвищується точність та якість поверхні виливків.

Після багаторазових заливань бентоніт поступово втрачає зв'язувальні властивості, тому суміш потребує свіжих добавок. Глиняста складова, накопичуючись у суміші в процесі багаторазового викорювання, зменшує газопроникність, тому її вміст не повинен перевищувати 10 %. Крохмаліт додають додатково для контролю ступеню вологості і підвищення міцності в зоні конденсації води.

Пісок на основі кварцу як наповнювач є найдешевшим та цілком задовільним варіантом, порівняно з дорогими хромітовими, цирконовими пісками, шамотом.

У регенований (оборотній) суміші частина зерен піску розтріскується внаслідок контакту з рідким металом, тому свіжий пісок необхідно додавати з метою компенсації і вирівнювання зернового складу.

4.2. Структура сумішоприготувального відділення

Перелік діляниць сумішоприготувального відділення, яке є об'єктом проєктування, наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Дільниці сумішоприготувального відділення

Дільниця	Призначення	Робочий матеріал	Технологічне устаткування
Склад вихідних формувальних матеріалів	Збереження, накопичення, розподіл матеріалів	Пісок, бентоніт	Транспортне
Підготовки свіжих матеріалів	Підготовка піску, бентоніту та добавок до подавання у змішувач	Пісок, бентоніт, крохмаліт, мелене вугілля	Молоткова дробарка, млин шаровий тонкого помолу, сита
Приготування бентонітової суспензії	Приготування бентонітової суспензії	Бентоніт, вода	Установка з баком для приготування
Центрального сумішоприготування	Змішування компонентів	Пісок, бентоніт, крохмаліт, мелене вугілля	Змішувачі з вертикальними обертовими котками
Зберігання сумішей	Зберігання сумішей	Формувальна суміш	Бункери
Лабораторія	Дослідження властивостей суміші та її складових	Всі	Дослідницьке лабораторне устаткування
Технічні та побутові	Ремонт устаткування, зберігання запчастин та оснащення, кімнати відпочинку, санвузли	-	-

4.3. Розрахунок маси суміші та її компонентів на річну програму

Густина формувальної суміші в розпушеному стані – 1250 кг/м^3 , ущільненої на пресовій машині – 1750 кг/м^3 .

Виливки розбиваються на 2 групи: масою до 20 кг та більше 20 кг.

Проведено точний розрахунок витрати суміші, результати якого відображено в табл. 4.2. і табл. 4.3. При цьому брак на просипання суміші прийнято 15 %.

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат формувальної суміші на річну програму

Інд поз	Назва вилівка	Маса одного вилівка, кг	Кількість вилівок в формі	Розмір опоки в просвіті, мм	Маса вилівок в формі, з ливниковою системою та надливками (для сталевих вилівок), кг	Кількість форм на рік, шт	Об'єм однієї форми, м ³	Об'єм форм, м ³ /рік				Витрата суміші, т/рік
								разом	металу	стрижнів	суміші	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Виливки до 20 кг												
Чавун												
1	Кронштейн лівий	1,9	4	600×500×125/150	9,12	1581	0,0825	130,43	2,00	1,33	127,1	158,88
2	Кронштейн правий	1,9	4	600×500×125/150	9,12	1581	0,0825	130,43	2,00	1,33	127,1	158,88
3	Корпус підчіпника	3,3	4	700×500×125/125	15,84	6324	0,0875	553,35	13,91	9,27	530,17	662,71
4	Втулка	1,6	4	600×500×125/150	7,70	6324	0,0825	521,73	6,76	4,51	510,46	638,08
5	Кронштейн 1	3,8	4	700×500×125/125	18,24	3162	0,0875	276,68	8,01	5,34	263,33	329,16
6	Шків 1	7,2	2	600×500×125/150	17,28	3162	0,0825	260,87	7,59	5,06	248,22	310,28
7	Кришка 1	2,05	4	600×500×125/150	9,84	1581	0,0825	130,43	2,16	1,44	126,83	158,54
8	Кришка 2	3,4	4	700×500×125/125	16,32	1581	0,0875	138,34	3,58	2,39	132,37	165,46
9	Шків 2	9,4	2	700×500×150/150	22,56	6324	0,105	664,02	19,82	13,21	630,99	788,74
10	Кронштейн2	2,7	4	700×500×125/125	13,00	3162	0,0875	276,68	5,71	3,81	267,16	333,95
11	Корпус	5,3	2	600×500×125/150	12,72	3162	0,0825	260,87	5,59	3,73	251,55	314,44
Сталь												
12	Штурвал	3,9	4	700×500×200/125	28,1	1581	0,1138	179,92	5,66	2,36	171,9	214,88
13	Штуцер	6,8	2	700×500×250/150	24,5	25296	0,140	3541,44	78,95	32,90	3429, 59	4286,99
14	Стакан	12,5	2	700×500×250/150	45	6324	0,140	885,36	36,25	15,10	834,01	1042,51

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Виливки понад 20 кг												
Чавун												
15	Стріла права передня	66,2	1	1100×800×200/250	79,4	6324	0,396	2504,30	69,74	75,80	2358, 76	2948,45
16	Стріла ліва передня	66,2	1	1100×800×200/250	79,4	6324	0,396	2504,30	69,74	75,80	2358, 76	2948,45
17	Півмуфта	60, 4	1	1100×800×200/250	72,5	6324	0,396	2504,30	63,68	69,22	2371, 4	2964,25
18	Кришка 3	70, 1	1	1100×800×200/250	84,1	6324	0,396	2504,30	73,87	80,29	2350, 14	2937,68
19	Фланець напівмуфти	26	2	1100×800×200/250	62,4	3162	0,396	1252,15	27,40	29,78	1194, 97	1493,71
Сталь												
20	Барабан	43,2	1	700×500×300/200	80	12648	0.175	2213,40	128,90	78,46	2006, 04	2507,55
21	Колодка	27,7	2	1100×800×300/250	102,5	3162	0,484	1530,41	41,29	25,13	1463, 99	1829,99
22	Повзун	25,6	2	1100×800×300/250	95	3162	0,484	1530,41	38,27	23,29	1468, 85	1836,06
Разом для чавуну											13849,3	17311,66
Разом для сталі (з врахуванням надливів)											9374,4	11717,98
ВСЬОГО											23223,7	29029,64

Таблиця 4.3 – Витрати компонентів суміші (середній розрахунковий склад)

Сплав	Річна витрата суміші, т		Компоненти									
	номінальна	з урах. браку	кварц. пісок		регенерат		бентоніт		крохмаліт		інше	
			%	т	%	т	%	т	%	т	%	т
Чавун	17312	19909	4	796,4	95,12	18937,4	0,5	99,5	0,03	6,0	мелене вугілля – 0,35	69,7
Сталь	11718	13476	5	673,8	94,28	12705,2	0,6	80,6	0,07	9,4	ПАР – 0,05	6,7
ВСЬОГО	29030	33385		1470,2		31642,6		180,1		15,4		

Річну витрату формувальної суміші визначено за формулою:

$$V = [V_{\phi} - (V_{\text{ме}} + V_{\text{ст}})] \times K \times \alpha \times k_{\text{пр}}, \quad (4.1)$$

де V_{ϕ} – річний об’єм форм, м^3 ;

$V_{\text{ст}}$ – річний об’єм стрижнів, м^3 ;

$V_{\text{ме}}$ – річний об’єм металу в формах, м^3 ;

k – коефіцієнт перерахунку від ущільненої суміші до розрихленої;

α – коефіцієнт нерівномірності споживання формувальної суміші, $\alpha = 1,15$;

$k_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, який враховує витрати суміші на просипання, $k_{\text{пр}} = 1,15$.

Для пресування під середнім тиском відношення густини пресованої та розпушеної суміші $k = 1,75/1,25 = 1,4$. Для чавунних виливків:

$$V_1 = 13849,3 \times 1,15 \times 1,4 \times 1,15 = 25642 \text{ м}^3.$$

Для сталевих виливків:

$$V_2 = 9374,4 \times 1,15 \times 1,4 \times 1,15 = 17357 \text{ м}^3.$$

Для сталевих литва кількість суміші збільшують на 15 % (для дрібних виливків), тобто $V_2 = 17357 \times 1,15 = 19960 \text{ кг}$. Різниця між сумою річних витрат усіх сумішей і загальною масою використаної оборотної суміші знаходиться у вигляді пилу і тому видаляється із цеху системами вентиляції.

4.4. Розрахунок кількості сумішоприготувального устаткування

Кількість одиниць устаткування для приготування формувальної суміші визначається за формулою:

$$n = (V \times \tau \times k_n) \times (\Phi_d \times g), \quad (4.2)$$

де V – річний об'єм суміші, м³;

τ – тривалість циклу перемішування, год;

k_n – коефіцієнт нерівномірності споживання суміші, $k_n = 1,15$;

Φ_d – дійсний річний фонд часу роботи устаткування;

g – об'єм замісу, м³.

Таблиця 4.4 – Розрахунок кількості змішувачів

Потік	Витрата суміші з врахуванням нерівномірності та просипання, м ³	Модель змішувача	Продуктивність, м ³ /год	Об'єм замісу, м ³	Тривалість перемішування, хв	Розрахункова кількість змішувачів	Прийнята кількість змішувачів	Коефіцієнт завантаження
Чавун	25642	15102	15	0,50	2	2,18	3	0,73
Сталь	19960	15104	25	1,0	3	0,77	1	0,77
ВСЬОГО	45602							

Бункери-відстійники мають об'єм, який не має перевищувати 50 % від погодинної потреби в суміші.

4.5. Організація роботи сумішоприготувального відділення

Загальну схему приготування формувальної суміші наведено на рис. 4.1.

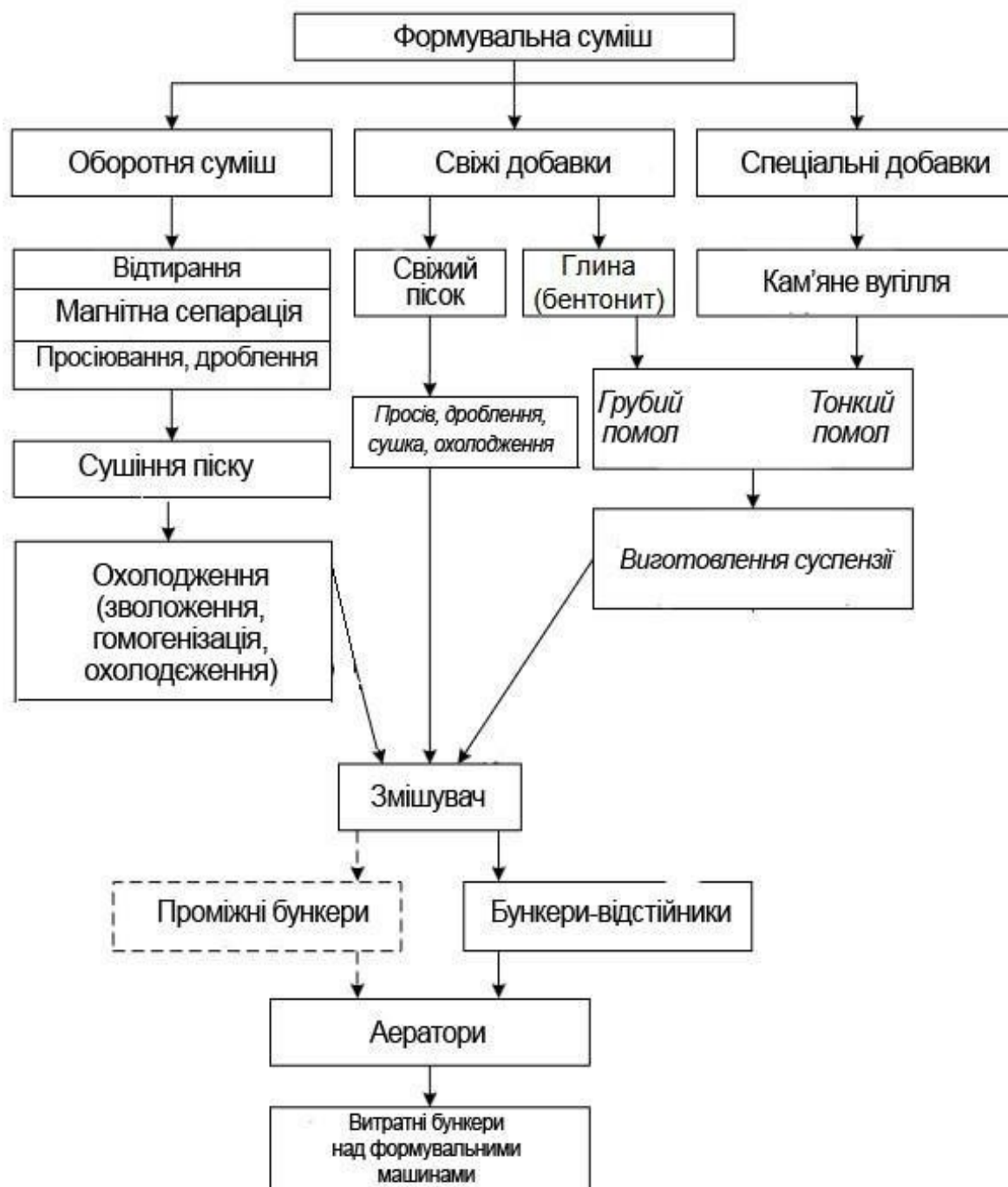


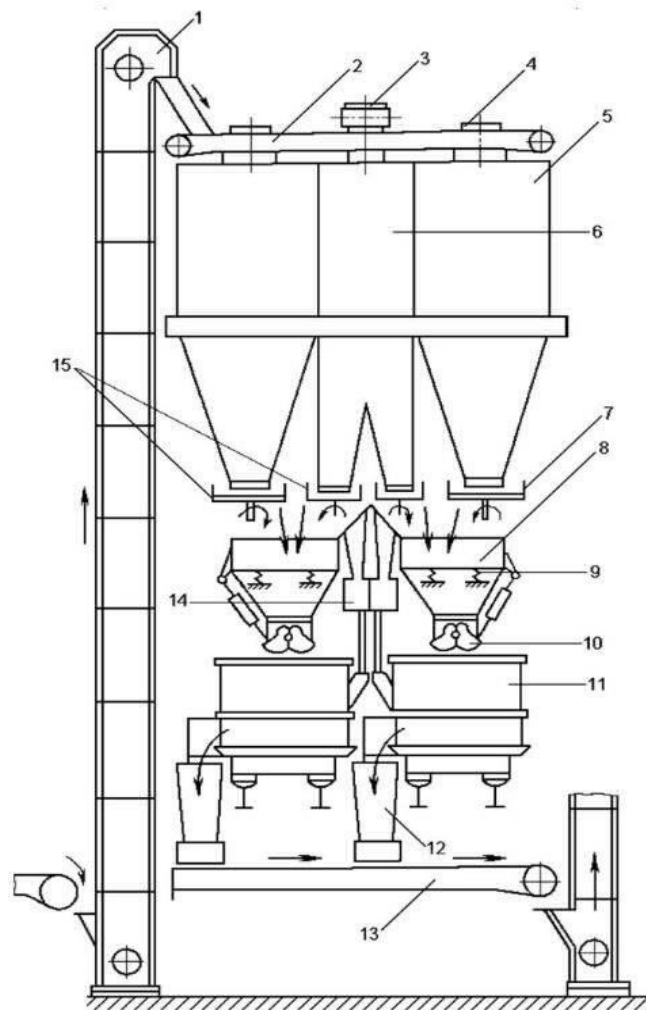
Рисунок 4.1 – Технологічна схема приготування формувальної суміші

Змішування компонентів потрібно не лише з точки зору механічного змішування, а головне – для надання суміші необхідних формувальних якостей. Для цього застосовують змішувачі з вертикальними обертовими котками, відомі в ливарному виробництві як «бігуни». Переваги таких змішувачів – це простота технологічного процесу та його налагодженість, безшумність та надійність роботи, легке регулювання дозування компонентів за масою та часом, надання суміші необхідних формувальних властивостей за рахунок впливу на структуру та фізико-механічні властивості компонентів завдяки особливостям конструкції змішувача. Так, головною задачею змішування є рівномірне розподілення саме глинястої складової в суміші. Рівномірний розподіл глинястої складової по поверхні зерен наповнювача досягається за рахунок перебування суміші у змішувачі протягом певного часу. Моментом закінчення перемішування можна вважати показник однорідності суміші.

Конструкція змішувача наступна. Установка (рис. 4.2) складається із змішувачів періодичної дії 11, бункерів для оборотної суміші 5, бункера для піску 6 з тарілчастими живильниками 7 і 15, дозувальних бункерів 8, дозаторів води та глинястої суспензії 14, проміжних бункерів 12 з живильниками, роздавального стрічкового конвеєра 13, елеватора 1 та системи стрічкових конвеєрів 2 та 3 з плужковими скідниками 4, що забезпечують подачу в бункери вихідних матеріалів. Оборотна суміш і пісок подаються з бункерів 5 та 6 тарілчастими живильниками 7 та 15 у вагові бункерні дозатори 8 місткістю 2 м³. Вагові бункерні дозатори мають опори з тензометричними датчиками 9 системи автоматичного зважування та забезпечені щелепними затворами з пневмоприводом. Суміш і пісок подаються у ваговий бункер одночасно, причому доза піску визначається часом роботи тарільчастого живильника.

Після припинення подачі піску живильник 7 продовжує подачу оборотної суміші до тих пір, поки маса суміші з піском в дозуючому бункері не

досягне необхідної величини. Після цього система автоматичного зважування відключає живильник 7 і дає команду на відкриття щелепного затвора 10.



1 – елеватор; 2, 3 – стрічкові конвеєри; 4 – плужкові скидники; 5 – бункер для відпрацьованої суміші; 6 – бункера для піску; 7, 15 – тарілчасті живильники; 8 – дозувальні бункери; 9 – тензометричні датчики; 10 – щелепний затвор; 11 – змішувачі періодичної дії; 12 – проміжний бункер; 13 – конвеєр; 14 – дозатор води та суспензії бентоніту

Рисунок 4.2 – Схема змішувальної установки

Послідовність приготування суміші: вводиться частина води (з метою попередження щільного прилипання до стінок змішувача сухої суміші), суміш продувають повітрям, потім подають решту води і перемішують.

Паралельно йде подача піску і оборотної суміші у дозатори. Із змішувача суміш вивантажується в проміжний бункер 12 з живильником місткістю на два-три заміси. Живильник рівномірно видає суміш на роздавальний стрічковий конвеєр 13. Тривалість перемішування – 3 хвилини.

4.6. Устаткування сумішоприготувального відділення

Для регенерації суміші застосовується комплекс механічної регенерації марки 14112 продуктивністю 12 тонн/год. Обладнання яке містить в собі комплекс механічної регенерації 14112 наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Устаткування комплексу регенерації 14112 формувальної суміші

Тип устаткування	Марка	Призначення	Принцип дії
Барабанний електромагнітний сепаратор	ВМИ-П-65	Відокремлення металевих частинок від суміші	Оборотна формувальна суміш подається по жолобу зверху. Магнітний матеріал відхиляється від загального потоку і відривається від барабана лише внизу, де слабшає його магнітне поле і таким чином відокремлюється від суміші
Дробарка роторна дрібного дроблення	СМД-112	Дроблення суміші від комків	До фланця приймального отвору корпусу кріпиться завантажувальна воронка для подачі матеріалу з живильника до приймального лотка. Лоток далі переміщує суміш до ротора, де вона розбивається і відкидається на відбивну плиту, де додатково дробиться
Сито тонкого очищення	13331	Просіювання суміші	Механічне просіювання
Відтиральна машина	14811	Відокремлення плівок бентоніту від зерен піску	Механічне відокремлення шляхом дії інерційних сил при великій швидкості пневмопотoku
Охолоджувач-гомогенізатор	16413	Вирівнювання складу суміші, незначне зволоження та охолодження	Складається з барабана та конвеєра. Оборотно суміш в барабані обприскується водою. Додатково суміш продувається повітрям. Це забезпечує рівномірне зволоження оборотної суміші, яка пересипається через борт барабана на конвеєр
Вібраційно-каскадний класифікатор	14722	Видалення пилоподібних залишків піску, знепилення піску	Класифікаційна камера є зварною коробчастою конструкцією. В циклоні відбувається очищення запиленого повітря від пилоподібних частинок піску, у фільтрі – остаточне очищення повітря, яке вентилятором викидається назовні

Так як номінальна довжина лінії регенерації занадто велика, то ділянку регенерації розташовуємо на першому поверсі одразу під двома відділеннями – сумішоприготувальним та формувальним (вони розташовані на 2-му поверсі).

Класифікатор 14722 має найбільшу висоту із всього устаткування сумішоприготувального відділення.

Устаткування, потрібне для підготовки свіжих компонентів суміші, наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Устаткування для підготовки свіжих компонентів суміші

Тип устаткування	Марка	Призначення	Принцип дії
Сито барабанне грубого очищення	173M1	Грубе просіювання піску	Механічне просіювання
Сушарка барабанна	СОБМ-2	Сушка піску	Сушка в барабані, який повільно обертається і омивається всередині димовими газами при спалюванні природного газу. Пісок перекочується всередині барабана і сушиться за температури 400-450 °С.
Дробарка первинного дроблення валкова	СМД-115	Грубе дроблення піску, вугілля та бентоніту	Матеріал подрібнюється за рахунок удару молотків, що швидко обертаються по шматках матеріалу, ударів шматків один об одного і об броньові плити, на які матеріал відкидається. Надійшовши у камеру дроблення, матеріал піддається ударам молотків, що швидко чередуються через обертання ротора
Млин тонкого помолу	МШЦ-900×1800	Тонкий помол вугілля	Матеріал подрібнюється за рахунок перетирання його шарами (30-40 % від місткості барабана) які перекочуються в корпусі млина.

Устаткування, потрібне для підготовки єдиної формувальної суміші, наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Центральна змішувальна установка та аератор

Тип устаткування	Марка	Призначення	Принцип дії
Змішувач з вертикальними обертовими котками	15101 та 15104	Комплексна підготовка єдиної суміші для формування	Механічне перемішування котками
Аератор	16113	Насичення повітрям та аерація суміші	Пересипання суміші зі стрічки на стрічку, перелопачування її

Кількість одиниць устаткування сумішоприготувального відділення розраховується за формулою (4.2) . Результати розрахунку наведено в табл. 4.8.

Устаткування під номерами 4, 6, 7 та 8 через малі коефіцієнти завантаження працює періодично по мірі завантаження і зберігання матеріалу у відповідних проміжних бункерах.

Таблиця 4.8 – Кількість устаткування сумішоприготувального відділення

№	Кількість матеріалу, од	Обладнання	Марка	Продуктивність	Кількість		Коефіцієнт Кз
					розрахована	прийнята	
Устаткування для регенерації							
1	45602 м ³	Дробарка роторна дрібного дроблення	СМД-112	24 м ³ /год	0,61	1	0,61
2	45602 м ³	Сито тонкого очищення	13331	25 м ³ /год	0,61	1	0,61
3	57003 т	Відтиральна машина	14811	25 т//год	0,73	1	0,73
4	45602 м ³	Охолоджувач-гомогенізатор	16413	80 м ³ /год	0,18	1	0,18
5	57003 т	Вібраційно-каскадний класифікатор	14722	10 т//год	1,83	3	0,61
Устаткування для підготовки свіжих матеріалів							
6	1280 м ³ (пісок з вугіллям та бентонітом)	Сито барабанне полігональне грубого очищення	173М1	5 м ³ /год	0,1	1	0,1
7	1230 м ³ (пісок з вугіллям та бентонітом)	Дробарка первинного дроблення молоткова	СМД-115	6 м ³ /год	0,07	1	0,07
8	70 т (вугілля)	Млин тонкого помолу	МШЦ-900×1900	0,3-1,2 т/год (працює з 0,3 т/год)	0,08	1	0,08
Устаткування для центрального змішування та зберігання суміші							
9	25642 м ³	Змішувач з вертикальними обертовими котами	15102	15	2,18	3	0,73
10	19960 м ³		15104	25	0,77	1	0,77
11	45602 м ³	Аератор	16113	40	0,36	1	1

4.7. Склад вихідних матеріалів

Склад формувальних матеріалів являє собою критий і опалюваний власний прогін будівлі цеху, обслуговується мостовим грейферним краном.

Ширина прогону складає 24 м.

Під'їзна залізнична колія прокладена вздовж довгої стіни всього цеху.

Розвантаження матеріалів із вагонів здійснюється в яму, влаштовану вздовж шляху, яка є частиною складу сирого піску. З розвантажувальними формувальними пісками передаються грейферним краном у засіки, зазвичай заглиблені в землю на 2,5–3 м. Висота зберігання формувальних матеріалів у засіках складає 6 м.

Глину транспортують у перекидних коробах. До установки для попередньої підготовки свіжих формувальних матеріалів глина в коробах доставляється із засіків мостовим краном, а пісок – пневмотранспортом.

На території заводу назовні навпроти складу формувальних матеріалів знаходиться сушарка барабанного типу СОБМ-2 для сушки піску у випадку його надмірної вологості перед застосуванням.

Площа засіків складів формувальних матеріалів визначається за формулою:

$$F_{\text{зас.ф.м}} = 1,20 \dots 1,25 (f_{\text{п}} + f_{\text{г}} + f_{\text{в}}), \quad (4.3)$$

де $f_{\text{п}}$, $f_{\text{г}}$, $f_{\text{в}}$ — розраховані площі засіків відповідно для піску, глини і вугілля;

1,20...1,25 — коефіцієнт, який враховує збільшення визначеної площі засіків.

Площі засіків для окремих формувальних матеріалів визначають за формулою:

$$f_{\text{з.ф}} = \frac{(b \times M_{\text{хс}})}{(\Phi_{\text{кх}} H_{\text{х}} \gamma)}, \quad (4.4)$$

де b — норма зберігання компонента суміші, діб;

c – норма витрат відповідного формувального матеріалу, кг/т придатного литва;

M – річна продуктивність цеху, т/рік;

Φ_k - річний (календарний) фонд роботи, діб;

H – висота зберігання матеріалу, м;

γ – насипна густина матеріалу, т/м³.

Основні дані по формувальним матеріалам та результат розрахунку їх площ наведено в табл. 4.9.

Витрати ПАР та крохмаліту (в силу малості їх застосування) в розрахунках площ можуть не враховуватись.

Таблиця 4.9 – Площі складів формувальних матеріалів

Матеріал	Річна кількість, т	Норма витрат, кг/т литва	Насипна маса, т/м ³	Висота зберігання, м	Норма зберігання, днів	Розрахункова площа для матеріалу, м ²
Пісок сухий (в засіках цеху)	1470,2	397,35	1,5	7	10	388,94
Бентоніт сухий (в мішках на піддонах в цеху)	180,1	48,68	1,0	3	20	250,14
Оборотна суміш (бункери)	31642,6	8552,05	1,7	2	1	2585,18
Кам'яне вугілля	68,7	18,57	0,70	1	5	136,31
Графіт сріблястий (0,1 % від маси суміші)	33,4	9,03	2,15	0,2	5	43,15
Всього (з врахуванням сортування)						4085

Враховуючи розрахункову площу, необхідну для сортування та тимчасового складання / перескладання матеріалів, площі, обчислені за формулою (4.3), треба збільшити на 20 % (занесено в таблицю).

Площа лабораторії формувальних матеріалів за потужності цеху 3700 т/рік має складати 60 м².

4.8. Транспортне устаткування

Все транспортне устаткування сумішоприготувального відділення наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Транспортне устаткування сумішоприготувального відділення

Тип операції	Устаткування	Кількість	Вантажо- підйомність, т	Потужність, кВт
Розвантаження піску та глини в прогоні вихідних матеріалів	Мостовий грейферний кран	1	10	25
Подача піску із силосних башт на дільницю формувальних матеріалів	Пневмотранспорт нагнітальний	система	-	20
Подача піску на дільницю підготовки матеріалів	Стрічковий конвеєр шириною 800 мм	1	-	15
Подача коробів з бентонітом на дільницю підготовки матеріалів	Мостовий грейферний кран	1	5	15
Подача піску в бункер змішувача	Пневмотранспорт нагнітальний	система	-	20
Подача регенованої суміші в бункер змішувача	Ківшовий елеватор. Ширина ківша – 250 мм. Швидкість підйому – 1,0 м/с	система	-	25
Подача суспензії бентоніту в бункер змішувача, води	Трубопровід насосний	система	-	10
Пересування суміші у відділення регенерації	Стрічкові конвеєри для горизон- тального або похилого (до 15°) транспортування суміші по етапам регенерації	система	-	25
Подача готової суміші в бункери над формувальними машинами	Стрічковий конвеєр. Ширина стрічки – 250 мм. Швидкість 0,8 м/с	1	-	5
Робота з формувальними матеріалами	Кран консольний	2	5	15

4.9. Розміри відділення

Відділення розміщено у двоповерховій будівлі. На першому поверсі в сусідньому прогоні розміщено склад вихідних матеріалів, до якого примикає власне прогін сумішоприготувального відділення. Перший поверх цього прогону обладнано для регенерації оборотної суміші, а другий – для центрального сумішоприготування та підготовки вихідних матеріалів. Таким чином здійснюється не тільки горизонтальний а й вертикальних рух матеріалів (за допомогою ківшових елеваторів).

Ширина прогонів складу вихідних матеріалів та сумішоприготувального відділення складає 24 м. Висота двоповерхової будівлі над рівнем підлоги цеху – 21 м. Максимальна висота устаткування на першому поверсі – класифікатор 14722 (висота 9,85 метрів), для другого поверху – змішувач (висота 3 м).

Враховуючи висоту поверху 10,5 мм, висота будівлі складає 21 м.

5 РОЗРАХУНОК СУМІШОПРИГОТУВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

В якості центрального сумішоприготувального устаткування вибрано змішувачі з вертикальними обертовими котками періодичної дії.

Застосовуються марки змішувачів 15102 та 15104. В цьому розділі проводиться розрахунок змішувача марки 15102. При розрахунку приймається, що міцність суміші в сирому стані складає $\sigma = 0,10$ МПа.

Розрахунок проводимо на основі даних [3]. Кінематичну схему змішувача наведено на рис. 5.1.

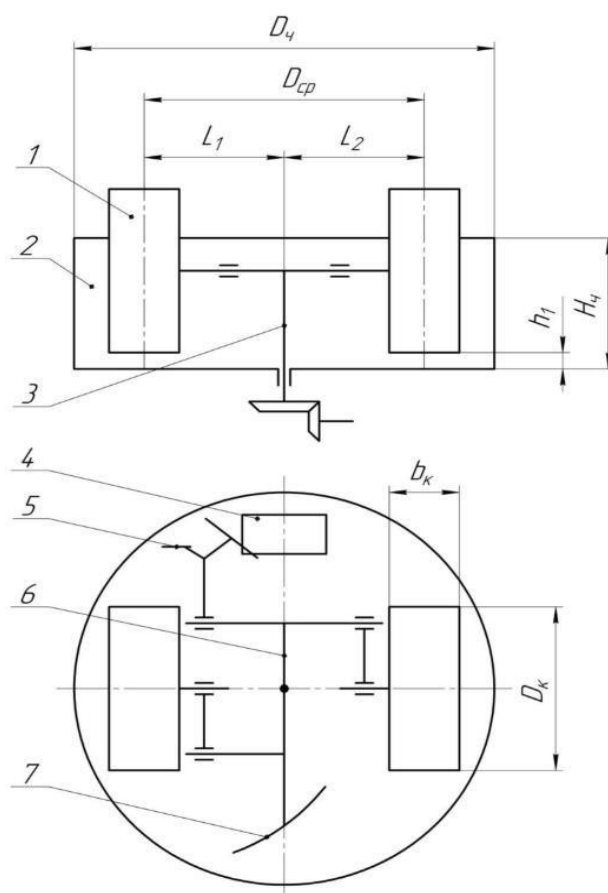


Рисунок 5.1 – Кінематична схема змішувача: 1 – коток; 2 – чаша; 3 – вал вертикальний; 4 – розвантажувальний люк; 5, 7 – плужки; 6 – траверса

5.1. Розрахунок розмірів чаші змішувача

Розраховується розмір чаші замісу виходячи із заданого об'єму замісу.
Загальна висота шару суміші на дні чаші:

$$h = h_1 + h_2, \quad (5.1)$$

де h_1 – висота шару суміші між котком і дном чаші; $h_1 = 0,02-0,025$ м;

h_2 – висота шару суміші, яка затягується під коток; $h_2 = 0,06-0,08$ м.

$$h = 0,025 + 0,07 = 0,095 \text{ м.}$$

Так як чаша змішувача має циліндричну форму, то її об'єм:

$$V_3 = \frac{0.25 (\pi \times D^2 \text{ ч})}{h}, \quad (5.2)$$

де V_3 – об'єм замісу, м³;

$D_{\text{ч}}$ – діаметр чаші, м;

h – загальна висота шару суміші на дні чаші, м.

Враховуючи те, що під котки змішувача в кожний момент потрапляє лише частина суміші, що завантажується в чашу ($\approx 80-85$ %), а решта маси суміші піднімається плужками, отримуємо розрахункову формулу для визначення діаметра чаші:

$$D_{\text{ч}} = (0,80 \dots 0,85) \times \sqrt{\frac{4V_3}{\pi h}}, \quad (5.3)$$

де V_3 – об'єм замісу, м³;

h – загальна висота шару суміші на дні чаші, м.

$$D_{\text{ч}} = (0,80 \dots 0,85) \times \sqrt{\frac{4 \times 0,50}{\pi \times 0,095}} = 2,07 \dots 2,20 \text{ м.}$$

Діаметр чаші можна визначити за даними, наведеними у табл. 5.1. Таблиця наведена для змішувачів періодичної дії з вертикальними котками, перемішування в яких проводиться на горизонтальному дні чаші (а не на вертикальних стінках).

Таблиця 5.1 – Основні параметри змішувача (ГОСТ 15955–80)

Параметр	Значення											
Об'єм замісу в одній чаші, м ³ , не менше	0,003	0,005	0,025	0,25	0,40	1,0	1,25	1,6	2,0	3,2	3,7	
Внутрішній діаметр чаші, мм	350	450	670	1450	1600	2000	2800	2300	2500	2800	3000	

На основі вищенаведеного приймається, $D_{\text{ч}} = 1,90$ м.

Висоту чаші змішувача обирають залежно від конкретних умов виробництва:

- для відкритих змішувачів $H_{\text{ч}} = 0,7-0,8$ м;
- для закритих змішувачів $H_{\text{ч}} = 0,4-0,5$ м.

Так як змішувач відкритий, то $H_{\text{ч}} = 0,80$ м.

5.2. Розрахунок розмірів котків змішувача

Висока якість змішування виходить тільки у тому випадку, якщо матеріали, що завантажуються в чашу змішувача, неодноразово піддаються дії плужків і котків, які розподіляють суміш, ущільнюють і обертають зерна піску. Це стане можливим, якщо під каток буде зтягуватись визначений по висоті шар суміші.

Для того щоби частки суміші захоплювалися котками, кут захоплення α між дотичною Т - Т і горизонтальною віссю (рис. 5.2) не повинен перевищувати деякої величини, що відповідає конструктивним параметрам змішувача. Інакше буде викидання суміші з-під котка, то й вона не захопиться котком.

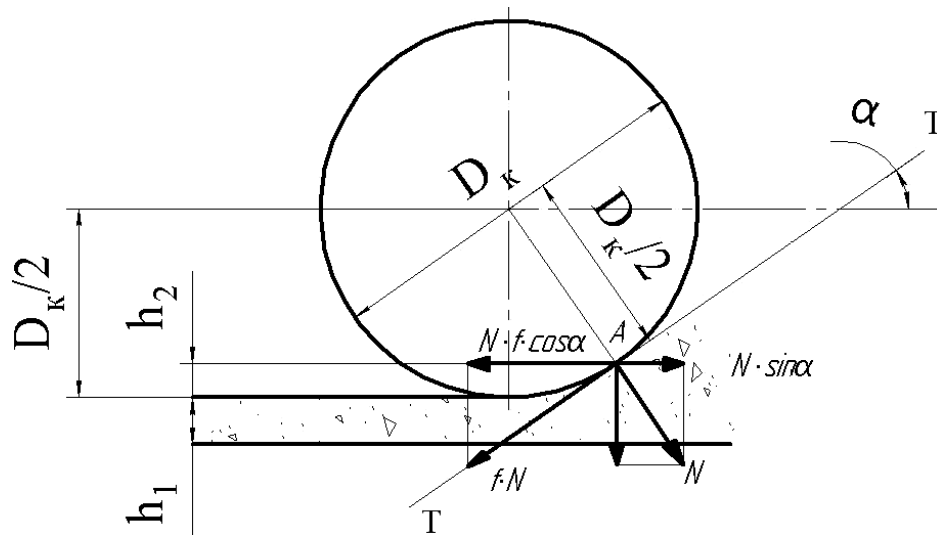


Рисунок 5.2 – Схема сил, які діють на коток

Для визначення умов захоплення суміші котками розглянемо зусилля, які діють у змішувачі в процесі переміщення котка по шару суміші.

Тиск N на суміш – це дотична, проведена через точку A , і при русі котка викликає в цій точці силу тертя, яка дорівнює добутку $f \times N$ та направлена по дотичній (тут f – коефіцієнт тертя).

Частки суміші затягуватимуться під котки за наступної умови (коли горизонтальна складова сили тертя буде більше за силу тиску котка на суміш):

$$N \times f \times \cos \alpha \geq N \times f \times \sin \alpha, \quad (5.4)$$

де $N \times f \times \cos \alpha$ – горизонтальна складова сили тертя;

$N \times f \times \sin \alpha$ – горизонтальна складова сили тиску котка на суміш.

З даної формули отримуємо:

$$f \geq \frac{\sin}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha . \quad (5.5)$$

Зазвичай коефіцієнт тертя f приймається рівним 0,7, тоді $\operatorname{tg} \alpha = 0,7$, що відповідає куту $\alpha = 35^\circ$.

Це означає, що для затягування суміші під коток кут α має бути не менше 35° . При менших значеннях α суміш буде відкидатись котком і перемішування не відбуватиметься.

З геометричних побудов виходить:

$$D_k/2 = (D_k/2) \cos \alpha + h_2, \quad (5.6)$$

Звідки:

$$D_k = (2 \times h_2) / (1 - \cos \alpha). \quad (5.7)$$

Оскільки зі збільшенням D_k зменшується кут α і відповідно збільшується D_k і зменшується $\sin \alpha$, тобто зменшується $\operatorname{tg} \alpha$, і, значить, покращуються умови захоплення суміші котками, то для розрахунків треба приймати:

$$D_k \geq (2 \times h_2) / (1 - \cos \alpha). \quad (5.8)$$

При $\alpha = 35^\circ$, зазвичай $D_k \approx 11h_2$.

Так, виходячи з усього вищевикладеного, діаметр котка визначають за формулою:

$$D_k = (11 \dots 12) h_2, \quad (5.9)$$

де h_2 – висота шару суміші, яка затягується під коток, $h_2 = 0,06-0,08$ м.

$$D_k = (11 \dots 12) \times 0,07 = 0,66 \dots 0,96 \text{ м.}$$

Приймається $D_k = 0,70$ м.

Ширину котка визначають за однією із наступних формул:

$$b = (1/3,25 \dots 1/5) D_k, \quad (5.10)$$

де D_k – діаметр котка, м.

$$b = \left(\frac{1}{3,25} \dots \frac{1}{5}\right) 0,70 = 0,14 \dots 0,22 \text{ м.}$$

або:

$$b = \left(\frac{1}{10} \dots \frac{1}{12}\right) D_{\text{ч}}. \quad (5.11)$$

де $D_{\text{ч}}$ – діаметр чаші, м.

$$b = \left(\frac{1}{10} \dots \frac{1}{12}\right) 1,90 = 0,16 \dots 0,19 \text{ м.}$$

Приймається $b_k = 0,19 \text{ м.}$

Масу котка визначають виходячи з умови, що дія в змішувачах, що перетирає, і необхідна якість змішування забезпечується за умови ущільнення елементарних шарів суміші в процесі змішування. Саме тому для тиску на суміші застосовують спеціальні пружини.

Для забезпечення якості змішування в процесі приготування суміші, коток повинен діяти на суміш з певною силою. Необхідна сила притискання суміші котком забезпечується масою котка та дією спеціальних пружин і визначається за формулою:

$$G_k = q \times b, \quad (5.12)$$

де q – допустиме навантаження на одиницю ширини котка, кН/м (табл. 5.2);

b – ширина котка, м.

Таблиця 5.2 – Залежність допустимого навантаження на одиницю ширини котка від об'єму замісу

$V_3, \text{м}^3$	0,25	0,4	0,6	1,0	1,26	1,6
$q, \text{кН/м}$	20	25	32	40	56	80

При $V_3 = 0,50 \text{ м}^3$, $q = 28 \text{ кН/м}$.

$$G_k = 28 \times 0,19 = 5,32 \text{ кН.}$$

5.3. Визначення частот обертання котків та вертикального валу змішувача

Частота обертання котків розраховується на формулою:

$$n_k = (60 \times V_k) / (\pi \times D_k), \quad (5.13)$$

де V_k – лінійна швидкість точок, що лежать на твірній котка,

$$V_k = 1,4\text{-}2,2 \text{ м/с};$$

D_k – діаметр котка, м.

$$n_k = (60 \times 1,8) / (\pi \times 0,70) = 49,1 \text{ хв}^{-1}.$$

Частота обертання вертикального валу змішувача розраховується на формулою:

$$n_B = (n_k \times D_k) / D_{cp}, \quad (5.14)$$

де n_k – частота обертання котка, об/хв;

D_k – діаметр котка, м;

D_{cp} – середній діаметр доріжки по якій котиться коток, м.

$$D_{cp} = L_1 + L_2, \quad (5.15)$$

де L_1 – відстань до середини ширини першого котка, м;

L_2 – відстань до середини ширини другого котка, м.

$$L_1 = L_2 = b_k + 0,5,$$

де b_k – ширина котка, м.

$$L_1 = L_2 = 0,19 + 0,5 = 0,69 \text{ м};$$

$$D_{cp} = 0,69 + 0,69 = 1,38 \text{ м};$$

$$n_B = (49,1 \times 0,70) / 1,38 = 25,0 \text{ об/хв.}$$

5.4. Визначення потужності привода змішувача

Потужність приводу змішувача розраховується за формулою:

$$N = N_{XX} + (N_{КОВЗ} + N_{ПЕР} + N_{ПП}) \times 1/\eta, \quad (5.16)$$

де N_{XX} – потужність холостого ходу, $N_{XX} = 3,0$ кВт;

$N_{ПЕР}$ – потужність, яка витрачається на перекочування котків по шару суміші, кВт;

$N_{КОВЗ}$ – потужність, яка витрачається на ковзання котків відносно суміші, кВт;

$N_{ПП}$ – потужність, яка необхідна для переміщення плужків, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії привода змішувача, $\eta = 0,8-0,95$.

Визначаємо потужність, яка витрачається на перекочування котків по шару суміші за формулою:

$$N_{ПЕР} = (G_K \times n_B \times \lambda \times D_{cp} \times V_3) / (60 R_K \times S_3), \quad (5.17)$$

де G_K – сила притискання суміші котком, кН;

n_B – частота обертання вертикального валу змішувача, об/хв;

D_{cp} – середній діаметр доріжки по якій котиться коток, м;

V_3 – об’єм замісу, м^3 ;

R_k – радіус котка, м;

S_3 – площа замісу, м^2 ;

λ – безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив властивостей суміші на опір коченню по ній котків.

Радіус котка є половиною його діаметра: $R_k = 0,5D_k = 0,5 \times 0,70 = 0,35$ м.

Площа замісу розраховується за формулою:

$$S_3 = (\pi \times D_{\text{ч}}^2) / 4, \quad (5.18)$$

де $D_{\text{ч}}$ – діаметр чаші, м.

$$S_3 = (\pi \times 1,90^2) / 4 = 2,83 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт, який враховує вплив властивостей суміші на опір коченню по ній котків, розраховується за формулою:

$$\lambda = 0,8 + 32 \times \sigma, \quad (5.19)$$

де σ – міцність суміші у сирому стані, МПа.

$$\lambda = 0,8 + 32 \times 0,10 = 4,0.$$

$$N_{\text{ПЕР}} = (5,32 \times 25 \times 4,0 \times 1,38 \times 0,50) / (60 \times 0,35 \times 2,83) = 6,17 \text{ кВт}.$$

Визначають потужність, яка витрачається на ковзання котків відносно суміші за формулою:

$$N_{\text{КОВЗ}} = (G_k \times b_k \times n_v \times f) / 60, \quad (5.20)$$

де G_k – сила притискання суміші котком, кН;

b_k – ширина котка, м;

n_v – частота обертання вертикального валу змішувача, об/хв;

f – коефіцієнт тертя котка по суміші, $f = 0,3-0,4$.

$$N_{\text{КОВЗ}} = (5,32 \times 0,19 \times 25 \times 0,35) / 60 = 0,15 \text{ кВт.}$$

Визначають потужність, яка необхідна для переміщення плужків, за формулою:

$$N_{\text{ПП}} = G_3 n_{\text{в}}^2 K \gamma, \quad (5.21)$$

де G_3 – вага замісу, кН;

$n_{\text{в}}$ – частота обертання вертикального вала змішувача, об/хв;

K – коефіцієнт, який враховує залежність потужності привода від властивостей формувальної суміші;

γ – геометричний параметр плужків, $\gamma = 0,00011 \text{ м}^4$.

Коефіцієнт, який враховує залежність потужності привода від властивостей формувальної суміші, розраховується за формулою:

$$K = 0,7 + 30 \times \sigma, \quad (5.22)$$

де σ – міцність суміші у сирому стані, МПа.

$$K = 0,7 + 30 \times 0,1 = 3,7.$$

Вага замісу визначається за формулою:

$$G_3 = V_3 \delta_0, \quad (5.23)$$

де V_3 – об'єм замісу, м^3 ;

δ_0 – об'ємна вага розпушеної суміші, $\delta_0 = 11\text{-}12 \text{ кг/м}^3$.

$$G_3 = 0,50 \times 12 = 6,0 \text{ кН};$$

$$N_{\text{ПП}} = 6,0 \times 25^2 \times 3,7 \times 0,00011 = 1,53 \text{ кВт};$$

$$N = 3,0 + (6,17 + 0,15 + 1,53) \times (1/0,87) = 12,02 \text{ кВт.}$$

Визначаємо необхідну потужність електродвигуна змішувача за формулою:

$$N_d = K_y N, \quad (5.24)$$

де K_y – коефіцієнт запасу потужності, $K_y = 1,04-1,20$.

$$N_d = 1,1 \times 12,02 = 13,22 \text{ кВт.}$$

5.5. Вибір електродвигуна

Знаючи необхідну потужність двигуна, вибираємо асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором марки АИР180М8 потужністю 15 кВт та частотою обертання вихідного вала 1500 об/хв.

Таблиця 5.3 – Технічна характеристика спроектованого змішувача з вертикальними котками (на базі мод. 15102)

Об'єм замісу, м ³	0,5
Внутрішній діаметр чаші, мм	1900
Висота чаші, мм	800
Кількість чаш	1
Діаметр котка, мм	700
Ширина котка, мм	190
Маса котка, кг	-
Кількість котків	2
Кількість відвалів	1
Частота обертання вертикального вала, об/хв	25
Зусилля тиску котка, кН	5,32
Потужність приводу електродвигуна, кВт	15
Частота обертання вала електродвигуна, об/хв	1500

6 ЕНЕРГЕТИЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУ

6.1. Витрати електроенергії

Витрати електроенергії в сумішоприготувальному відділенні складаються з таких складових:

1. Витрати на устаткування для основних технологічних потреб.
2. Витрати на устаткування для допоміжних (транспортних) потреб.
3. Витрати на побутові потреби.

Остання складова є дуже малою і в розрахунках може не враховуватись.

Для розрахунку витрат на основні технологічні потреби треба користуватись переліком основного устаткування. Це наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Перелік основного технологічного устаткування

Устаткування	Марка	Потужність, кВт	Кількість	Сумарна потужність, кВт
Змішувач з вертикальними обертовими котками	15102	22	3	66
	15104	37	1	37
Дробарка роторна	СМД-112	17	1	17
Сито тонкого очищення	13331	7	1	7
Відтиральна машина	14811	30	1	30
Охолоджувач- гомогенізатор	16413	87	1	87
Вібраційно-каскадний класифікатор	14722	36	3	108
Сито барабанне полігональне грубого очищення	173М1	8	1	8
Дробарка первинного дроблення молоткова	СМД-115	150	1	150
Млин тонкого помолу	МШЦ-900×1900	22	1	22
Сита тонкого помолу	13322	6	1	6
Аератор	16113		1	7,5
Інше (10 % від суми основного)				55
РАЗОМ				600

Сумарні витрати електроенергії у відділенні:

$$W = (W_1 + W_2 + W_3)/k, \quad (6.1)$$

де W_1 – річні витрати електроенергії на основні технологічні потреби, кВт·год;

W_2 – річні витрати електроенергії на транспортні потреби, кВт·год;

W_3 – річні витрати електроенергії на побутові потреби (в основному освітлення), кВт·год;

k – коефіцієнт нерівномірності споживання, $k = 0,80$.

$$W_2 = W_{21} + W_{22}. \quad (6.2)$$

Витрати електроенергії на основне технологічне устаткування:

$$W_1 = \sum W \times K \times \Phi_d, \quad (6.3)$$

де $\sum W$ – сумарна потужність обладнання, кВт;

Φ_d – дійсний фонд часу роботи устаткування, год;

K – коефіцієнт запасу, $K = 1,2$.

$$W_1 = 600 \times 1,2 \times 3600 = 2592000 \text{ кВт} \times \text{год}.$$

Витрати електроенергії на силові установки, які працюють безперервно (стрічкові конвеєри, транспортери, елеватори тощо) визначають за формулою:

$$W_{21} = \Sigma P_b \Phi_d \eta, \quad (6.4)$$

де ΣP_b – сумарна моторна потужність устаткування, кВт;

η – коефіцієнт використання потужності, $\eta = 0,75$;

Φ_d – дійсний фонд часу роботи устаткування, год.

Дані по транспортному устаткуванню безперервного транспорту вказані в табл. 4.10.

$$W_{21} = 120 \times 3600 \times 0,75 = 324000 \text{ кВт} \times \text{год}.$$

Витрати електроенергії на силові установки, що працюють періодично (мостові та консольні) визначаються за формулою:

$$W_{22} = \Sigma P_{\text{п}} t n \eta, \quad (6.5)$$

де $P_{\text{п}}$ – потужність привода конкретного устаткування, кВт;

t – тривалість робочого циклу конкретного устаткування, год;

n – річна кількість циклів конкретного устаткування, шт;

η – коефіцієнт використання потужності, $\eta = 0,75$.

Для розрахунку користуються табл. 4.10.

$$W_{22} = 55 \times 0,1 \times 120000 \times 0,75 = 495000 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

Сумарні витрати електроенергії на транспортні засоби складають:

$$W_{12} = 2592000 + 324000 + 495000 = 3411000 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

Витрати електроенергії на побутові потреби (освітлення, ручний електроінструмент) становлять до 1 % від потреб W_{12} . Тобто, $W_3 = 0,1 \times 3411000 = 341100 \text{ кВт} \times \text{год.}$

Тоді для сумішоприготувального відділення в цілому:

$$W = \frac{(3411000 + 341100)}{0,8} = 4690125 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

6.2. Витрати стисненого повітря

Стиснене повітря в сумішоприготувальному відділенні майже не використовується. Пневмотранспорт та установка для пневматичної регенерації піску працюють в системі всмоктування та нагнітання, які працюють завдяки насосам та вентиляторам, без попереднього стиснення та без застосування компресорів. Тому розрахунок витрат стисненого повітря не проводиться.

6.3. Витрати води

У сумішоприготувальному відділенні воду використовують на такі потреби:

- технологічні: зволоження формувальних сумішей під час їх приготування, під час регенерації оборотної суміші, під час приготування глинястої суспензії;
- охолодження устаткування;
- побутові потреби.

Витрати води для приготування формувальних сумішей (з врахуванням витрат на регенерацію оборотних сумішей з коефіцієнтом 1,2–1,25), визначають за формулою:

$$V_{\text{ФС}} = 1,25 \times a \cdot \frac{P_{\text{НЩ}}}{100} \quad (6.6)$$

де a – частка вологи в суміші;

$P_{\text{НЩ}}$ – річні витрати неущільненої суміші, м³.

$$V_{\text{ФС}} = 1,25 \times 3,5 \cdot \frac{23224}{100} = 1016,1 \text{ м}^3.$$

У сумішоприготувальному відділенні установки, які працюють за високих температур (окрім барабанної сушарки) та підлягають інтенсивному охолодженню (як наприклад, печі) відсутні. Тому витрати води на охолодження устаткування приймають рівними 10 % від основних технологічних. Тобто:

$$V_{\text{ОХ}} = 1,1 \cdot 1016,1 = 11177 \text{ м}^3.$$

Сумішоприготувальне відділення не являється відділенням з великим тепловиділенням (на відміну від плавильного, фінішних операцій, формувального), тому витрати води на побутові потреби в долі технологічних витрат становлять невелику величину (приблизно 5 % від основних технологічних), тобто $V_{\text{ПОБ}} = 1,05 \cdot 11177 = 11736 \text{ м}^3$.

6.4. Газопостачання

Газ у відділенні застосовується для опалення барабанних сушарок.

Середня витрата природного газу – 8 м³/т піску. Необхідна кількість природного газу:

$$V_{\Gamma} = k \times q \times M_{\text{ПІС}}, \quad (6.7)$$

де q – витрата природного газу на сушіння піску, м³/т;

$M_{\text{ПІС}}$ – необхідна річна норма витрат піску на програму, т;

k – коефіцієнт нерівномірності витрат.

$$V_{\Gamma} = 1,15 \times 8 \times 1470,2 = 13526 \text{ м}^3.$$

8 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

8.1. Організаційний розділ

Розрахунок кількості працівників (як все в цілому і далі) проводиться тільки для спроектованого сумішоприготувального відділення. Працівники відділення діляться на категорії:

- основні, які зайняті напряму у виготовленні продукту;
- допоміжні, які зайняті у косвеному виготовленні продукту.

Кількість основних працівників по всьому цеху розраховується за формулою:

$$\underset{\text{р.н}}{\text{Ч}_{\text{пл}}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot m_i}{T_{\text{р.ч}} \cdot K_{\text{в.н}}}, \quad (8.1)$$

де n – кількість найменувань продукції;

t_i – планова трудомісткість одиниці i -го виду продукції, нормо-годин.

Для цеху з лиття дрібних виливків із сірого чавуну СЧ та вуглецевої сталі, за продуктивності 3700 т/рік, $t_i = 10 - 15$ людино – год;

m_i – кількість продукції i -го виду, одиниць;

$T_{\text{р.ч}}$ – розрахунковий ефективний час роботи одного робітника, год.

$K_{\text{в.н}}$ – очікуваний коефіцієнт виконання норми (1,0 – 1,5).

$$\underset{\text{р.н}}{\text{Ч}_{\text{см}}} = \frac{22 \times 12 \times 88}{1672 \times 1,25} = 11 \text{ працівників.}$$

Так як з різних причин не всі робітники виходять на роботу, то вводять облікову кількість працівників, яка перевищує явочну кількість в деяке число разів K .

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

$$K_{\text{п}} = \frac{100}{(100-k)},$$

де k – плановий відсоток невиходів на роботу, $k = 10,6$.

$$K_{\text{п}} = \frac{100}{(100-10,6)} = 1,12.$$

Кількість допоміжних робітників, зайнятих на ненормованих роботах (такі як кранівники, вантажники, підсобні робочі тощо), розраховують за нормами обслуговування, а саме:

$$\text{Ч}_{\text{н.н}}^{\text{см}} = \frac{m_0 \cdot \text{Пзм} \cdot K_{\text{л}}}{\text{Ноб}}, \quad (8.2)$$

де m_0 – кількість обслуговуваних об'єктів;

Пзм – кількість робочих змін протягом доби;

$K_{\text{л}}$ – коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову;

Ноб – норма обслуговування (кількість одиниць устаткування, що обслуговує один працівник).

$$\text{Ч}_{\text{н.н}}^{\text{см}} = \frac{7 \cdot 2 \cdot 1,12}{1,5} = 12 \text{ працівників.}$$

Кількість управлінських та побутових працівників визначають за кількістю робочих місць за формулою:

$$\text{Ч}_{\text{упр}} = \text{Пр. м} \cdot \text{Пзм} \cdot K_{\text{п}}, \quad (8.3)$$

де Пр.м – кількість робочих місць.

$$\text{Ч}_{\text{упр}} = 11 \cdot 2 \cdot 1,12 = 26 \text{ працівників.}$$

Враховуючи вище керівництво $\text{Ч}_{\text{упр}} = 31$ працівник.

Таблиця 8.1 – Кількість основних і допоміжних робітників для двозмінної роботи сумішоприготувального відділення

Професія, спеціальність, посада	Кваліфікація, розряд	Явочний штат		Разом	Коефіцієнт облікового складу	Обліковий склад
		1-а	2-а			
Основні робітники						
Змішувальник	3	4	4	8	1,12	9
Підготовщик свіжої суміші	3	2	2	4	1,12	4
Підготовщик оборотної суміші	3	4	4	8	1,12	9
Підготовщик глинястої суспензії	3	1	1	2	1,12	2
Разом		11	11	22		24
Допоміжні робітники						
Кранівник	2	4	4	8	1,12	9
Вантажник	1	1	1	2	1,12	2
Сортувальник	1	1	1	2	1,12	2
Комірник	1	1	1	2	1,12	2
Різноробітник	1	2	2	4	1,12	4
Слюсар з ремонту устаткування	4	1	1	2	1,12	2
Механік	4	1	1	2	1,12	2
Електромонтер	4	1	1	2	1,12	2
Разом		12	12	24		25

8.2. Розрахунок фондів заробітної плати

Для визначення заробітної плати працівникам встановлено тарифну сітку. Заробітна плата розрахована на базі схеми посадових окладів або єдиної тарифної сітки. Згідно статуту, мінімальна заробітна плата з квітня 2026 року становить 8647 грн, погодинна – 52 грн, перелік коефіцієнтів за розрядами наведено в табл. 8.2

Таблиця 8.2 – Типова тарифна сітка ЄТС на 2026 рік

Показник	Тарифні розряди							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тарифні коефіцієнти	1,0	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,54	1,64

Заробітна плата робітника нараховується добутком базової ставки (для 1-го розряду) на коефіцієнт розряду робітника, вказаного в табл. 8.2. До основної заробітної плати нараховуються також:

1. Додаткова заробітна плата у вигляді премії – 20 %.
2. Врахування важких умов праці та відпустки – 12 %.
3. Впровадження нових раціоналізаторських ідей, технологій, економії матеріалів, перепрацювання, компенсація за травматизм, на лікування – 10 %.

Для управлінського персоналу та в цілому по цехові розрахунок зарплати не проводиться. Проводиться розрахунок лише для сумішоприготувального відділення. Згідно цього складено табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Фонди заробітної плати робітників сумішоприготувального відділення

	Тарифна ставка, грн./год	Облік складу, осіб	Плановий фонд роб., год	Основна заробітна плата, грн	Премія, 20 %	Важкі та шкідливі умови праці, 12 %	Відпустка, 12 %	Інші, 10 %	Повна зарплата грн
Основні робітники									
Змішувальник	61,36	9	1672	923345,28	184669,1	110801,4	110801,4	92334,5	1421952
Підготовщик свіжої суміш	61,36	4	1672	410375,68	82075,14	49245,08	49245,08	41037,6	631978,6
Підготовщик оборотної суміш	61,36	9	1672	923345,28	184669,1	110801,4	110801,4	92334,5	1421952
Підготовщик глинястої суспензії	61,36	2	1672	205187,84	41037,57	24622,54	24622,54	20518,8	315989,3
Разом		24	1672	2462254	492450,8	295470,5	295470,5	246225,4	3791871
Допоміжні робітники									
Кранівник	56,68	9	1672	852920,6	170584,1	102350,5	102350,5	85292,06	1313498
Вантажник	52,00	2	1672	173888	34777,6	20866,56	20866,56	17388,8	267787,5
Сортувальник	52,00	2	1672	173888	34777,6	20866,56	20866,56	17388,8	267787,5
Комірник	52,00	2	1672	173888	34777,6	20866,56	20866,56	17388,8	267787,5
Різнорабiтник	52,00	4	1672	173888	34777,6	20866,56	20866,56	17388,8	267787,5
Слюсар з ремонту устаткування	66,04	2	1672	220837,8	44167,56	26500,54	26500,54	22083,78	340090,2
Механік	66,04	2	1672	220837,8	44167,56	26500,54	26500,54	22083,78	340090,2
Електромонтер	66,04	2	1672	220837,8	44167,56	26500,54	26500,54	22083,78	340090,2
Разом		25		2210986	884394,4	530636,6	530636,6	442197,2	4598851

Додатково треба врахувати, що управлінський та побутовий персонал обслуговує все підприємство в цілому, тому у частці витрат для будь-якого відділення, фонд зарплати цього персоналу буде становити частину, а саме 20 % (так як відділень п'ять). Загальний фонд заробітної плати управлінського та побутового персоналу становить по цеху 15820000 грн. Тому, додатково треба врахувати: $K_{\text{упр}} = 15824000 \cdot 0,2 = 3164800$ грн.

Далі сумуються дані по зарплаті з табл. 8.3 і щойно визначений фонд і так визначається загальний фонд заробітної плати сумішприготувального відділення:

$$K_{\text{ФЗП}} = 3791871 + 4598851 + 3164800 = 11555522 \text{ грн.}$$

8.3. Розрахунок продуктивності праці

Продуктивність праці розраховується для всього заводу в цілому.

Річний обсяг продукції, виготовленої з розрахунку на одного працівника цеху:

$$П = \frac{G}{\sum Ч}, \quad (8.4)$$

де G – обсяг продукції, виготовленої цехом (дільницею) за рік, кг;

$\sum Ч$ – чисельність працівників усіх категорій (робітників, управлінського та обслуговуючого персоналу).

Враховуючи, що в цеху працює в цілому 150 робітників, (по 20-25 на відділення та 31 персонал):

$$П = \frac{3700}{150} \approx 24,7 \text{ тонн/працівника.}$$

9 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

9.1. Розрахунок капітальних вкладень

Перелік капітальних витрат складається з 2-х частин:

1. Витрати в основні засоби (устаткування, будівлю, підйомно-транспортні засоби);
2. Витрати на оборотні засоби (оборотні запаси матеріалів, сировини, запчастин, інструменту тощо - тобто витрати на складові, які обертаються в циклі виробництва).

Визначають вартість основного та допоміжного устаткування сумішоприготувального відділення. Вартість транспортування устаткування, його монтажу і налагодження беруть у розмірі 10–25 % від його ціни. Результати заносять в табл. 9.1.

Розміри сумішоприготувального відділення наступні (без складу формувальних матеріалів та відділення регенерації суміші): довжина – 30000 мм, ширина – 18000 мм, висота (одного поверху) – 10500 мм. Площа відділення (разом з побутовими приміщеннями) в плані складає $30 \times 18 = 540 \text{ м}^2$. Об'єм приміщення: $540 \text{ м}^2 \times 10,8 = 5832 \text{ м}^3$. Побутові приміщення займають 15 % від загальної площі. Площа і об'єм складу формувальних матеріалів відповідно 540 м^2 та 5832 м^3 . Площа і об'єм відділення регенерації суміші відповідно 720 м^2 та 9000 м^3 . Вартість капіталовкладень наведено в табл. 9.2.

Таблиця 9.1 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання сумішоприготувального відділення

Модель	Кількість, шт.	Вартість за од, грн.	Загальна вартість грн.	Витрати транспортування і монтаж, грн.	Всього, грн.
Основне технологічне устаткування					
Змішувач котковий марки 15102 (з бункерами)	3	350000	1050000	189000	1239000
Змішувач котковий марки 15104 (з бункерами)	1	420000	420000	75600	495600
Аератор 16113	1	22000	22000	3960	25960
Дробарка роторна дрібного дроблення СМД-112	1	215500	215500	38790	254290
Сито тонкого очищення 13331	1	23000	23000	4140	27140
Відтиральна машина 14811	1	540000	540000	97200	637200
Охолоджувач- гомогенізатор 16413	1	780000	780000	140400	920400
Вібраційно- каскадний класифікатор 14722	3	1122500	3367500	606150	3973650
Сито барабанне полігональне грубого очищення 173М1	1	34500	34500	6210	40710
Дробарка молоткова СМД-115	1	175000	175000	31500	206500
Млин тонкого помолу МШЦ-900×1900	1	180500	180500	32490	212990
Сита тонкого помолу 13322	1	14500	14500	2610	17110
Бункери (всі)	-	120000	120000	21600	141600
Разом			6942500	1249650	8192150
Транспортне устаткування					
Кран мостовий Q = 10 т	2	540000	1080000	216000	1296000
Кран консольний Q = 2,5 т	2	120000	240000	48000	288000
Конвейєр стрічковий	3	25000	75000	15000	90000
Система пневмотранспорту	-	45000	45000	9000	54000
Додаткове обладнання	-	15000	15000	3000	18000
Разом			1455000	291000	1746000
Устаткування для очищення від пилу					
Скрубер Вентури	2	200000	400000	80000	480000
Циклон МЦ-У	2	50000	100000	20000	120000
Додаткове устаткування (фільтри, насоси, вентилятори, очисники)	-	-	50000	10000	60000
Разом			550000	110000	660000
Всього по відділенню					10598150

Таблиця 9.2 – Вартість капітальних вкладень в будівництво та комунікацій сумішеприготувального відділення (зі складом та відділенням регенерації)

Елементи будівельно-монтажних робіт	Вартість, грн/м ³	Об'єм елемента, м ³	Загальна вартість, грн.
А. Сумішеприготувальне відділення (будівля)	3700	5250	19425000
1. Водопостачання	45		236250
2. Каналізація	50		262500
3. Електропроводка	90		472500
4. Вентиляція	95		498750
Б. Побутові приміщення (будівля)	6300	582	3666600
1. Водопостачання	50		29100
2. Каналізація	100		58200
3. Електропроводка	110		64020
4. Вентиляція	120		69840
В. Зовнішній благоустрій (будівля)	100	2500	250000
Г. Склад формувальних матеріалів (будівля)	3000	5832	17496000
1. Водопостачання	40		233280
2. Каналізація	40		233280
3. Електропроводка	80		466560
4. Вентиляція	85		495720
Г. Відділення регенерації суміші (будівля)	3700	9000	33300000
1. Водопостачання	45		405000
2. Каналізація	50		450000
3. Електропроводка	90		810000
4. Вентиляція	95		855000
Всього			79777600

Для забезпечення безперервної роботи відділення застосовуються оборотні засоби. В основі оборотних засобів лежить запас матеріалів. Мінімальний запас матеріалів розраховується за умови безперервного процесу виробництва матеріальними ресурсами в період між двома черговими поставками.

Таблиця 9.3 – Вартість основних матеріалів сумішеприготувального відділення

Найменування	Витрати, тонн на річну програму	Вартість 1 тонни, тис грн/т	Середнє добове	Середнє добове споживання, тис. грн
Пісок кварцовий	1470,2	0,160	5,88	0,94
Бентоніт сухий	180,1	25	0,72	18,00
Оборотня суміш	31642,6	-	-	-
Мелене вугілля	68,7	10	0,27	2,70
Графіт сріблястий	33,4	15	0,13	1,95
Крохмаліт	16,4	40	0,07	2,80
ПАР	1,0	1620	0,004	6,50
Всього				32,9

Середньодобове споживання матеріалів визначається розраховується як їх повна закупівельна вартість, поділена на кількість робочих днів.

Середній поточний запас матеріалів визначається за формулою:

$$Z_m = M_d \cdot \frac{T_{\text{пост}}}{2}, \quad (9.1)$$

де M_d – середньодобове споживання сировини та матеріалів, грн;
 $T_{\text{пост}}$ – інтервал між поставками матеріалів у днях (приблизно 15-30 днів).

$$Z_m = 32900 \cdot \frac{20}{2} = 329000 \text{ грн.}$$

Резервний і технологічний запас беруть у розмірі 50 % від вартості поточного запасу, тобто $Z_{pz} = 165000$ грн. Загальний річний норматив оборотних коштів для відділення складає:

$$H_{zag} = 329000 + 165000 = 494000 \text{ грн.}$$

Загальні показники розрахунку капітальних втрат заносяться в табл. 9.4.

Таблиця 9.4 – Розрахунок загальних капітальних вкладень для сумішоприготувального відділення

Елементи капіталовкладень	Сума	
	грн.	%
1. Будівлі:	79777600	87,8
1.1. Виробничі	20895000	
1.2. Побутові з благоустроєм	4137760	
1.3. Склад	18924840	
1.4. Дільниця регенерації	35820000	
2. Устаткування	10598150	11,66
2.1. Основне технологічне	8192150	
2.2. Транспортне	1746000	
2.3. Допоміжне	660000	
3. Оборотні засоби	494000	0,54
Всього	90869750	100

Основна маса капіталовкладень для сумішоприготувального відділення приходить на будівлю та побутові комунікації і складає 88 %.

9.2. Визначення собівартості одиниці продукції

Собівартість продукції визначається на основі статей витрат, які вказані нижче. При цьому калькуляція витрат визначається з врахуванням сьогоденної ринкової вартості енергоресурсів. Повна вартість ресурсів розраховується множенням витраченої їх кількості на відповідну варість однієї одиниці ресурсу:

1. Матеріали – $329000 \times 250 = 82250000$ грн.

2. Енергетичні витрати:

2.1. Електроенергія (в цілому) – $4690125 \times 8,4 = 39397050$ грн.

2.2. Вода – $11736 \times 14,2 = 1666512$ грн.

2.3. Газ – $13256 \times 16,6 = 2200496$ грн.

3. Заробітна плата технологічних робітників (основна та додаткова) – 3791871 грн.

4. Єдиний соціальний внесок. Ця величина становить 22 % від загального фонду заробітної плати технологічних робітників, тобто $3791871 \times 0,22 = 834212$ грн.

5. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування. Ця величина складає 150 % від повної заробітної плати робітників, тобто $3791871 \times 1,5 = 5687807$ грн.

6. Загальновиробничі витрати складають 110 % від повної заробітної плати робітників, тобто $3791871 \times 1,1 = 4171058$ грн.

7. Витрати, які враховуються при запровадженні нових методів та засобів у виробництві, складають 20–50 % від повної заробітної плати робітників, тобто $3791871 \times 0,35 = 1327155$ грн.

8. Загальногосподарські витрати становлять 70 % від повної заробітної плати робітників, тобто $3791871 \times 0,7 = 2654310$ грн.

Сумуючи вищенаведені статті, отримують виробничу собівартість продукції, яка становить $C_{\text{Вир}} = 143980471$ грн.

Позавиробничі витрати розраховують як 60 грн на тонну придатного литва, або $3700 \times 60 = 222000$ грн.

Таблиця 9.5 – Зведений баланс розрахунку виробничої собівартості продукції

Найменування статті витрат	Сума, грн.
Заробітна плата технологічних робітників: основна додаткова	2462254 1329617
Відрахування на соціальне страхування	834212
Вартість матеріалів	82250000
Вартість енергоносіїв	43264048
Витрати пов'язані з устаткуванням та його роботою	5687807
Витрати по виробництву	4171058
Витрати на господарські потреби	2654310
Витрати на «ноу-хау»	1327155
Всього	143980471

Повна собівартість одиниці продукції – відношення собівартості продукції до продуктивності цеху:

$$C_{\pi} = C_{\text{Вир}} / B_{\pi}, \quad (9.2)$$

де $C_{\text{вир}}$ – виробнича собівартість, грн;

V_p – річна продуктивність цеху, т/рік.

$$C_{\pi} = 143980471/3700 = 38914 \text{ грн/т} \approx 39 \text{ грн/кг.}$$

9.3. Показники економічної ефективності проектування відділення

Технологічна трудомісткість виробництва:

$$t = \frac{\chi_{\text{ос}} \cdot \Phi_{\text{е}}^{\text{пл}}}{G}, \quad (9.3)$$

де $\chi_{\text{ос}}$ – сумарна кількість основних працівників, осіб;

$\Phi_{\text{е}}^{\text{пл}}$ – плановий фонд часу роботи кожного працівника в рік, год.;

G – кількість випуску продукції цеху в тоннах

$$t = \frac{11 \cdot 1860}{3700} = 5,53 \text{ нормо-год/т.}$$

Капіталомісткість продукції - це відношення сумарних витрат на будівництво та впровадження дільниці в дію до повної потужності цеху:

$$K_G = \frac{K_{\text{заг}}}{G}. \quad (9.4)$$

$$K_G = \frac{90869750}{3700} = 24560 \text{ тис. грн./ т виливків.}$$

З метою рентабельної роботи підприємства, період окупності капітальних витрат має бути менше нормативного прийнятого:

$$\Pi_1 = \frac{K_{\text{сум}}}{\Gamma\P} < \Pi_2, \quad (9.5)$$

де Π_1 – період окупності капітальних витрат;

$\Gamma\Pi$ – повна сума річного грошового потоку

о підприємства, тис грн;

Π_2 – період окупності згідно нормативних документів, років.

Розраховується грошовий потік за рік :

$$\Gamma\Pi = k_1 \cdot (P_{\text{ц}} - CB) \cdot G + \sum AM, \quad (9.6)$$

де $k_1 = 0,82$ – число, яке враховує долю прибутку в чистому вигляді;

$P_{\text{ц}}$ – ринкова вартість однієї одиниці продукції, тис грн;

CB – сумарна собівартість однієї одиниці продукції, тис грн;

$\sum AM$ – повна річна сума витрат на амортизацію, грн.

Витрати на амортизацію у сумішоприготувальному відділенні наведені в табл. 9.6.

Таблиця 9.6 – Амортизаційні витрати по групах елементів

Групи	Мінімально допустимі строки корисного використання, років	Річна норма амортизації, %
Група 3 – споруди	20	5
Група 4 – технологічне обладнання	5	20
Група 5 – транспорт	5	20

$$\Gamma\Pi = 0,82 \cdot (50 - 39) \cdot 4,7 + 0,06 \times 79777,6 + 0,17 \times 10598,1 = 40105000. \text{ грн.}$$

Тоді:

$$\Pi_{\text{ок}} = \frac{90869,750}{40105} = 2,3 < \Pi_{\text{н}}^{\text{ок}} = 20 \text{ років.}$$

Період окупності складає 2,3 роки, що значною мірою менше нормативного. Звідси висновок, що проектуване сумішоприготувальне відділення рентабельне.

Таблиця 9.7 – Техніко-економічні показники сумішоприготувального відділення

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення
1. Річний плановий обсяг виробництва продукції	тис.т	3,7
2. Загальна площа відділення (без складу)	м ²	14832
3. Виробнича площа відділення	м ²	4960
4. Капіталомісткість продукції (К _с)	$\frac{\text{грн}}{\text{т}}$	24560
5. Загальна чисельність працівників у відділенні	осіб	54
у тому числі:		11
– основний (технологічний) персонал		12
– допоміжний (технологічний) персонал		31
– управлінський та обслуговуючий персонал (по підприємству в цілому)		
6. Загальний річний фонд заробітної плати	грн	11555522
7. Середньомісячна заробітна плата одного працівника	грн	21400
8. Річний виробіток на одного працівника (продуктивність праці)	$\frac{\text{т}}{\text{особу}}$	24,7
9. Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{\text{нормо} - \text{годин}}{\text{т}}$	5,53
10. Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{\text{грн}}{\text{т}}$	38914
7. Період окупності (П _{ок})	років	2,3

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті виконано проєктування сумішоприготувального відділення ливарного цеху продуктивністю 3700 т придатних виливків на рік та розроблено технологію виготовлення виливка «Корпус» із сірого чавуну СЧ150.

Проведено аналіз виробничої програми ливарного цеху, визначено структуру основних і допоміжних виробничих відділень та обґрунтовано компонування цеху з урахуванням раціональної організації транспортних потоків і технологічних зв'язків між виробничими відділеннями.

Для деталі «Корпус» виконано аналіз конструкції, обґрунтовано вибір способу лиття в разові піщано-глинясті форми із застосуванням стрижнів із хімічнотвердних сумішей. Визначено положення виливка у формі, площину роз'єму, вибрано припуски на механічне оброблення, спроектовано стрижень, вибрано тип і розміри опок, а також розроблено ливниково-живильну систему.

Під час проєктування сумішоприготувального відділення виконано розрахунок потреби у формувальних матеріалах та сумішах, підібрано необхідне технологічне устаткування, проведено його технологічний розрахунок та визначено кількість одиниць. Це забезпечує безперервне постачання формувальних сумішей необхідної якості для виконання виробничої програми цеху.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпеки виробництва. Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на покращення умов праці, зниження впливу шкідливих виробничих факторів та підвищення рівня виробничої безпеки.

Виконаний економічний аналіз підтвердив доцільність прийнятих проєктних рішень. Запропонована технологія та структура сумішоприготувального відділення забезпечують ефективне використання устаткування, зниження виробничих витрат та отримання якісних виливків відповідно до вимог сучасного ливарного виробництва.

Отже, поставлені у дипломному проєкті завдання виконані в повному обсязі, а розроблені технічні рішення можуть бути рекомендовані для впровадження на машинобудівних підприємствах, що спеціалізуються на виготовленні чавунних та сталевих виливків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко [та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
2. Проектування ливарних цехів. Ч.2: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко [та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 316 с.
3. Формувальні матеріали Лютий Р.В., Гурія І.М. Формувальні матеріали [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р.В. Лютий, І.М. Гурія : КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 258 с.
4. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.
5. ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
6. Р. В. Лютий, І. М. Гурія. «Формувальні матеріали», підручник для студентів спец. 136 «Металургія», Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, 2020.
7. Левченко О.Г., Полукаров О.І., Зацарний В.В. та ін. Охорона праці та цивільний захист / За ред. О.Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. – 472 с.
8. Закон України «Про охорону праці».
9. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. Основи охорони праці. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
10. ДСН 3.3.6-042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

11. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
12. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
13. Нікіфоров Л.Л., Персияними В.В. Безпека праці. Виробнича безпека: навч. посібник. – М.: МГУПБ, 2006. – 257 с.
14. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці в металургійній промисловості.
15. Наказ МОЗ №741/35024 від 03.08.2020 р. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони.
16. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
17. ДБН В.2.5-28:2006. Природне та штучне освітлення.
18. ДСТУ 7234:2011. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки.
19. ДСТУ EN ISO 13849-1:2016. Безпечність машин. Частина 1. Загальні принципи проєктування.
20. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
21. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
22. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
23. НАПБ Б.01.008-2018. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників.
24. ДБН В.2.5-13-98. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд.
25. ДСТУ EN 133:2005. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація.
26. ДСТУ EN 420:2017. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги до рукавиць.

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
A4			ФЛ21.2101.1110.000ПЗ	<u>Документація</u>	1	
				Складальне креслення		
A1			ФЛ21.2101.1110.0005ДП	План сумішоприготувального відділення цеху чавунного та сталевового лиття потужністю 3700 т/рік	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Змішувач обертовий з вертикальними котками 15102	3	
		2		Змішувач обертовий з вертикальними котками 15104	1	
		3		Дробарка первинного дроблення валкова СМД-115	1	
		4		Млин тонкого помолу МШЦ-900×1800	1	
		5		Сито тонкого очищення 13322	1	
		6		Аератор 16113	1	
		7		Сушарка барабанна БН-1,2	1	
		8		Бункер прямокутний	16	
		9		Бункер циліндричний	5	
		10		Транспортер стрічковий	2	
		11		Пневмотранспорт нагнітальний для піску	4	
		12		Елеватор ковшовий для регенованої суміші	1	
				ФЛ21.2101.1110.0005ДП		
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		
Розробив	Блужненко				Літ	Архивує
Перевірів	Лютій				1	2
Т.контр.					«КПІ ім. І. Сікорського»	
Н.контр.	Лютій					
Затв.	Ямичинський					
План сумішоприготувального відділення цеху чавунного та сталевового лиття потужністю						

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація</u>		
AI			ФЛ21.2101.0001.0006ДП	Змішувач з вертикальними обертовими котками	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Важіль котка	2	
		2		Важіль плужка	2	
		3		Вал	1	
		4		Вісь	2	
		5		Каток	2	
		6		Колесо зубчасте	1	
		7		Корпус	1	
		8		Кришка	2	
		9		Обод	1	
		10		Плужок внутрішній	1	
		11		Плужок зовнішній	2	
		12		Пристрій розтискний	1	
		13		Стійка	4	
		14		Траверса	1	
		15		Упор	2	
		16		Чаша	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		17		Електродвигун АИР180М8 ГОСТ 31606-2012	1	
				ФЛ21.2101.0001.0006ДП		
Из	Лист	№ докум	Підпис	Дата		
Розробив	Блужненко					
Перевірів	Лютий					
Т.контр.						
Н.контр.	Лютий					
Затв.	Ямшинський					
					Змішувач з вертикальними обертовими котками Загальний вигляд.	
					Літ	
					Аокуш	
					Аркушів	
					1	
					2	
					КПІ ім. І. Сікорського	