

Міністерство освіти і науки України  
Криворізький національний університет  
Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра металургії чорних металів  
і ливарного виробництва

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до випускної атестаційної роботи бакалавра  
зі спеціальності 136 – Металургія

на тему: Розробка проекту чавуноливарного цеху потужністю 23000 тонн  
виливків на рік з розвісом лиття до 100 кг.

Виконав:

студент групи МТ-23-2ск

Керівник випускної роботи

Нормоконтролер

Т.в.о. завідувача кафедри

Віталій КОЗКА

Леван САІТГАРЕЄВ

Леван САІТГАРЕЄВ

Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг

2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет:** гірничо-металургійний

**Кафедра:** металургії чорних металів і ливарного виробництва

**Освітній рівень:** бакалавр

**Спеціальність:** 136 Металургія

Затверджую

т.в.о. зав. кафедрою

\_\_\_\_\_ Дмитро БАБОШКО

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**

**до випускної атестаційної роботи бакалавра**

**КОЗКА ВІТАЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

Тема роботи: Розробка проекту чавуноливарного цеху потужністю 23000 тонн виливків на рік з розвісом лиття до 100 кг.

керівник роботи: к.т.н., доцент Саїтгарєєв Л.Н.

затверджено наказом по КНУ від « 19 » 02 2026 р. № 112с

2. Строк подання роботи студентом « 25 » 05 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

5. Перелік графічного матеріалу: презентація (     стор. формату А4)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання випускної кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Віталій КОЗКА

Керівник випускної кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Леван САІТГАРЕСВ



## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота присвячена проектуванню цеху чавунного лиття для виготовлення виливків із сірого чавуну марки СЧ25 в умовах багатосерійного та масового виробництва. У роботі розглянуто питання обґрунтування виробничої програми цеху, вибору технологічного обладнання, організації роботи основних і допоміжних відділень, а також особливості розрахунку вагранки з вторинним дуттям.

У роботі виконано розрахунок виробничої програми цеху та режиму роботи обладнання, визначено річний фонд часу роботи, проведено вибір технологічного процесу виготовлення виливків і розрахунок необхідної кількості обладнання. Розглянуто роботу формувального, стрижневого, сумішеприготувального та плавильного відділень.

Особливу увагу приділено розрахунку шихти для сплаву СЧ25, вибору та розрахунку вагранки, параметрів фурмених поясів, повітропроводів, витрат дуття та конструктивних елементів плавильного агрегату. Наведено технічні рішення щодо підвищення продуктивності та енергоефективності плавильного обладнання.

Робота містить 16 таблиць, 2 рисунки, 1 креслення, презентацію на 14 слайдів.

Ключові слова: ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ЧАВУН, СЧ25, ВАГРАНКА, ВИЛИВОК, ФОРМУВАЛЬНЕ ВІДДІЛЕННЯ, СТРИЖНЕВЕ ВІДДІЛЕННЯ, ШИХТА, ПЛАВИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЛИВАРНИЙ ЦЕХ.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06. Р			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Козка В.М.			РЕФЕРАТ	Лит.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					1	1
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.			МТ-23-2ск			
Затверд.		Бабошко Д. Ю.						

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1. ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ	
ЦЕХУ .....	10
1.1. Обґрунтування та розрахунок виробничої програми .....	10
1.2. Вибір та обґрунтування місця будівництва цеху .....	12
1.3. Вибір режиму роботи ливарного цеху та розрахунок фондів часу ....	13
2. ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКА .....	15
2.1. Характеристика деталі, її призначення та особливості умов її експлуатації	15
2.2 . Вибір та обґрунтування технологічного процесу виготовлення вилівки .....	16
2.3. Вибір положення вилівка у формі .....	17
2.4.Конструювання та розрахунок ливникової системи .....	18
2.4.1. Конструювання та розрахунок надливів .....	18
2.4.2.Визначення виходу придатного .....	20
2.4.3. Конструювання та розрахунок ливникової системи .....	21
3. ПРОЄКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВІДДІЛЕНЬ ЦЕХУ .....	27
3.1. Плавильне відділення .....	27
3.1.1. Вибір та обґрунтування плавильних агрегатів .....	27
3.1.2. Розрахунок шихти для сплаву СЧ 25 .....	28
3.1.3. Розрахунок кількості плавильних агрегатів .....	34
3.1.4. Визначення площі плавильного відділення .....	35
3.1.5. Розрахунок парку ковшів .....	26
3.2. Формувально-заливно-вибивне відділення	37
3.3. Розрахунок програми формувального відділення	37
3.3.1. Вибір і розрахунок кількості формувального обладнання	38

					КНУ.РБ.136.26.112с-06. 3		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Козка В.М.			Літ.	Арк.	Акруїів
Перевір.		Сайтгарєєв Л.Н.			1	2	
Н. Контр.		Сайтгарєєв Л.Н.			ЗМІСТ		
Затверд.		Бабошко Д. Ю.			МТ-23-2ск		

3.3.2. Визначення площ формувального відділення	40
3.4. Стрижневе відділення	41
3.4.1. Розрахунок програми стрижневого відділення	41
3.4.2. Технологічний процес виготовлення стрижнів	43
3.4.3. Вибір стрижневого обладнання та розрахунок його кількості	44
3.4.4. Розрахунок площ стрижневого відділення	45
3.5. Відділення для приготування суміші	45
3.5.1. Вибір формувальної та стрижневої суміші	46
3.5.2. Розрахунок обладнання сумішеприготувального відділення	47
3.5.3. Визначення площ змішувального відділення	48
3.6. Дільниця вибивання форм і стрижнів.	49
3.7. Відділення фінішних операцій	50
3.8. Допоміжні служби	53
4. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВАГРАНКИ	55
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

					КНУ.РБ.136.26.112с-06 З	<i>Арк.</i>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

## ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з основних заготівельних баз машинобудування, моторобудування, автомобілебудування та приладобудування. Литтям отримують заготовки практично будь-якої складної конфігурації з мінімальними припусками на обробку різанням, високими службовими властивостями.

При наявності в машинах великої кількості литих деталей якість, надійність і експлуатаційні характеристики машин значною мірою залежать від якості та експлуатаційних характеристик виливків, а в окремих випадках повністю визначаються ними. У зв'язку з цим поліпшення якості продукції машинобудування прямо залежить від підвищення якості виливків, особливо з чавуну, частка яких становить від 15% (в автомобілях) до 70% (у верстатах і кузнечнопресовому обладнанні). При цьому технологія виготовлення чавунних виливків не вимагає дорогих матеріалів і обладнання, тому собівартість їх значно нижча за сталеві виливки і тим більше виливки з кольорових сплавів.

Як конструкційний залізобетонний сплав чавун застосовується давно. Незважаючи на появу великої кількості інших матеріалів, чавун поряд зі сталлю є основним матеріалом в машинобудуванні, металургії та інших металоспоживаючих галузях промисловості. Багато в чому це пов'язано з високою технологічністю чавуну і відносно низькою вартістю. Одна з основних переваг чавуну – його високі ливарні властивості. Він має хорошу текучість, невелику усадку, малу схильність до утворення тріщин. Можна також відзначити хорошу механічну оброблюваність чавуну, високу корозійну стійкість, малу чутливість до надрізів. Браковані, відпрацьовані вироби з чавуну легко переробляються. Тому значна частка випущеного чавуну йде на виробництво виливків.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06. В			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Козка В.М.			ВСТУП	Лит.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					1	2
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.			МТ-23-2ск			
Затверд.		Бабошко Д. Ю.						

Разом з тим, недостатньо високий рівень механічних властивостей призводить до збільшення матеріаломісткості виробів і стримує застосування чавуну. Низька міцність при розтягуванні обумовлена, перш за все, несприятливою формою графіту, а також підвищеним, в порівнянні зі сталлю, вмістом шкідливих домішок. На практиці розроблені різні технології впливу на процес кристалізації чавуну і обробки в твердому стані, які дозволяють наблизити властивості чавуну до властивостей сталі при збереженні всіх його переваг.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

# 1. ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ЦЕХУ

## 1.1. Обґрунтування та розрахунок виробничої програми

Відповідно до прийнятого в цеху технологічного процесу виготовлення виливків, обсяг виробництва визначає кількість і вид обладнання.

У розробленому проекті ми розглянули наступні питання:

- режим роботи цеху та дільниць;
- розрахунок фонду часу роботи обладнання;
- обґрунтування технологічного процесу виготовлення виливків;
- розрахунок кількості обладнання;
- розрахунок техніко-економічних показників;
- питання охорони праці;
- питання охорони природи.

Вихідними даними служать заданий обсяг виробництва, номенклатура деталей, маса деталей і т.д. Виробнича програма є основою для розробки технологічної частини проекту.

Проектом цеху чавунного лиття передбачено річний випуск товарної продукції 23000 тонн, маса виливків до 100 кг. Використовується ливарний сплав марки СЧ25. Характер виробництва багатосерійний і масовий.

Виробнича програма складена за деталями-представниками на основі цеху чавунного лиття і наведена в таблиці 1.1.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01 ОР			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Козка В.М.</i>			ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ЦЕХУ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>					1	5
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>				МТ-23-2ск		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д. Ю.</i>						

Таблиця 1.1 - Виробнича програма цеху

Вагова група, кг	Найменування виливка	Марка матеріалу	Маса виливка без ливників і надлишків, кг	Маса виливка з ливниками і надливами, кг	Кількість виливків на річну програму, шт	% браку в механічних у цехах	Кількість виливків з урахування браку на рік на річну програму, шт	Маса виливків без ливників і надливів на річну п програму, т	Маса виливків з ливниками і надливами на річну п програму, т	Розмір олоки, мм	Кількість виливків у формі, шт	Кількість форм на річну програму, шт	
До 5	Кришка	СЧ 25	1,7	2,2	235294	1	237646	400	522,821	800*600*150	4	59411	
	Втулка	СЧ 25	3,1	3,3	148387	1	149870	460	494,571		4	37467	
	Колектор	СЧ 25	3,8	5,1	135526	1	136881	515	698,093		4	34220	
	Корпус	СЧ 25	4,85	5,3	243298	1	245730	1180	1302,36		2	122865	
	Ролик	СЧ 25	3,8	5,1	168421	1	170105	640	867,535		6	28350	
<b>Разом по групі:</b>					<b>930926</b>		<b>940232</b>	<b>3200</b>	<b>3885,38</b>				<b>282313</b>
5-10	Кришка	СЧ 25	6,1	7,3	132786	1	134113	810	979,024		2	67056	
	Цанга	СЧ 25	7,3	11,3	122602	1	123828	895	1399,25		2	61914	
	Корпус	СЧ 25	7,7	11,1	118831	1	120019	915	1332,21		2	60009	
	Ролик	СЧ 25	8	9,5	115000	1	116150	920	1103,42		6	19358	
	Головка	СЧ 25	9,5	13	111578	1	112693	1060	1465		2	56346	
<b>Разом по групі:</b>					<b>600797</b>		<b>606803</b>	<b>4600</b>	<b>6269,904</b>				<b>264683</b>
10-50	Головка 1 ст.	СЧ 25	15	20,2	64000	1	64640	960	1308,96		2	32320	
	Головка цил.	СЧ 25	35,5	38,5	28309	1	28592	1005	1100,79		2	14296	
	Кришка	СЧ 25	25	33	43800	1	44238	1095	1459,85		2	22119	
	Напівмуфта	СЧ 25	24,5	26,5	45714	1	46171	1120	1223,53	2	23085		
	Циліндр 2 ст.	СЧ 25	30	35	47333	1	47806	1420	1673,21	1	47806		
<b>Разом по групі:</b>					<b>229156</b>		<b>231447</b>	<b>5600</b>	<b>6766,34</b>			<b>139626</b>	
50	Головка цил.	СЧ 25	90	102	21111	1	21322	1900	2174,84	1200*1000*400	1	21322	
	Маховик	СЧ 25	79	92	23924	1	24163	1890	2222,99		1	24163	
	Корпус	СЧ 25	71	90	26971	1	27240	1915	2451,60		1	27240	
	Головка 1 ст.	СЧ 25	55,5	59	34594	1	34939	1920	2061,40		1	34939	
	Картер	СЧ 25	85	101	23235	1	23467	1975	2370,16		1	23467	
<b>Разом по групі:</b>					<b>129835</b>		<b>131131</b>	<b>9600</b>	<b>11280,99</b>			<b>131131</b>	
<b>Разом по цеху:</b>					<b>1890714</b>		<b>1909613</b>	<b>2300</b>	<b>28202,614</b>			<b>817753</b>	

## 1.2. Вибір та обґрунтування місця будівництва цеху

Сучасний ливарний цех являє собою складну технологічну систему, що включає в себе сукупність виробничих відділень або дільниць, які знаходяться у складній взаємодії один з одним, в яких реалізуються різні стадії прийнятого технологічного процесу виготовлення виливків.

Кожне відділення має складну структуру, що включає сукупність різних типів технологічного та допоміжного обладнання, а також транспортних засобів, що реалізують передбачені у відділенні технологічні процеси.

Проект повинен забезпечити створення цеху з технологією, обладнанням і спорудою, що відповідають більш високому технологічному рівню, ніж в сучасних цехах. З високим рівнем механізації та автоматизації праці і виробництва; з безпечними і, по можливості, комфортними умовами праці і виробництва. А також з постійним використанням заходів і засобів, що запобігають забрудненню навколишнього середовища.

При виборі місця будівництва враховувалися наступні принципи:

- Врахування територіальності – визначення особливостей територіального розташування місця спорудження цеху; при цьому враховується наявність на невеликій відстані джерел постачання, наявність в даному районі споживачів виробленої продукції, природні умови та особливості клімату;
- Економічності – опрацювання більш економічних проектних рішень з метою забезпечення мінімальних витрат на одиницю продукції;
- Перспективності – цей принцип передбачає необхідність резервування території для розширення цеху, резервування комунікацій і потужності обслуговуючих відділень, дільниць і обладнання.

Вибір технології та обладнання ливарного цеху обумовлений технічними вимогами, що пред'являються до виливки - представника. Споживачеві необхідно, щоб виливка відповідала певним вимогам, пов'язаним з умовами експлуатації готового виробу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01 ОР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

В першу чергу визначається технологія виготовлення виливки, під вибором технології виготовлення розуміють вибір типу форми і способу заливки. При виборі типу форм орієнтуються на сплав, що заливається, серійність і конфігурацію виливка.

### 1.3. Вибір режиму роботи ливарного цеху і розрахунок фондів часу

Залежно від черговості виконання операцій технологічного процесу, вибирається режим ливарного цеху. Режим роботи цеху двозмінний паралельний, з п'ятиденним робочим тижнем, тривалістю зміни 8,2 години.

При паралельному режимі роботи цеху, всі технологічні операції виконуються одночасно на різних дільницях.

Відповідно до прийнятого режиму роботи розраховуються фонди часу роботи обладнання, робочих місць без обладнання та робочих і неробочих (вихідних) днів і тривалості робочого дня.

Номинальний фонд часу – це повний річний час, протягом якого має працювати підприємство, без будь-яких втрат, за винятком святкових і вихідних днів.

Дійсний фонд часу – це річний час, протягом якого фактично працюють робітники і виконується робота обладнання при встановленому в цеху режимі робіт. Цей фонд використовується при проведенні всіх розрахунків кількості обладнання .

$$T_n = (365 - P) \cdot C \cdot Ч,$$

де  $P$  – усереднена кількість неділь, субот, святкових днів у році;

$C$  – кількість змін;

$Ч$  – тривалість робочої зміни  $T_n = (365 - 115) \cdot 2 \cdot 8,2 = 4100$  год.

Дійсний фонд часу:

$$T_d = T_n \cdot (1 - П),$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01 ОР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Де П – коефіцієнт, що враховує втрати часу.

Дійсний фонд часу роботи обладнання зображений у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Дійсний річний фонд часу

Обладнання	Кількість змін	
	1	2
Формовочне, стрижневе, змішувальне обладнання	2030	39
Обладнання для очищення та обрубки лиття	2030	397
Автоматизовані формувальні та стрижневі лінії	-	3645
Вагранка	-	4140
Термічні печі	-	3890
Сушильні печі	2010	3975
Верстати металорізальні	2030	4015

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.01 ОР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## 2.ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКА

### 2.1.Характеристика деталі, її призначення та особливості умов її експлуатації

У роботі ми розглянули технологію виготовлення деталі «Головка 1 ступеня» масою 15 кг. Маса виливки з ливниками і надливами становить 20,2 кг. Номінальна товщина стінки 11 мм. Виливка відноситься до четвертої групи складності. Деталь працює в умовах середніх статичних навантажень, а також зазнає вібраційних навантажень, отже, вона повинна мати високі міцнісні властивості.

Деталь піддається механічній обробці. Припуски на механічну обробку визначаємо за ГОСТ 26645-85 залежно від точності виливки.

- Точність виливки 10-10;
- Габаритні розміри 294×358×105 мм;
- Клас точності розмірів і мас 14;
- Ступінь викривлення 7;
- Ряд припусків на механічну обробку 5 мм.

Хімічний склад СЧ25 і його механічні властивості представлені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1. – Хімічний склад СЧ 25

Компонент сплаву		Вміст, %
Вуглець	C	3,2 – 3,4
Кремній	Si	1,4 – 2,2
Марганець	Mn	0,7 – 1
Сірка	S	до 0,15
Фосфор	P	до 0,02

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Козка В.М.			<b>ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКА</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					1	12
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.				МТ-23-2ск		
Затверд.		Бабошко Д. Ю.						

Таблиця 2.2. - Механічні властивості СЧ 25

Тимчасовий опір $\sigma_B$	Твердість за Брінеллем НВ
250	1800 – 2500 МПа

## 2.2. Вибір та обґрунтування технологічного процесу виготовлення виливків

Технологічний процес виготовлення виливків у проектованому цеху повинен забезпечити отримання виливків, що відповідають технічним вимогам, при високій економічній ефективності виробництва в конкретних умовах даного підприємства

Для виготовлення виливки «Головка 1 ступеня» не підходить кокильне лиття, тому що характерний брак для лиття в кокиль: відбіл, газові раковини, неоднорідність структури, тріщини у виливках, що виникають при швидкому охолодженні, висока вартість кокильного оснащення, а лиття під тиском залізуглецевих сплавів не рекомендують через низьку стійкість прес-форм і камер пресування.

Тому для виготовлення нашої номенклатури ми вибрали лиття в піщано-глинисті разові форми, тому що цей вид лиття має ряд переваг: можливість виробництва виливків будь-якої групи складності, можливість механізувати виробництво, дешевизна виготовлення виливків, можливість виготовлення виливків великої маси, виливки виготовляють з усіх ливарних сплавів, крім тугоплавких.

Лиття в піщано-глинисті форми застосовують у всіх галузях машинобудування та моторобудування. Можна виготовляти виливки масою до 250 тон і з товщиною стінки від 3 мм.

У свою чергу піщано-глинисті разові форми поділяються на опочні, безопочні і стрижневі.

Безопочний метод має обмеження по масі виливків (до 100 кг) і складності конфігурації виливків. Опочним методом можна отримувати виливки практично

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

будь-якої конфігурації і маси, що задовольняє вимогам проектується цеху. Стрижневий спосіб виготовлення виливків вибирають для отримання якісних і складних по конфігурації виливків. Форми і стрижні виробляють з єдиної суміші за гарячим або холодним процесом. Ця суміш набагато дорожча за піщано-глинисту суміш (ПГС).

Порівнюючи ці три способи, перевагу віддаємо опочному формуванню, яке найбільш підходить для виготовлення виливків при масовому виробництві, оскільки цей спосіб має високу продуктивність, дає можливість швидкого переходу від однієї номенклатури виливків до іншої. При виборі з технологічно допустимих типів обладнання вибір робиться на користь мінімальної собівартості лиття.

### 2.3.Вибір положення виливка у формі

Вибір положення виливки при заливці у формі необхідно проводити відповідно до наступних правил:

1. Виливок у формі розташовувати так, щоб забезпечити спрямоване затвердіння металу.
2. При розташуванні оброблюваних поверхонь вгорі потрібно забезпечити такі умови, при яких піщані і газові раковини могли б утворитися тільки в видаляються при обробці частинах виливка.
3. Для виливків, що мають внутрішні порожнини, утворені стрижнями, обране положення повинно забезпечувати можливість перевірки розмірів порожнини форми при складанні, а також надійне кріплення стрижнів.

При виборі поверхні роз'єму форми необхідно керуватися наступними положеннями:

- 1) Форма і модель повинні мати одну поверхню роз'єму, бажано горизонтальну.
- 2) Модель повинна вільно витягуватися з форми.
- 3) При формуванні в парних опоках потрібно прагнути до того, щоб загальна

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

висота форми була мінімальною.

Керуючись цими положеннями, ми розташували наше лиття пропорційно в нижній і верхній напівформі.

## 2.4. Конструювання та розрахунок ливникової системи

З теорії ливарних процесів відомо, що об'ємні зміни, що відбуваються при затвердінні сплаву (усадка сплаву), можуть привести до утворення об'ємних усадочних дефектів у виливках. Для того щоб уникнути їх виникнення, необхідно забезпечити компенсацію об'ємної усадки у всіх ділянках виливка шляхом безперешкодної доставки до них необхідних обсягів рідкого металу з надливу. Процес компенсації об'ємної усадки називається живленням виливка.

Для здійснення ефективного живлення виливки необхідно забезпечити спрямоване до надливу затвердіння виливка, при цьому повинні виконуватися дві умови:

- у в міру наближення до надливу тривалість затвердіння перерізів виливка повинна монотонно збільшуватися;
- сплав у надливу повинен тверднути останнім.

У тих елементах виливки, де порушується спрямованість затвердіння, виникають усадочні дефекти.

### 2.4.1. Конструювання та розрахунок надливів

Надлив – це частина ливниково-живильної системи, призначена для усунення в виливку усадочної раковини і пористості.

Ефективна робота надливу забезпечується при дотриманні наступних умов:

- надлив повинен затвердіти після заливання або живильного термічного вузла;

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

- запас рідкого металу в надливу повинен бути достатнім для живлення виливки під час її затвердіння;
- форма надливу і його розташування повинні забезпечувати вільний доступ рідкого металу до виливка або живленого вузла;
- розміри і маса надливу повинні бути мінімальними.

Ми розташували шість відкритих циліндричних надливів на кожен термічний вузол нашого виливка. Після вибору найбільш раціонального типу надливу необхідно провести розрахунок кількості та розмірів надливів. При розрахунку визначають розміри надливів залежно від їх конструктивного оформлення.

Ми провели розрахунок надливів методом Й. Пржибила. Основним рівнянням цього методу є:

$$\beta \cdot V_{np} = \varepsilon_{\Sigma} \cdot (V_{n.y.} + V_{np}),$$

де:  $V_{np}$  і  $V_{n.y.}$  – обсяг надливу і живленого вузла виливки;

$\beta$  – коефіцієнт економічності надливу, що дорівнює відношенню обсягу усадочної раковини  $V_{ус.p.}$  до обсягу сплаву в надливу,

$$\beta = \frac{V_{ус.p.}}{V_{np}};$$

$\varepsilon_{\Sigma}$  – сумарна відносна об'ємна усадка сплаву.

Послідовність розрахунку надливів за методом Й. Пржибила зводиться до наступного:

- виділити у виливку всі вузли живлення і розрахувати об'єм кожного з них ( $V_{n.y.}$ );
- вибрати тип і конфігурацію надливу для кожного вузла живлення;
- залежно від прийнятої конфігурації надливу та умов його охолодження вибрати значення коефіцієнта  $\beta$ ;
- розрахувати за формулою обсяг надливу;

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

– визначити розміри нижнього перерізу надливу.

Знаходимо обсяг надливу за такою формулою:

$$V_{np} = \frac{(V_{п.у.} \cdot \varepsilon_{V\Sigma})}{(\beta - \varepsilon_{V\Sigma})}$$

Сумарна відносна об'ємна усадка сплаву  $\varepsilon_{V\Sigma}$  залежить від температури заливки. Її значення для середньовуглецевих сталей при виконанні розрахунків можна визначити за такими залежностями:

$$\varepsilon_{V\Sigma} = 0,03 + 0,00016 \cdot \Delta T$$

Тут  $\Delta T$  – перегрів сплаву над температурою ліквідусу  $T_l$ , 45 °С.

$$\varepsilon_{V\Sigma} = 0,03 + 0,00016 \cdot 45 = 0,04$$

Коефіцієнт економичності надливу  $\beta$  залежить від форми надливу, теплофізичних умов її роботи і характеру затвердіння сплаву. Для виливків з чавуну коефіцієнт  $\beta$  можна прийняти рівним: 9 – 10.

Розрахуємо об'єм першого живильного вузла, який являє собою циліндр:

$$V_{yz} = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 20^2 \cdot 105 = 131880 \text{ мм}^3 = 131,880 \text{ см}^3.$$

Об'єм надливу буде дорівнювати:

$$V_{np} = \frac{V_{п.у.} \cdot \alpha \cdot \beta}{1 - \alpha \cdot \beta} = \frac{131,88 \cdot 0,04 \cdot 10}{1 - 0,04 \cdot 10} = 87,92 \text{ см}^3.$$

Оскільки надлив – це відкритий циліндричний надлив, то його висота становитиме:

$$H_{np} = 0,9 \cdot \frac{4 \cdot V_{np}}{\pi \cdot D_1^2} = 0,9 \cdot \frac{4 \cdot 87,92}{3,14 \cdot 9} = 11,2 \text{ см}$$

#### 2.4.2. Визначення виходу придатного

Коефіцієнт виходу придатного показує, скільки металу, що заливається у форму, припадає безпосередньо на вилив. Вихід придатного розраховується за

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

формулою:

$$VG = \frac{G_{отл}}{G_{отл} + G_{приб} + G_{л.с.}} \cdot 100\%,$$

де  $G_{вил}$  – маса виливка, кг;

$G_{над.}$  – маса надлишків, що припадає на один вилив, кг;

$G_{л.с.}$  – маса ливникової системи, що припадає на одну виливку, кг.

Масу надливів можна обчислити, знаючи обсяг надливів і щільність сталі:

$$G_{пр.} = V_{пр.} \cdot \rho_{ст} = 87,92 \cdot 6 \cdot 7,2 = 3,7 \text{ кг.}$$

Масу ливникової системи визначимо як 10% від маси виливки:

$$G_{л.с.} = 0,1 \cdot G_{вил} = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ кг.}$$

Таким чином, підставивши отримані дані в вихідне рівняння, коефіцієнт виходу придатного для нашого виливка складе:

$$VG = \frac{15}{15 + 3,7 + 1,5} \cdot 100 = 74,3\%.$$

### 2.4.3. Конструювання та розрахунок ливникової системи

Заповнення форм сплавом є першим етапом формування виливки. Незважаючи на свою відносну короткочасність, заповнення форми значною мірою визначає якість виливки. Переважна більшість технологічного браку в ливарному виробництві пов'язана з неправильною організацією виливки.

Ливникова система – це система каналів і елементів ливарної форми, призначена для підведення металу до порожнини форми, її заповнення і живлення виливки.

Для забезпечення якісного заповнення форми сплавом ливникова система повинна відповідати таким вимогам:

- забезпечувати заповнення форми за певний оптимальний час;
- створювати можливість надійного уловлювання шлаку, неметалевих і газових включень;

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

- сприяти плавному надходженню сплаву в порожнину форми без розбризкування і розмивання поверхонь форми і стрижнів;
- створювати теплові умови, що сприяють спрямованому затвердінню вилівка та зниженню розвиваючих в ній ливарних напружень.

З огляду на вищезазначені вимоги, а також застосовуваний сплав СЧ25, вибираємо ливничову систему III класу, замкнуту в живильниках. Ливникова система III класу складається з ливної воронки, стояка, шлакоуловлювача і живильників.

Розрахуємо ливник для чавунного вилівка «Головка 1 ступеня» масою 15 кг.

Для визначення оптимальної тривалості заливки форми розрахуємо масу рідкого металу, що заливається у форму:

$$G = 2 \cdot (G_{\text{вил}} + G_{\text{над}}) + G_{\text{л.с.}},$$

де  $G_{\text{вил}}$  – маса рідкого металу на вилів, кг;

$G_{\text{над}}$  – маса рідкого металу на надлив, кг;

$G_{\text{л.с.}}$  – маса рідкого металу на ливник, кг.

$$G = 2 \cdot (15 + 3,7) + 1,5 = 38,9 \text{ кг.}$$

Маса рідкого металу, що заливається у форму, дорівнює 38,9 кг.

Розрахуємо оптимальну тривалість заливки за формулою Г.М.

Дубицького:

$$\tau_{\text{опт}} = S_1 \sqrt[3]{G \cdot \delta},$$

де  $S_1$  – коефіцієнт тривалості заливки (відповідно до даних Г. М. Дубицького, для чавуну приймемо  $S_1 = 2,2$ );

$G$  – маса рідкого металу, що заливається у форму, кг;

$\delta$  – переважна товщина стінки вилівки, мм ( $\delta = 9$  мм).

$$\tau_{\text{опт}} = 2,2 \sqrt[3]{11 \cdot 38,9} = 16,6 \text{ с.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Після знаходження оптимальної тривалості заливки необхідно перевірити середню швидкість підйому рівня сплаву в порожнині ливарної форми.

$$V_{\text{cp}} = C / \tau_{\text{opt}},$$

де  $C$  – висота виливки при заливці з урахуванням надливів, мм.

$$C = 105 + 11 = 116 \text{ мм},$$

$$V_{\text{cp}} = 116 / 17 = 6,8 \text{ мм/с}.$$

Порівнюючи цю середню швидкість з мінімально допустимою, отримуємо, що вона повинна бути в межах від 20 до 10 мм/с. У нашому випадку швидкість заливки не потрапляє в ці межі, тому приймаємо мінімально допустиму швидкість 10 мм/с.

Оскільки ливникова система є замкнутою в усіх елементах, то розрахунковий статичний напір ( $H_p$ ) визначається за формулою Дітера

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2 \cdot C},$$

де:  $H_0$  – початковий напір або відстань від горизонтальної осі живильників до верхнього краю верхньої опоки, мм ( $H_0 = 200$ );

$P$  – відстань від горизонтальної осі живильників до верху виливки, мм ( $P = 52,5$ );

$C$  – висота виливки, мм ( $C = 100$ )

$$H_p = 200 - \frac{52,5^2}{2 \cdot 100} = 186 \text{ мм}.$$

Площа вузького місця системи для розрахунку при заливці з поворотних ковшів буде дорівнювати:

$$\omega_{\text{уз}} = \left( \frac{G}{\rho \cdot \mu \cdot \tau_{\text{opt}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}} \right),$$

де:  $G$  – маса рідкого металу, кг;

$\rho$  – щільність сплаву при температурі заливки, 7200 кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – коефіцієнт витрати металу, 0,38;

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

$\tau_{\text{зал}}$  – тривалість заливки форми, сек;  $g$  – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с<sup>2</sup> ;

$H_p$  – розрахунковий статичний напір

$$\omega_{\text{уз}} = \frac{38,9}{(7200 \cdot 0,38 \cdot 10 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,186})} = 0,000748 \text{ м}^2 = 748 \text{ мм}^2$$

Після визначення площі перетину вузького місця ливникової системи розраховують площі поперечних перетинів інших елементів. Це здійснюється за емпіричним співвідношенням, залежним від сплаву і положення вузького місця системи. На підставі того, що ми здійснюємо заповнення форми чавуном і з поворотного ковша, то:

$$F_{\text{пит}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4.$$

Оскільки вузьким місцем у нас є живильник, але у нас їх по 2 на кожну модель, то:

$$F_{\text{пит}} = 748 / 4 = 187 \text{ мм}^2 .$$

З співвідношення знаходимо  $\omega_{\text{шл}}$  і  $\omega_{\text{ст}}$  :

$$F_{\text{шл}} = 748 \cdot 1,2 = 897,6 \text{ мм}^2 .$$

$$F_{\text{ст}} = 748 \cdot 1,4 = 1047,2 \text{ мм}^2 .$$

Після розрахунку площ перерізів визначаємо розміри всіх елементів ливникової системи.

1) Живильник

$$F_{\text{жив}} = 187 \text{ мм}^2 .$$

Використовуємо трапецієподібний живильник, тоді:

$$b_{\text{пит.в.}} = (0,7 - 0,8) \cdot b_{\text{пит.н.}} , h_{\text{пит}} = (0,7 - 1,3) \cdot b_{\text{пит.н.}}$$

де  $b_{\text{пит.в.}}$  ,  $b_{\text{пит.н.}}$  – відповідно верхня і нижня основи, мм;

$h_{\text{живл}}$  – висота живильника, мм.

Знаючи площу трапеції, можна знайти верхню основу.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$F_{\text{пит}} = \frac{b_{\text{пит.н}} + b_{\text{пит.в}}}{2} \cdot h_{\text{пит}},$$

$$2 \cdot F_{\text{пит}} = 1,75 \cdot b_{\text{пит.н}}^2,$$

$$b_{\text{пит.н}} = 14,6 \text{ мм},$$

$$b_{\text{пит.в}} = (0,7 \div 0,8) \cdot b_{\text{пит.н}} = 0,75 \cdot 14,6 = 11 \text{ мм},$$

$$h_{\text{пит}} = (0,7 \div 1,3) \cdot b_{\text{пит.в}} = 1,0 \cdot 14,6 = 14,6 \text{ мм}.$$

## 2) Шлакоуловлювач

$$F_{\text{шл}} = 897,6 \text{ мм}^2$$

$$b_{\text{шл.в}} = (0,7 \div 0,8) \cdot b_{\text{шл.н}},$$

$$h_{\text{шл}} = (0,7 \div 1,3) \cdot b_{\text{шл.н}}$$

Де  $b_{\text{шл.в}}$ ,  $b_{\text{шл.н}}$  – відповідно верхня і нижня основи, мм;

$h_{\text{шл}}$  – висота шлакоуловлювача, мм.

Розрахунок шлакоуловлювача проводимо аналогічно розрахунку живильника. Тоді отримуємо:

$$b_{\text{шл.н}} = 32 \text{ мм},$$

$$b_{\text{шл.в}} = (0,7 \div 0,8) \cdot b_{\text{шл.н}} = 0,75 \cdot 32 = 24 \text{ мм},$$

$$h_{\text{шл}} = (0,7 \div 1,3) \cdot b_{\text{шл.н}} = 1,0 \cdot 32 = 32 \text{ мм}.$$

## 3) Стояк

$$F_{\text{ст}} = 1047,2 \text{ мм}^2.$$

Для забезпечення замкнутості ливникової системи та зручності формування використовуємо конічний, розширюваний вгору круглий стояк. Конусність стояка залежить від його висоти. Ухил стояка робиться з розрахунку 2,5 мм на 10 мм висоти.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$h_{ст} = 142 \text{ мм}$$

$$d_{ст.н.} = \sqrt{\frac{\omega_{ст}}{\pi}} = \sqrt{\frac{1047,2}{3,14}} = 18 \text{ мм},$$

$$d_{ст.н} = 14,2 = 35,5 \text{ мм.}$$

#### 4) Воронка

Форма внутрішньої поверхні воронки повинна охоплювати контур падаючого струменя

Діаметр воронки дорівнює  $Dв = (2,7 \div 3,0) \cdot d_{ст.в}$ , а висота  $Hв = Dв$ .

Виходячи з конструкційних міркувань, приймемо

$$Dв = 3 \cdot d_{ст.в.}$$

$$Dв = 3 \cdot 35,5 = 85 \text{ мм.},$$

$$Hв = Dв = 106,5 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.02 ТО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

### 3.ПРОЄКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВІДДІЛЕНЬ ЦЕХУ

#### 3.1.Плавильне відділення

Плавильне відділення призначене для забезпечення цеху рідким металом. Воно зі складом шихтових матеріалів складається з дільниць підготовки та навішування шихти, виплавки металу, ковшового відділення, вибивання та ремонту вагранок.

Основні технологічні операції, що виконуються в плавильному відділенні:]

- прийом і розвантаження шихтових матеріалів;
- підготовка шихти до завантаження в піч;
- подача шихтових матеріалів до дозуючих пристроїв;
- набір і навішування складових шихти (за розрахунками);
- завантаження шихти в піч;
- розплавлення і доведення чавуну;
- випуск розплаву і шлаку у ківш, скачування шлаку і графітизуюча обробка (за необхідності);
- передача розплаву на розлив.

#### 3.1.1.Вибір та обґрунтування плавильних агрегатів

Для виплавки чавунів різних складів застосовуються вагранки (кокові, коксогазові та газові), індукційні печі різної частоти та дугові електropечі змінного або постійного струму.

Плавильний агрегат повинен забезпечити отримання необхідного хімічного складу чавуну для забезпечення експлуатаційних властивостей виливків, а також необхідний рівень його перегріву з метою отримання

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Козка В.М.</i>			ПРОЄКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВІДДІЛЕНЬ ЦЕХУ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сайтгареев Л.Н.</i>					<i>1</i>	<i>28</i>
<i>Н. Контр.</i>						МТ-23-2ск		
<i>Затверд.</i>		<i>Бабошко Д. Ю.</i>						

придатних виливків за рахунок оптимальної температури заливки. Достатній перегрів має вирішальне значення при пічній і особливо при позапічній обробці розплаву модифікуючими або легуючими добавками, введення яких необхідне для забезпечення необхідних властивостей виливків і супроводжується, як правило, зниженням температури рідкого чавуну.

Для розробленої технології отримання виливків ми застосували плавильні печі – вагранки з вторинним дуттям і мокрим пиловловлювачем. Вагранки мають ряд переваг у порівнянні з іншими плавильними агрегатами. До них відносять, перш за все, простоту конструкції, порівняно низькі енергетичні витрати, зручність, простоту управління та обслуговування, забезпечення необхідної продуктивності, особливо для цехів серійного та багатосерійного виробництва з мінімальними потребами у виробничих площах.

З метою забезпечення стабільного процесу виплавки чавуну у вагранці на основі нормалізації дуттявого режиму в даний час рекомендується використовувати вагранки з вторинним дуттям (з двома рядами фурм). Такі вагранки забезпечують підвищення температури чавуну на випуску на 30-50° С без зміни витрати коксу або зниження витрати коксу на 10-20% без підвищення температури чавуну на випуску, а також швидке виведення вагровки на стійкий температурний режим з підвищенням продуктивності, зниження в 2-4 рази викидів СО в атмосферу (поліпшення екологічної ситуації).

### 3.1.2. Розрахунок шихти для сплаву СЧ 25

Розрахунок шихти для плавки чавуну в різних плавильних агрегатах є важливим етапом в організації отримання чавуну заданого хімічного складу, що задовольняє вимогам, що пред'являються до чавуну за механічними, експлуатаційними та ливарними властивостями.

Хімічний склад сірих чавунів визначають за ГОСТ 1412-85. Для чавуну СЧ 25 можна прийняти наступний склад: 3,4% С, 1,9% Si, 0,85% Mn, не більше 0,15% S, не більше 0,2% P.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

В результаті взаємодії елементів шихти з газами, футеровкою печі і паливом відбувається зменшення (угар) або збільшення (пригар) вмісту хімічних елементів в шихті. Величина угару  $U$  залежить від типу плавильного агрегату, його конструкції і розмірів, режиму плавки, а також від виду елемента.

Наприклад, при плавці у вагранці угар кремнію становить 10-35%, угар марганцю 15-40%, угар хрому 15-20%. При плавці у вагранці з кислотою футеровкою угар фосфору дорівнює 0/

При опусканні твердої шихти у верхній частині печі відбувається випаровування вуглецю  $U_C$ , а при протіканні крапель рідкого чавуну через холосту калошу і при витримці його в горні відбувається науглерожування, викликане переходом вуглецю з коксу в чавун. Вміст вуглецю в чавуні  $C_{\text{ч}}$  можна визначити за формулою:

$$C_{\text{ч}} = C_{\text{ш}} \times (1 - U_C / 100) + K_{\text{н}},$$

де  $C_{\text{ш}}$  – процентний вміст вуглецю в шихті;

$K_{\text{н}}$ – коефіцієнт науглерожування, що представляє собою виражену у відсотках кількість вуглецю, що перейшла з коксу в чавун.

При плавці сірих чавунів в середньому можна прийняти  $K_{\text{н}}=2\%$  і  $U_C=50\%$ .

Для того щоб забезпечити в чавуні необхідний вміст вуглецю  $C_{\text{ч}}$  необхідно, щоб вміст вуглецю в шихті задовольняв наступному рівнянню:

$$C_{\text{ш}} = (C_{\text{ч}} - K_{\text{н}}) / (1 - U_C / 100).$$

Основна кількість сірки в вагранку надходить з коксом. 30% сірки коксу окислюється, а 70% переходить в чавун, що призводить до підвищення вмісту сірки в чавуні. При виконанні розрахунків приймемо пригар сірки 60%.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Рівняння для розрахунку вмісту елементів у шихті:

$$E_{ш} = E_q \times 100 / (100 - Y) .$$

При плавці у вагранці прийmemo  $Y_{Si} = 15\%$ ,  $Y_{Mn} = 20\%$ ,  $Y_S = -60\%$ ,  $Y_P = 0$ .

Визначимо вміст елементів у вагранковій шихті для виплавки чавуну марки СЧ25, при певному складі чавуну.

За формулою знаходимо:

$$Si_{ш} = \frac{1,9 \times 100}{100 - 15} = 2,24\% , \quad Mn_{ш} = \frac{0,8 \times 100}{100 - 20} = 1,0\% ,$$

$$Si_{ш} \leq \frac{0,15 \times 100}{100 + 60} = 0,094\% , \quad P_{ш} \leq 0,2\% .$$

Вміст вуглецю знайдемо за формулою:

$$C_{ш} = \frac{3,4 - 2}{1 - \frac{50}{100}} = 2,8\% .$$

Розрахунок шихти виконаємо у вигляді таблиці 3.2. Розрахунок ведемо на 100 кг рідкого чавуну.

Випаровування заліза прийmemo рівним 0,25% від його вмісту в чавуні, тобто

$$Y_{Fe} = (100 - 3,4 - 1,9 - 0,8 - 0,2 - 0,15) \times 0,25 / 100 = 0,23\text{кг} .$$

Сумарний випал елементів:  $Y = 0,34 + 0,2 + 0,23 - 0,6 - 0,056 = 0,11$  .

Прийmemo кількість відходів власного виробництва, що вводяться в шихту, рівною 25 кг, а кількість купленого чавунного брухту – 15 кг.

В іншій частині шихти використовується чушковий чавун. Вміст вуглецю в чушковому чавуні коливається від 3,4 до 4,5%, тобто значно вище значення 2,45% (рядок 7 табл. 3.2), тому для забезпечення необхідного вмісту необхідно ввести в шихту сталевий брухт.

Для отримання достатньої кількості перліту в структурі чавуну бажано разом з ливарним чавуном застосовувати в шихті переробний чавун. Частка переробного чавуну в залежності від марки виплавленого чавуну коливається від

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

10 до 25% від кількості ливарного чавуну. Прийmemo для використання в шихті ливарний чавун марки Л4БІІ (S не більше 0,03%) і переробний чавун ПЛ1БІІ (S не більше 0,02). Кількість переробного чавуну прийmemo рівною 20% від кількості ливарного. Необхідно в о застосувати низькокремністий феросиліцій ФС20 і низьковуглецевий феромарганець ФМн0,5.

Знайдемо значення сталевго брухту- A, ливарного чавуну –B, переробного чавуну- 0,2B і феросиліцію- C.

Сума кількості сталевго брухту, переробного, ливарного чавуну та феросиліцію дорівнює:

$$A + B + 0,2B + C = 60,11,$$

$$C = 60,11 - A - 1,2B .$$

Балансне рівняння за вуглецем:

$$\frac{0,3A}{100} + \frac{3,9B}{100} + \frac{0,2B \times 3,8}{100} = 1,47 .$$

Балансне рівняння по кремнію

$$\frac{0,4A}{100} + \frac{2,2B}{100} + \frac{0,2B \times 0,1}{100} + \frac{20C}{100} = 1,46 .$$

Перетворюємо рівняння:

$$0,3A + 4,66B = 147$$

$$0,4 A + 2,22B + 20C = 146$$

$$0,4 A + 2,22B + 20(60,11 - A - 1,2B) = 146$$

$$19,6 A + 21,6B = 1057$$

Вирішивши спільно рівняння останні два рівняння, отримуємо: Кількість сталевго брухту A=20,62 кг; кількість ливарного чавуну B=30,22, кількість передільного чавуну дорівнює 6,04 кг і кількість феросиліцію ФС20 дорівнює 3,22 кг.

Внесемо ці дані в таблицю 3.2. Внесемо також у відповідні рядки і колонки величини за кількістю внесених матеріалів елементів. Як видно з рядка 13,

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

необхідно внести 0,436 кг марганцю.

Кількість феромарганцю ФМн<sub>0,5</sub> дорівнює  $0,436/0,85=0,51$  кг. Внесемо цю величину в колонку 3 рядка 14 і розрахуємо кількість внесених феромарганцем елементів.

У рядку 15 наведено підсумкові дані щодо складу шихти. Видно, що вони практично не відрізняються від наведених у рядку 3 необхідних значень. Вміст сірки та фосфору в шихті менше наведених у рядку 3 граничних значень.

Для визначення хімічного складу досліджуваних матеріалів у роботі застосовували рентгенофлуоресцентний аналізатор **EXPERT 4L**. Аналіз проводили в лабораторних умовах шляхом розміщення підготовлених зразків у вимірювальній камері приладу.



Рентгенофлуоресцентний аналізатор **EXPERT 4L**

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Таблиця 3.2. - Розрахунок шихти для плавки чавуну СЧ 25 у вагрівці

Номер рядка	Найменування	Кількість, кг	Вміст елементів, %									
					Si		Mn				S	
			%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Рідкий чавун	100,0	3,4	3,4	1,9	1,9	0,8	0,8	0,2	0,2	0,15	0,15
2	Угар	0,11	-	-0,6	15	0,34	20	0,2	0	0	-60	-0,056
3	Шихта	100,11	2,8	2,8	2,24	2,24	1,0	1,0	0,2	0,2	0,084	0,094
4	Відходи	23,0	3,4	0,78	1,9	0,4	0,8	0,18	0,2	0,046	0,15	0,035
5	Чавунний брухт	17	3,2	0,54	2,0	0,3	0,5	0,085	0,2	0,034	0,1	0,017
6	Внесено	40,0	-	1,33	-	0,78	-	0,275	-	0,08	-	0,053
7	Потрібно внести	60,11	2,45	1,47	2,45	1,46	1,21	0,725	0,20	0,12	0,05	0,041
8	Сталевий брухт	20,62	0,3	0,062	0,4	0,082	0,1	0,021	0,05	0,01	0,05	0,01
9	Чавун Л4БШ	30,22	3,9	1,179	2,2	0,665	0,7	0,212	0,12	0,036	0,03	0,009
10	Чавун ПЛ1БП	6,04	3,8	0,230	1,0	0,06	0,4	0,024	0,12	0,007	0,02	0,001
11	Феросільцій ФС20	3,22	-	-	20	0,664	1,0	0,032	0,1	0,003	0,02	0,001
12	Внесено	100,11	-	1,47	-	1,46	-	0,289	-	0,056	-	0,021
13	Потрібно внести	-	-	-	-	-	-	0,436	-	-	-	-
14	Феромарганець ФМн0,5	0,51	0,5	0,003	2,0	0,01	85,0	0,436	0,3	0,002	0,003	-
15	Всього	100,62	2,803	2,24	2,25	2,24	0,99	1,0	0,137	0,138	0,074	0,074

### 3.1.3. Розрахунок кількості плавильних агрегатів

Для розрахунку кількості плавильних агрегатів необхідно скласти баланс металу по цеху, який наведено в таблиці 3.3

Розрахунок маси металозавалки в тоннах  $M_M$  слід проводити за формулою:

$$M_M = \frac{M_{Г.О} + M_{Л.С}}{100 - Y - C_K} \times 100.$$

Визначивши масу металозавалки  $M_M$ , знаходимо масу скрапу і масу, втрачену при угарі  $M_U$ , за формулами:

$$M_C = \frac{M_M \times C_K}{100} \text{ и } M_U = \frac{M_M \times Y}{100}.$$

Відсотки мас придатних виливків і ливників з надливами визначаємо за формулами:

$$M_{Г.О} \times 100\% / M_M \text{ и } M_{Л.С} \times 100\% / M_M.$$

Отримані дані вносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. – Баланс металу по цеху

Найменування статей балансу	СЧ 25	
	т	%
Придатні виливки	23000	70
Ливники та прибутки	5202,61	23
Скрап	564,05	2
Разом рідкого сплаву	28766,66	95
Угар та безповоротні врати	1438,33	5
Разом металозавалка	30204,99	100

У проектуваному цеху в якості плавильних агрегатів використовуємо вагранки з вторинним дуттям і мокрим пиловловлювачем, продуктивністю 5 т/год.

Технічні характеристики вагранки:

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		8

- Витрата коксу на 1 т. чавуну: 160 кг
- Внутрішній діаметр шахти вагранки в плавильній зоні – 900 мм ;
- Співвідношення площі перетину всіх фурм до площі перетину шахти вагранки – 15÷20 %;
- Рекомендована кількість фурм у кожному ряду – 6 шт. ;
- Рекомендована відстань між рядами фурм (по осях) – 700-900 мм ;
- Питома витрата повітря – 120-150 м<sup>3</sup> /(м<sup>2</sup> ×хв) ;
- Швидкість повітря в повітроводах (від повітродувки до фурменного поясу) – 10 – 15 м/с;
- Швидкість у фурменному поясі – 2,5 – 4,5 м/с;
- Швидкість у фурмах – 15 – 20 м/с;
- Висота фурменного поясу – 600 – 900 мм;
- Кількість дуття, що підводиться в нижній і верхній ряди фурм – 60–40 %.

Розрахунок кількості плавильних печей проводиться за формулою:

$$N = M_m \times K_n / (T_d \times q)$$

де N – кількість плавильних печей, шт.; M<sub>м</sub> – металозавалка, т;

K<sub>н</sub> – коефіцієнт нерівномірності роботи печі ;

q – продуктивність печі.

$$N = 30204,99 \times 1,2 / (4140 \times 5) = 1,75 .$$

Прийняли кількість печей 2 шт., тоді коефіцієнт завантаження печі отримуємо  $K_3 = 1,75 / 2 = 0,87$  .

### 3.1.4. Визначення площі плавильного відділення

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Площа плавильного відділення визначається кількістю робочих місць, проїздами та проходами.

Плавильне відділення розташовуємо в поперечному прольоті, що забезпечує зручне ведення плавки і доставки металу до формувальних дільниць. Приймаємо площу плавильного відділення 554 м<sup>2</sup>

### 3.1.5. Розрахунок парку ковшів

Ковші служать для транспортування рідкого металу і заливки форм. Ківш являє собою сталевий кожух, стінки і дно якого зсередини викладені вогнетривкою цеглою. Для розливу чавуну використовуємо поворотні ковші.

Розрахуємо необхідну кількість одночасно працюючих ковшів ( $N$  – ковші ємністю 2,5 т) за формулою:

$$n = q \cdot N_{\text{п}} \cdot t_0 / M \cdot 60,$$

де  $q$  - продуктивність печі, т/год;

$N_{\text{п}}$  - кількість одночасно працюючих печей;

$t_0$  - час обороту ковша, хв;  $M$  - місткість ковша, т.

$$n = 2,5 \cdot 1 \cdot 20 / 3 \cdot 60 = 1.$$

Кількість ковшів за зміну розрахуємо за формулою:

$$N = \tau_c \cdot n / \tau,$$

де:  $\tau_c$  – тривалість робочої зміни, год;

$\tau$  – тривалість роботи ковша, год.

$$N = 8 \cdot 1 / 8 = 1.$$

Далі розрахуємо парк ковшів за формулою:

$$N_1 = K \cdot K_1 \cdot N,$$

де:  $K$  – коефіцієнт, що враховує кількість ковшів у ремонті ( $K = 1$ );

$K_1$  – коефіцієнт запасу ( $K_1 = 1,2$ ).

$$N_1 = 2 \cdot 1,2 \cdot 1 = 2,4 = 3$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Результати розрахунку парку ковшів зводимо в таблиці 7.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку парку ковшів

Ємність ковша, кг	Кількість одночасно працюючих ковшів	Кількість ковшів у ремонті	Запас ковшів	Загальна кількість ковшів
2500	1	1	1,2	3

### 3.2. Формувально-заливно-вибивне відділення

У цьому відділенні здійснюється виготовлення виливків у піщано-глинистих формах. Формування, складання та заливка форм, охолодження та вибивання виливків. При цьому здійснюється транспортування формувальної суміші, стрижнів та моделей до формувальних машин. Після вибивання виливки переправляються до термообрубного відділення. Трудомісткість робіт, що виконуються в цьому відділенні, становить 50% і більше від трудомісткості виготовлення виливків.

При виборі технологічного обладнання необхідно враховувати наступне:

- максимальна механізація всіх трудомістких основних та допоміжних операцій;
- використання передового досвіду інших заводів;
- умови роботи повинні відповідати сучасним вимогам техніки безпеки;
- охорона праці та навколишнього середовища.

### 3.3. Розрахунок програми формувального відділення

Вихідними даними для розрахунку формувального відділення служать значення річної кількості виливків з урахуванням зовнішнього та внутрішнього браку. Металоємність форми визначається на основі відомих значень мас виливків з ливниками та надливами.

Об'єм формувальної суміші на форму ( $V_c$ ) визначається за формулою:

$$V_c = V_{\phi} - (V_m + V_{ст}),$$

де:  $V_{\phi}$  – об'єм форми;

$V_m$  – об'єм металу у формі;

$V_{ст}$  – об'єм стрижнів у формі (без знакових частин).

Спираючись на дані таблиці 1.1, складемо виробничу програму формувального відділення (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Виробнича програма формувального відділення

Виливки	Кількість форм на рік, шт.	Технологічні втрати		Кількість форм з урахуванням втрат, шт	Маса формувальної суміші, т	
		%	шт		на форму	на рік
Кришка	237646	5	11882	249528	0,03	7485,8
Втулка	37467		1873	39340	0,1	3934
Колектор	68440		3422	71862	0,1	7186,2
Корпус	245730		12286	258016	0,06	15480,9
Ролик	28350		1417	29767	0,3	8930,1
Кришка	134113		6705	140818	0,07	9857,2
Цанга	61914		3095	65009	0,15	9751,3
Корпус	120019		6000	126019	0,08	10081,5
Ролик	29037		1451	30488	0,24	7317,1
Головка	56346		2817	59163	0,1	5916,3
Головка 1 ст.	32320		1616	33936	0,15	5090,4
Головка цил.	14296		714	15010	0,17	2551,7
Кришка	44238		2211	46449	0,07	3251,4
Напівмуфта	23085		1154	24239	0,14	3393,4
Циліндр 2 ст.	47806		2390	50196	0,08	4015,6
Головка цил.	21322		1066	22388	0,23	5149,24
Маховик	24163		1208	25371	0,22	5581,6
Корпус	27240		1362	28602	0,22	6292,4
Головка 1 ст.	34939		1746	36685	0,18	6603,3
Картер	23467		1173	24640	0,24	5913,6
<b>РАЗОМ:</b>	<b>1311938</b>		<b>65588</b>	<b>1377526</b>	<b>12700</b>	<b>133783</b>

### 3.3.1. Вибір і розрахунок кількості формувального обладнання

Основним напрямком підвищення продуктивності праці та якості виливків, що виготовляються в разових об'ємних формах, є застосування

автоматичних і комплексно-механізованих ліній. Для окупності витрат на установку формувальних ліній їх необхідно інтенсивно використовувати, крім того, вони повинні мати необхідну технічну і технологічну надійність та ремонтпридатність.

Формувальне обладнання вибирають за прийнятним технологічним процесом і прийнятним способом ущільнення, за необхідним розміром форм і продуктивністю в залежності від маси, обсягу і серійності виробництва виливків.

У нашому проектується цеху ми використовували комплексні автоматичні лінії типу Л420Т. Вони призначені для багатосерійного та масового виробництва виливків в разових піщано-глинистих формах в сталеливарних і чавуноливарних цехах. Технічні характеристики лінії наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики автоматичної формувальної лінії марки Л420Т

Розмір опоки, мм	Продуктивність, опок/год	Встановлена потужність, кВт	Габаритні розміри лінії, мм	Маса, т
1200×1000×400	40	450	105000×16800×6300	710
800×600×150	18		85000×10200×6300	540

Трипозиційні човникові формувальні установки забезпечують ущільнення суміші наступними способами: струшуванням з подальшим пресуванням, струшуванням з одночасним пресуванням, попереднім струшуванням з подальшим одночасним струшуванням і пресуванням, тільки пресуванням. Пресування здійснюється багатоплунжерною диференціальною головою. Для формування застосовують єдину формувальну суміш з об'ємним дозуванням.

Розрахунок необхідної кількості ліній автоматизованих формувальних ліній моделі Л420Т з габаритами опок 1200x1000x400 мм і 800×600×150 проводиться за формулою:

$$N_{л} = n / T_{д} \cdot g \cdot \eta,$$

де  $n$  - кількість форм, що виготовляються за рік на лінії;

$T_{д}$  - дійсний фонд часу роботи обладнання, год;

$g$  - розрахункова продуктивність, яка визначається за формулою:

$$g = O_n \cdot K_m \cdot K_3 ; \eta -$$

коефіцієнт завантаження лінії ( $\eta = 0,85-0,9$ );

$O_n$  - паспортна продуктивність лінії, ф/год;

$K_m$  - коефіцієнт технічного використання, що враховує ступінь оснащення лінії засобами автоматизації та механізації і рівень організації, обслуговування та ремонту ( $K_m = 0,68-0,9$ );

$K_3$  - коефіцієнт завантаження, що враховує простій лінії з вини іншого обладнання, що входить до лінії ( $K_3 = 0,72-0,89$ ):

$$g = 40 \cdot 0,75 \cdot 0,8 = 24 \text{ форми/год,}$$

$$g = 180 \cdot 0,75 \cdot 0,8 = 108 \text{ форм/год,}$$

$$N_{\text{л}} = 131131 / 3645 \cdot 24 \cdot 0,87 = 1,72$$

$$N_{\text{л}} = 686622 / 3645 \cdot 108 \cdot 0,87 = 2$$

Коефіцієнт завантаження лінії визначимо за формулою:

$$K_3 = N_{\text{л}} / N,$$

де  $N_{\text{л}}$  - розрахункова кількість ліній;

$N$  - прийнятна кількість ліній,

$$K_3 = 1,72/2 = 0,86.$$

$$K_3 = 2/2 = 1.$$

Приймаємо до використання чотири автоматизовані формувальні лінії моделі Л420Т.

### 3.3.2. Визначення площ формувального відділення

Норми розмірів прольоту формувального відділення вибираються відповідно до норм проектування:

– ширина прольоту – 30 м,

– крок колон – 6 м по зовнішній стіні, 12 м всередині цеху,

У механізованих ливарних цехах площі формувального відділення не розраховуються, а визначаються плануванням обладнання з урахуванням норм

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

проектування. Тоді площа формувального відділення дорівнює 4896 м<sup>2</sup>.

### **3.4.Стрижневе відділення**

Організація роботи стрижневого відділення і вибір методу виготовлення стрижнів залежать від характеру лиття. У стрижневому відділенні виконуються операції виготовлення, фарбування, сушіння, зачищення і складання стрижнів, їх контроль і комплектування. На площах стрижневого відділення розміщуються каркасна дільниця, склади для добового зберігання стрижневих ящиків, плит і стрижнів.

#### **3.4.1.Розрахунок програми стрижневого відділення**

На підставі виробничої програми цеху, наведеної в таблиці 1.1, складаємо виробничу програму для стрижневого відділення.

Виробнича програма стрижневого відділення наведена в таблиці 3.7

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 3.7 – Виробнича програма стрижневого відділення

Найменування вилівка	Кількість стрижнів		Маса стрижнів		Брак стрижнів, %	Кількість стрижнів на річну програму з урахуванням браку, шт	Маса стрижнів на річну програму з урахування м браку, т	Кількість стрижневих гнізд у ящику, шт	Річна кількість зйомок стрижнів, шт
	На один вилівок, шт	На програму, шт	На один вилівок, т	На річну програму, т					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Колектор	2	273762	0,004	1095	5	287450	1149	6	47908
Корпус	2	491460	0,004	1965		516033	2064	6	86005
Ролик	1	170105	0,001	170		178610	178	4	44652
Цанга	1	123828	0,002	247		130019	260	4	32504
Корпус	4	480076	0,006	2880		504079	3024	6	84013
Ролик	1	116150	0,001	116		121957	121	4	30489
Головка	2	225386	0,008	1803		236655	1893	4	59163
Головка 1 ст.	4	258560	0,003	775		271488	814	4	67872
Головка цил.	2	57184	0,008	457		60043	480	2	30021
Напівмуфта	4	184684	0,008	1477		193918	1551	4	48479
Циліндр 2 ст.	1	47806	0,003	143		50196	150	2	25098
Головка цил.	2	42644	0,04	1705		44776	1791	2	22388
Маховик	1	24163	0,02	483		25371	507	2	12685
Корпус	4	108960	0,08	8716		114408	9152	4	28602
Головка 1 ст.	4	139756	0,08	11180		146743	11739	4	36685
<b>Всього по цеху</b>		<b>2744524</b>		<b>33212</b>				<b>34873</b>	

### 3.4.2. Технологічний процес виготовлення стрижнів

При виготовленні стрижнів для вилівка «Головка 1 ступеня» використовуємо технологію виготовлення стрижнів з холоднотвердіючих сумішей (ХТС). Дана технологія розрахована на випуск дрібних, середніх і великих стрижнів масою до 600 кг, які за складністю відносяться до II – V класів, а за конструктивними особливостями – до суцільних і порожнистих. Стрижні відрізняються високою міцністю і точністю, легко видаляються з вилівок при вибиванні форм.

Для виготовлення стрижнів використовують металеві стрижневі ящики, що фарбуються епоксидними або меламіновими фарбами. При цьому застосовують холоднотвердіючі суміші з синтетичними смолами. Ці суміші готують і відразу ж видають в ящик шнековими змішувачами, що встановлюються біля робочих місць в стрижневому відділенні. При виготовленні дрібних стрижнів на обертових столах суміш ущільнюють в ящику вручну, а при формуванні середніх і великих стрижнів – за допомогою вібраційного столу. Час витримки дрібних стрижнів в ящику зазвичай становить 20 – 40 секунд, а середніх і великих 8 – 40 хвилин після віброущільнення. Стрижні для сталевих вилівок фарбують фарбами на основі циркону для тонкостінних вилівок один раз, а для товстостінних і масивних два рази. Після фарбування стрижні підсушують при температурі 80 – 120 °С протягом 20 – 40 хвилин.

Завдяки високій міцності стрижні можна транспортувати шляхом захоплення за підйоми каркаса без застосування сушильних плит. Великі стрижні доцільно виконувати порожнистими, а внутрішні їх порожнини заповнювати насипаним в мішечки гравієм або шматками бракованих стрижнів. Незважаючи на високу вартість ХТС, холоднотвердіючі суміші широко використовуються завдяки високій точності і низькій шорсткості поверхонь вилівок. ХТС забезпечують хорошу вибиваність стрижнів з вилівок, а також малу трудомісткість стрижневих і очисних робіт.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

### 3.4.3. Вибір стрижневого обладнання та розрахунок його кількості

При виборі обладнання для проектного стрижневого відділення слід базуватися на прийнятому технологічному процесі виготовлення стрижнів з урахуванням виду виробництва виливків.

Для виготовлення стрижнів з ХТС в проектуваному цеху доцільно встановити типову стрижневу лінію Л16Х. Її технологічні характеристики наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технологічні характеристики стрижневої лінії Л16Х

Показники	Характеристики
Найбільший розмір стрижневого ящика, мм	630×500×450
Найбільша маса стрижня, кг	20
Продуктивність, зйомок/год	90
Потужність, кВт	43
Габаритні розміри лінії, мм	20800×4220×3640
Маса, т	40

Автоматизована стрижнева лінія включає в себе комплект обладнання, на якому виконуються операції з виготовлення стрижнів. До таких операцій відносяться: приготування стрижневої суміші ХТС, наповнення стрижневого ящика сумішшю, ущільнення суміші на вібраційному столі, накладання транспортної плити на ящик, кантування ящика зі стрижнем, витягання стрижня зі стрижневого ящика, укладання стрижня на плиту, транспортування плит зі стрижнем на дільницю фарбування стрижня протипригарною фарбою, а потім на склад стрижнів, повернення стрижневих ящиків після очищення і складання на позицію заповнення стрижневою сумішшю.

Стрижневі транспортні плити очищаються в спеціальній камері, змонтованій на рамі приводного роликowego конвеєра. Внизу камери є воронка, в якій збираються продукти очищення, вгорі камери - патрубок для витяжної вентиляції.

Розрахунок кількості стрижневих ліній проведемо за формулою:

$$N_{л} = N_{с} \cdot K_{н} / T_{д} \cdot g,$$

де  $N_{с}$  – кількість зйомок стрижнів на річну програму;

$K_{н}$  — коефіцієнт нерівномірності споживання стрижнів;

$g$  - продуктивність стрижневої лінії, зйомок/год.

$$N_{л} = 656564 \cdot 1,2 / 3645 \cdot 90 = 2,4.$$

Приймаємо до використання три стрижневі лінії моделі Л16Х з коефіцієнтом завантаження  $K_{з} = 0,8$ .

### 3.4.4. Розрахунок площ стрижневого відділення

У цехах з високою механізацією площа стрижневого відділення визначається плануванням обладнання, робочих місць, установкою транспорту, складських приміщень, проїздів і проходів.

Норми розмірів прольоту стрижневого відділення вибираються відповідно до норм проектування :

- ширина прольоту: 24м,
- крок колон: 6 м, 12 м.

Площу стрижневого відділення приймаємо рівною 640 м<sup>2</sup>

### 3.5. Відділення приготування сумішей

У змішувальному відділенні виконується контроль якості свіжих формувальних матеріалів, транспортування компонентів стрижневої та формувальної суміші до місця її приготування, приготування стрижневих та формувальних композицій, контроль їх якості.

Єдина формувальна суміш на 90% складається з регенованої відпрацьованої суміші. Після вибивання в галтувальних і дробометних барабанах суміш проходить механічну сепарацію в сусідньому цеху, після чого потрапляє

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

назад в цех. Далі регенерат і свіжий пісок з бункера для свіжих матеріалів по стрічкових транспортерах подається в змішувач. Глина і тирса завантажуються в змішувач за допомогою мірних ємностей. Потім приготована суміш проходить через аератор і по стрічковим транспортерам передається безпосередньо в змішувачі, який входить до складу автоматизованих стрижневих машин і ліній. Приготування сумішей з попередньо підготовлених матеріалів полягає в змішуванні складових частин у заданих пропорціях.

При змішуванні потрібно досягти більш рівномірного розподілу всіх складових суміші в обсязі. Тому операція перемішування є найважливішою в усьому технологічному процесі приготування формувальної і стрижневої сумішей. Рідкі складові подаються в змішувач спеціальним насосом-дозатором.

### 3.5.1. Вибір формувальної та стрижневої суміші

Склади формувальних сумішей визначаються технологією виготовлення форм, конфігурацією і масою виливки.

У даному відділенні будемо готувати єдину формувальну суміш. Склад і властивості формувальної суміші наведені в таблиці 3.9.

Приготування стрижневої суміші ХТС відбувається

Таблиця 3.9 – Склад формувальної суміші.

Склад суміші, % мас.				Технічні вимоги			
Оборотна формувальна	Свіжий пісок	Глина	Опил	Вологість, %	зопроникність не менше, %	Межа міцності на стиск, МПа	спинання не більше, г/обр.
90	7	2	1	5,5-6,5	5,25	0,5-0,9	2

Стрижневі суміші, як правило, знаходяться в більш важких умовах, ніж формувальні, оскільки вся поверхня стрижнів зазвичай стикається з рідким

металом і зазнає високих температур і тиску

Для виготовлення стрижнів ми використовували холоднотвердіючі суміші, що мають високу міцність. Склад і властивості сумішей описані в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Склад холоднотвердіючої суміші для стрижнів.

Склад суміші, % мас.			Технічні вимоги		
Карбоний пісок	Регенерат	Смола ОФ-1	Вологість не більше, %	Газопроникність не менше, %	Межа міцності на стиск, МПа
70	20	10	1	5,25	1,2-1,5

### 3.4.2. Розрахунок обладнання сумішеприготувального відділення

Приготування сумішей з попередньо підготовлених матеріалів складається з таких операцій:

- змішування складових частин у заданих пропорціях;
- відстоювання суміші з метою вирівнювання вологості;
- розпушування суміші.

Для проектного цеху приймаємо змішувач чашковий (бігуни безперервної дії) моделі 15204 продуктивністю 23 т/год.

Необхідну кількість обладнання визначимо за формулою:

$$N = Q \cdot K_i / (T_q \cdot q),$$

де: Q – маса суміші на річну програму, т;

$K_i$  - коефіцієнт нерівномірності роботи обладнання;

q - продуктивність обладнання т/год.

$$N = 133783 \cdot 1,2 / 3975 \cdot 23 = 1,76$$

Приймаємо до використання два змішувачі моделі 15204 з коефіцієнтом завантаження:  $K_3 = 1,76 / 2 = 0,88$ . Приготування стрижневої суміші ХТС відбувається безпосередньо в змішувачі, який входить до складу автоматизованої стрижневої лінії Л16Х. Для поліпшення пластичності і

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

формованості приготованих сумішей, суміші повинні вилежатися і після цього перед подачею на формувальні машини їх розпушують. Для розпушування сумішей застосовуємо аератор моделі 16142 продуктивністю 45 т /год.

Кількість аераторів визначимо за формулою:

$$N = V K_i / (T_q \cdot q)$$

$$N = 133783 \cdot 1,2 / 3975 \cdot 45 = 0,9.$$

Приймаємо до використання один аератор моделі 16142 з коефіцієнтом завантаження:  $K_3 = 0,9/1=0,9$ .

Для просіювання піску необхідно вибрати і розрахувати кількість сит. В якості сит приймаємо полігональне барабанне сито марки 177М з продуктивністю 60 т/год. Пісок входить до складу формувальної і стрижневої сумішей.

Визначимо об'єм кварцового піску:

$$V_{\text{піску}} = V_{\text{піску форм. суміші}} + V_{\text{піску стриж. суміші}}$$

$$V_{\text{піску форм. суміші}} = 133783 \cdot 90 / 100 = 120404 \text{ т,}$$

$$V_{\text{піску стриж. суміші}} = 34873 \cdot 70 / 100 = 24411 \text{ т,}$$

$$V_{\text{піску}} = 120404 + 24411 = 144815 \text{ т.}$$

Розрахуємо необхідну кількість сит для піску:

$$N = 144815 \cdot 1,2 / 3975 \cdot 60 = 0,73.$$

Приймаємо одно полігональне барабанне сито марки 177М з коефіцієнтом завантаження:  $K_3 = 0,73/1=0,73$ .

Розрахуємо необхідну кількість сушарок для піску:

$$N = 144815 \cdot 1,2 / 3975 \cdot 20 = 2,19.$$

Приймаємо три барабанних сушарки для піску марки S6530 з коефіцієнтом завантаження:  $K_3 = 2,19 / 3 = 0,73$

### 3.5.3.Визначення площ відділення

Площа відділення визначається з враховуючи проходів, проїздів, робочих місць,

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

на цій же площі розміщуємо експрес-лабораторію для контролю якості формувальних і стрижневих сумішей. Загальна площа сумішоприготувального відділення становить 1200 м<sup>2</sup>.

### 3.6. Дільниця вибивання форм і стрижнів.

Розрахунок кількості обладнання Для вибивки та очищення виливків від формувальної і стрижневої суміші у проектованому цеху застосовуємо: для виливків до 30 кг – галтувальні барабани; масою 30 – 100 кг дробометні камери.

Галтовочна очистка відбувається в результаті зіткнення і тертя виливків один об одного в процесі їх взаємного переміщення в барабані, що обертається в горизонтальній площині. У дробометних камерах очистка виконується потоком чавунної дробу, що направляється на виливок спеціальними головками і апаратами.

Ми вибрали галтувальний барабан моделі 41114 і дробометний очисний барабан безперервної дії моделі 42322М. Технічні характеристики яких наведені в таблицях 3.11 і 3.12

Таблиця 3.11 – Технічна характеристика галтувального барабана 41114

Параметри	Значення
Об'єм завантаження, м <sup>3</sup>	0,8
Продуктивність, т/год	до
Найбільша маса завантаження, кг	1800
Частота обертання барабана, об/хв	30
Кількість відсмоктуваного повітря, м <sup>3</sup> /хв	25
Встановлена потужність, кВт	75
Габаритні розміри (довжина×ширина×висота), мм	3525×1615×1490
Маса, кг	3820

Таблиця 3.12- Технічні характеристики дробометного барабана 42322М

Продуктивність, т/год					до	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	

Найбільша об'ємна діагональ виливків, мм	700
Маса очищуваних виливків, кг	25
Сумарна маса дробу, що викидається дробометальними апаратами, кг/хв	500
Тривалість циклу очищення виливків середньої складності, хв	7,54
Режими роботи	Напівавтоматичний, й, поопераційний
Габаритні розміри барабана (довжина×ширина×висота), мм	7600×4500×7100
Загальний об'єм відсмоктуваного повітря, м <sup>3</sup> /год	1030
Частота струму, Гц	50
Тип мережі живлення	Змінний, трифазний
Марка і фракція дробини	ДСЛ, 0,8-2,8

Кількість необхідного обладнання розраховуємо за формулою:

$$N = Q \cdot K_n / T_d \cdot g,$$

де  $Q$  – річна маса виливків з ливниками і надливами, т;

$K_n$  – коефіцієнт нерівномірності роботи обладнання;

$T_d$  – дійсний фонд часу роботи обладнання, год;

$g$  – продуктивність обладнання, т/год.

Розрахуємо необхідну кількість галтувальних барабанів:

$$N = 14147,624 \cdot 1,2 / 3975 \cdot 5 = 0,85.$$

Приймаємо один галтувальний барабан 41114 з коефіцієнтом завантаження:  $K_3 = 0,85/1=0,85$ .

Кількість дробометних камер дорівнює:

$$N = 14054,99 \cdot 1,2 / 3975 \cdot 5 = 0,85$$

Приймаємо один дробометний барабан 42322М з коефіцієнтом завантаження  $K_3 = 0,85$ .

### 3.7.Відділення фінішних операцій

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Після очищення від формувальної та стрижневої сумішей у виливках виламують ударним способом ливник, живильні бобишки, випори та надливи тощо.

Потім відбувається попередній огляд виливків на виявлення видимих невірних дефектів, при наявності яких виливки бракуються.

Придатні виливки передаються на термічну обробку. Термічна обробка призначається для зняття залишкових внутрішніх напружень і поліпшення фізико-механічних властивостей.

Для термообробки виливків встановили в цеху термічну піч марки ОКБ 3030. Технологічні характеристики печі наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Технічна характеристика термічної печі ОКБ 3030

Найменування характеристики	Значення
Потужність, кВт	230
Робоча температура, °С	550
Кількість теплових зон, шт	10
Продуктивність при робочій температурі, шт/год	300
Розміри робочого простору, мм:	8270×1700×600

Розрахунок кількості печей проводиться за формулою:

$$N = Q \cdot K_n / T_d \cdot g,$$

де  $Q$  – кількість виливків на річну програму, шт;

$K_n$  – коефіцієнт нерівномірності роботи обладнання;

$T_d$  – дійсний фонд часу роботи обладнання, год;

$g$  – продуктивність обладнання, т/год.

$$N = 1890714 \cdot 1,2 / 3890 \cdot 300 = 1,94$$

Приймаємо дві термічні печі типу ОКБ 3030 з коефіцієнтом завантаження

$$K_z = 1,94/2=0,97.$$

Після термообробки виливки піддаються перевірці на твердість спеціальним приладом. Потім відправляються на склад готової продукції, який знаходиться в безпосередній близькості від дільниці термічної обробки та зачищення деталей.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Після дробеметного очищення виливки надходять на фінішне обрубкування, яке виконується для повного видалення з поверхні виливків задирок та інших дефектів, що виникають внаслідок особливостей технологічного процесу або відхилень від нього. Обрубка виливків проводиться пневматичними рубальними молотками, зі спеціальним зубилом з катаної сталі марки 60С2 діаметром 22,25 і 28 мм і довжиною 300-2000 мм. Абразивне очищення виливків застосовується в якості завершальної операції обрубних і очисних робіт.

Основними інструментами для абразивного очищення виливків служать переносні шліфувальні пневматичні машини ІП 2014, ІП 2009А, підвісний обдирочно-шліфувальний верстат 3374К і стаціонарний шліфувальний верстат. Пневматичні шліфувальні машини служать для очищення різних поверхонь виливків. Завдяки застосуванню довгих шлангів, машина має велику маневреність в роботі.

Для очищення дрібних деталей застосовуються стаціонарні наждачні верстати з діаметром абразивного круга 300 і 400 мм. Ці верстати підвішуються до талі, яка пересувається по кран-балці.

Приймаємо до використання по дві машини кожного найменування.

У таблиці 3.14 наведені технічні характеристики шліфувального обладнання.

Таблиця 3.14 – Технічна характеристика шліфувального обладнання

Обладнання	Марка	Діаметр круга, мм
Переносна шліфувальна пневматична машина	ІП2014 ІП 2009А	150
Підвісний обдирочно-шліфувальний верстат	3374	400·50·203
Стаціонарний обдирочно-шліфувальний верстат	3636	200·25·32
Стаціонарний наждачний верстат	ЗМ634	400

Матеріал круга - Електрокорунд, ГОСТ 2424-8

Далі на розмічальній плиті вимірювальними інструментами перевіряють

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

геометрію і розміри виливків. Придатні виливки приймаються працівниками технічного контролю і відвантажуються в механічний цех.

У відділенні фінішних операцій необхідно передбачити площі для складування виливків до і після термічної обробки, для проміжного складування між технологічними операціями.

Лабораторію формувальних сумішей, де проводяться випробування на перевірку таких властивостей, як: вологість, газопроникність, сиру міцність, розміщують на площі сумішопріготувального відділення.

У відділенні фінішних операцій розміщують лабораторію фізико-механічних досліджень, в якій визначають механічні властивості чавуну.

Цехові комори, кімнати майстрів розміщуємо на площах основних відділень.

Площа очисного відділення визначається наявністю обладнання, робочих місць, розташуванням транспортних засобів, проїздів і проходів.

Укрупнено приймаємо:

$$S_{O.O} = 0,4 \cdot S_{Ф.О} ,$$

де  $S_{O.O}$  – площа очисного відділення,  $m^2$  ;

$S_{Ф.О}$  – площа формувального відділення.

$$S_{O.O} = 0,4 \cdot 4896 = 1958 m^2 .$$

### 3.8. Допоміжні служби

Допоміжні служби цеху включають в себе наступні підрозділи: ремонтну службу, призначену для поточного ремонту та обслуговування обладнання, з дільницями ремонту та футерування ковшів і склепінь, лабораторією для оперативного контролю властивостей формувальних і стрижневих сумішей та хімічного складу рідких металів, перевіркою властивостей готових виробів, цеховими коморами.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Цехова служба поточного ремонту обладнання повинна мати розгалужену систему, яка забезпечує своєчасну роботу і виклик.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.03 ПО	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

#### 4.ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВАГРАНКИ

Переваги вагранок з вторинним дуттям забезпечуються за рахунок примусової подачі дуття в кожен ряд фурм з окремого фурменого поясу з розподілом кількості повітря між нижнім і верхнім рядами фурм у співвідношенні 60:40% або 50:50%.

Основна кількість тепла, необхідна для нагрівання, розплавлення і перегріву металеві шихти, в коксових вагранках виділяється за рахунок реакцій окислення (горіння) вуглецю коксу і допалювання чадного газу  $CO$ . Частка тепла за рахунок цих реакцій становить 85-95% від загальної кількості тепла, решта тепла виділяється при окисленні сірки коксу, угар кремнію, марганцю і заліза.

Реакції окислення коксу і  $CO$ , а також відновлення  $CO_2$  до  $CO$  описуються наступними рівняннями з супутніми їм тепловими ефектами:



Утворений вуглекислий газ  $CO_2$ , проходячи через холосту коксову колошу, вступає в контакт з розпеченим коксом (точніше, з вуглицем коксу) і відновлюється до  $CO$  за реакцією:

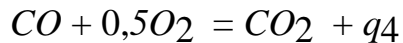


тобто ця реакція відбувається з поглинанням тепла.

Утворений чадний газ  $CO$  за реакціями (2) і (3) за наявності надлишкового кисню, в тому числі за рахунок вторинного дуття в дворядних вагранках, знову окислюється з виділенням тепла, компенсуючи тим самим

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Козка В.М.			ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВАГРАНКИ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сайтгарєєв Л.Н.					1	13
Н. Контр.		Сайтгарєєв Л.Н.			МТ-23-2ск			
Затверд.		Бабошко Д. Ю.						

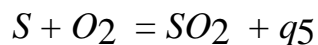
втрати за реакцією (3):



$$q_4 = 12700 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Сумарний тепловий баланс горіння вуглецю дозволяє знизити витрату коксу або підвищити температуру перегріву чавуну (температуру чавуну на випуску).

При окисленні (горінні) сірки коксу також виділяється теплота з утворенням сірчистого газу



$$q_5 = 9150 \text{ кДж} / \text{кг} .$$

Аналогічно окислюються кремній, марганець і залізо. Тепло виділяється і при дисоціації вапняку (флюсу). Загальна кількість тепла окислення сірки, кремнію, марганцю, заліза і дисоціації флюсу не перевищує 5-15%.

Фурменний пояс повинен забезпечити рівномірний розподіл дуття по фурмах.

Питома витрата повітря  $q_p = 130 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 / \text{хв}) /$

Тоді необхідна кількість повітря складе

$$Q_{\text{возд}} = q_{\text{воз}} \times F_{\text{с}} \times 60, \text{ где } F_{\text{с}} = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3,14 \times (900)^2}{4} = 0,63 \text{ м}^2;$$

$$Q_{\text{возд}} = 130 \times 0,63 \times 60 = 4914 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

Приймаємо швидкість повітря у фурменому поясі  $u_2 = 4 \text{ м} / \text{с} .$

Тоді загальна площа перетину фурменого поясу складе

$$\sum F_{\text{ф.н}} = \frac{Q_{\text{возд}}}{u_2 \times 3600} = \frac{4914}{4 \times 3600} = 0,341 \text{ м}^2 .$$

Співвідношення площ перетину нижнього і верхнього рядів фурм дорівнює 60:40, тоді

$$F_{\text{ф.н.в}} = \sum F_{\text{ф.н}} \times 0,6 = 0,341 \times 0,6 = 0,204 \text{ м}^2 ,$$

$$F_{\text{ф.н.с}} = \sum F_{\text{ф.н}} \times 0,4 = 0,341 \times 0,4 = 0,136 \text{ м}^2 .$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Приймаємо висоту фурменого пояса  $H_{ф.п} = 0,6\text{ м}$ .

Тоді ширина фурменого пояса прямокутного перетину для нижнього і верхнього рядів фурм складе для нижнього ряду фурм :

$$B_{ф.н.в} = \frac{F_{ф.н.в}}{H_{ф.п}} = \frac{0,204}{0,6} = 0,340\text{ м} = 340\text{ мм}$$

$$B_{ф.н.н} = \frac{F_{ф.н.н}}{H_{ф.п}} = \frac{0,136}{0,6} = 0,226\text{ м} = 225\text{ мм}.$$

Розміри фурмених поясів визначимо, виходячи з наступних конструктивних рішень. Відстань між рядами фурм (по осях) приймаємо рівною  $700\text{ мм} = 0,7\text{ м}$ . Товщина стінок корпусів фурм і розміри кріпильних сланців вибираються конструктивно, зазвичай товщина стінки фурми дорівнює  $6-8\text{ мм}$ , виступ фланця дорівнює  $12-15\text{ мм}$ .

Прийmemo товщину вогнетривкої футеровки рівною  $295\text{ мм}$  (за розмірами шамотної цегли  $(65 \times 113 \times 230\text{ мм})$ ). Прийmemo товщину корпусу вагранки рівною  $12\text{ мм}$  (товщина листової сталі), а зазор між корпусом вагранки і внутрішнім діаметром фурменого пояса для верхніх фурм  $\delta_{заз} = 150\text{ мм}$  (для зручності монтажу), товщину стінок фурмених поясів приймаємо рівною  $\delta_{ст} = 4\text{ мм}$  (листова сталь).

Тоді зовнішній діаметр корпусу вагранки складе:

$$D_k = D_e + 2 \times \delta_{фут} + 2 \times \delta_{ст.к} = 900 + 2 \times 295 + 2 \times 12 = 1515\text{ мм} = 1,515\text{ м}.$$

Внутрішній діаметр фурменого пояса для фурм верхнього ряду складе:

$$D_1 = D_k + 2 \times \delta_{заз} = 1515 + 2 \times 150 = 1815\text{ мм} = 1,815\text{ м}.$$

Діаметр перегородки, що розділяє фурмені пояси для фурм верхнього і нижнього рядів, або внутрішній діаметр фурменого поясу для верхнього ряду фурм, складе:

$$D_2 = D_1 + 2 \times \delta_{ст} + 2 \times B_{ф.н.в} = 1815 + 2 \times 4 + 2 \times 225 = 2275\text{ мм} = 2,275\text{ м}.$$

Зовнішній діаметр фурменого пояса для нижнього ряду складе:

$$D_3 = D_2 + 4 \times \delta_{ст} + 2 \times B_{ф.н.н} = 2275 + 4 \times 4 + 2 \times 340 = 2970\text{ мм} = 2,970\text{ м}.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

З огляду на тип фурмених поясів (прямокутного перетину кільцевого колектора) та конструктивні особливості, прийємо наступні розміри радіусів  $R_1$  і  $R_2$ , що утворюють внутрішні і зовнішні поверхні фурмених поясів для фурм нижнього і верхнього рядів (у світлі):

$$R_{\text{вн.ф.к}} = \frac{D_1 + 2 \times \delta_{\text{ст}}}{2} = \frac{1815 + 2 \times 4}{2} = 910_{\text{мм}} = 0,910_{\text{м}};$$

$$R_{\text{нар.ф.к}} = R_{\text{вн.ф.к}} + B_{\text{ф.к.к}} = 910 + 225 = 1135_{\text{мм}} = 1,135_{\text{м}};$$

$$R_{\text{вн.ф.л}} = R_{\text{нар.ф.к}} + \delta_{\text{ст}} = 1135 + 4 = 1139_{\text{мм}} = 1,139_{\text{м}};$$

$$R_{\text{нар.ф.л}} = R_{\text{вн.ф.л}} + B_{\text{ф.л.л}} = 1139 + 340 = 1479_{\text{мм}} = 1,479_{\text{м}}.$$

Визначимо обсяги  $W$  фурмених поясів для фурм верхнього і нижнього рядів, що необхідно для розрахунку запобіжних клапанів безпеки:

$$W_{\text{ф.к.к}} = \pi \times (R_{\text{нар.ф.к}}^2 - R_{\text{вн.ф.к}}^2) \times H_{\text{ф.к}} = 3,14 \times (1135^2 - 910^2) \times 0,6 = 0,866_{\text{м}^3};$$

$$W_{\text{ф.л.л}} = \pi \times (R_{\text{нар.ф.л}}^2 - R_{\text{вн.ф.л}}^2) \times H_{\text{ф.л}} = 3,14 \times (1479^2 - 1139^2) \times 0,6 = 1,676_{\text{м}^3}.$$

Виходячи з правил безпеки в газоходах, площа запобіжних клапанів повинна становити  $0,05 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  об'єму камери. Тоді загальна площа клапанів фурменного пояса для нижнього ряду фурм складе:

$$\sum F_{\text{кл.л.ф}} = 0,05 \times W_{\text{ф.л.л}} = 0,05 \times 1,676 = 0,083_{\text{м}^2},$$

а загальна площа клапанів фурменного пояса для верхнього ряду фурм складе:

$$\sum F_{\text{кл.к.ф}} = 0,05 \times W_{\text{ф.к.к}} = 0,05 \times 0,866 = 0,043_{\text{м}^2}.$$

Приймаємо мінімальну кількість клапанів на кожному фурменному поясі рівною 4. Тоді площа одного клапана для фурмених поясів складе відповідно:

$$f_{\text{кл.л.ф}} = \frac{\sum F_{\text{кл.л.ф}}}{4} = 0,083 / 4 = 0,0207_{\text{м}^2};$$

$$f_{\text{кл.к.ф}} = \frac{\sum F_{\text{кл.к.ф}}}{4} = 0,043 / 4 = 0,0107_{\text{м}^2}.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Відповідні цим площам діаметри клапанів у світлі, або діаметри прохідних отворів клапанів, становитимуть:

$$d_{\text{кл.н.ф}} = \sqrt{\frac{4 \times f_{\text{кл.н.ф}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0207}{3,14}} = 0,162 \text{ м} = 162 \text{ мм};$$

$$d_{\text{кл.в.ф}} = \sqrt{\frac{4 \times f_{\text{кл.в.ф}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0107}{3,14}} = 0,116 \text{ м} = 116 \text{ мм}.$$

У загальному вигляді клапан повинен вписуватися в ширину фурменого пояса з монтажним зазором не менше 30 мм з кожного боку. Зіставимо діаметри клапанів з шириною відповідних фурмених поясів: для вагранки продуктивністю 5 т/год  $B_{\text{ф.н.в}} = 340 \text{ мм}$  ,  $B_{\text{ф.в.к}} = 225 \text{ мм}$  .

Отже, діаметри клапанів як для нижнього, так і для верхнього, фурменого поясу майже в 2 рази менше ширини відповідних фурмених поясів, і установка клапанів не викличе труднощів.

Виходячи з необхідної кількості повітря, що надходить у вагранку, за даним розрахунком  $Q_{\text{повітря}} = 4914 \text{ м}^3 / \text{год}$  і з <sup>3</sup> урахуванням необхідного запасу по витраті повітря вибираємо повітродувку типу В2М 10/1250, що забезпечує продуктивність 10000 м<sup>3</sup> /год і тиск 12500 Па або 1250 мм вод. ст., або 0,125 кгс/см<sup>2</sup> .

Визначимо масу вантажу, включаючи масу клапанів на відповідних фурмених поясах у закритому стані, виходячи з максимального тиску, що розвивається повітродувкою:

$$G_{\text{кл.н.ф}} = f_{\text{кл.н.ф}} \times P_{\text{возд. макс}} \times 10^4 = 0,0207 \times 0,125 \times 10^4 = 25,8 \text{ кг};$$

$$G_{\text{кл.в.ф}} = f_{\text{кл.в.ф}} \times P_{\text{возд. макс}} \times 10^4 = 0,0107 \times 0,125 \times 10^4 = 13,3 \text{ кг}.$$

Визначимо площа загального повітропроводу (від повітродувки до «розгалуження» на повітроводи для нижнього і верхнього фурмених поясів). Для розрахунку приймаємо витрату повітря, що надходить вагранку, рівною 4914 м<sup>3</sup> /год. Приймаємо швидкість повітря в загальному повітропроводі рівною  $v_1 = 10 \text{ м} / \text{с}$  . З виразу:

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

$$Q_{\text{заг}} = v_1 \times F_{\text{обш.заг}} \times 3600$$

знаходимо площу перетину загального повітропроводу

$$F_{\text{обш.заг}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{v_1 \times 3600} = \frac{4914}{10 \times 3600} = 0,1365 \text{ м}^2.$$

Тоді з виразу:

$$F_{\text{обш.заг}} = \frac{\pi \times D_{\text{обш.заг}}^2}{4}.$$

Внутрішній діаметр загального повітропроводу складе

$$d_{\text{обш.заг}} = \sqrt{\frac{4 \times F_{\text{обш.заг}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,1365}{3,14}} = 0,416 \text{ м} = 416 \text{ мм}.$$

З асортименту стандартних труб за ГОСТ 8732-78 вибираємо найближчу за розмірами трубу, в даному випадку трубу діаметром 426 мм і товщиною стінки 9 мм, у якій внутрішній діаметр дорівнює  $426 - 2 \times 9 = 408 \text{ мм}$ .

Виходячи з прийнятого співвідношення витрати повітря між нижнім і верхнім рядом фурм (60:40), визначаємо витрату повітря через всі фурми нижнього і верхнього рядів відповідно:

$$Q_{\text{повітря.н.ф}} = 0,6 \times Q_{\text{повітря}} = 0,6 \times 4914 = 2948 \text{ м}^3 / \text{год};$$

$$Q_{\text{повітря.в.ф}} = 0,4 \times Q_{\text{повітря}} = 0,4 \times 4914 = 1965 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Приймаємо максимально допустиму швидкість у повітропроводах для нижнього і верхнього фурмених поясів  $v_3 = 15 \text{ м} / \text{с}$ , тобто для ділянок повітропроводів від «розгалуження» до відповідних фурмених поясів. Тоді аналогічно розрахунку розмірів фурм загального повітропроводу визначимо розміри для нижнього і верхнього рядів фурм (вони будуть рівні):

$$F_{\text{заг.н.ф}} = \frac{Q_{\text{заг.н.ф}}}{v_3 \times 3600} = \frac{2948}{15 \times 3600} = 0,0545 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{заг.в.ф}} = \frac{Q_{\text{заг.в.ф}}}{v_3 \times 3600} = \frac{1965}{15 \times 3600} = 0,0363 \text{ м}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Тоді внутрішній діаметр повітропроводу для нижнього і верхнього рядів фурм буде також рівним і складе 263 мм і 215 мм. З асортименту стандартних труб за ГОСТ 8732-78 вибираємо найближчі за розмірами труби: для повітропроводу нижнього фурменого поясу вибираємо трубу із зовнішнім діаметром 273 мм і товщиною стінки 7 мм, її внутрішній діаметр дорівнює  $273 - 2 \times 7 = 259$  мм. Аналогічно для повітропроводу верхнього фурменого поясу вибираємо трубу із зовнішнім діаметром 219 мм і товщиною стінки 6 мм, її внутрішній діаметр складе 207 мм. Для забезпечення рівномірного розподілу дуття рекомендується повітроводи підводити до фурмених поясів тангенціально.

Приймаємо кількість фурм рівною 6. Кількість фурм у кожному ряду повинна забезпечити рівномірний розподіл дуття по периметру вагранки. Фурми верхнього ряду розміщуються в горизонтальному перерізі посередині між фурмами нижнього ряду в шаховому порядку. Відстань між фурмами по їх осях приймаємо рівною 900 мм.

Визначимо розміри повітродувок, або патрубків, для кожної фурми нижнього і верхнього рядів на ділянках від відповідного фурменого пояса до фурм. Площі поперечного перерізу цих патрубків і їх діаметри в світлі визначимо за витратою дуття через кожну фурму, а саме:

$$q_{н.р} = \frac{Q_{зад.н.ф}}{N} = \frac{2948}{6} = 491 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$q_{в.р} = \frac{Q_{зад.в.ф}}{N} = \frac{1965}{6} = 327 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Швидкість повітря при вході в вагранку приймаємо рівною 15 м/с з метою забезпечення проникнення струменя по всьому перетину вагранки.

При застосуванні фурм круглого перетину площі та діаметри їх визначаються аналогічно розрахунку діаметрів повітропроводів, а саме:

$$f_{н.р} = \frac{q_{н.р}}{v_{\phi} \times 3600} = \frac{491}{15 \times 3600} = 0,009 \text{ м}^2;$$

$$f_{в.р} = \frac{q_{в.р}}{v_{\phi} \times 3600} = \frac{327}{15 \times 3600} = 0,006 \text{ м}^2.$$

Відповідно діаметри фурм становитимуть:

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

$$d_{н.р} = \sqrt{\frac{4 \times f_{н.р}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,009}{3,14}} = 0,107 м = 107 мм;$$

$$d_{в.р} = \sqrt{\frac{4 \times f_{в.р}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,006}{3,14}} = 0,087 м = 87 мм.$$

З асортименту труб за ГОСТ 8732-78 вибираємо найближчі за розмірами труби: для фурм нижнього ряду із зовнішнім діаметром 89 і стінкою 3,5 мм, тобто її внутрішній діаметр дорівнює 82 мм, а для фурм верхнього ряду вибираємо трубу із зовнішнім діаметром 108 мм і товщиною стінки 4 мм, її внутрішній діаметр дорівнює 100 мм.

При застосуванні фурм прямокутного перетину найчастіше висоту фурм приймають рівною висоті вогнетривкої цегли, а саме  $h_{\phi} = 65 мм$  тоді ширина фурм нижнього і верхнього рядів відповідно складе:

$$a_{н.р} = \frac{f_{н.р}}{h_{\phi}} = \frac{0,009}{0,065} = 0,138 м = 138 мм;$$

$$a_{в.р} = \frac{f_{в.р}}{h_{\phi}} = \frac{0,006}{0,065} = 0,092 м = 92 мм.$$

Площа шахти вагранки становить:

$$F_s = \frac{\pi \times D_s^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,9^2}{4} = 0,63 м^2.$$

Виходячи з вимог замовника, приймаємо максимальну масу вилівка  $m_{max} = 2,5 т$ .

Тоді кількість випусків чавуну з вагранки продуктивністю

$Q_v = 5 т/год$  складе

$$n = \frac{Q_v}{m_{max}} = \frac{5}{2,5} = 2 \text{ випуски / год}$$

Визначимо висоту горна за формулою:

$$h_g = \frac{Q_v \times W_s}{n \times F_s} + 0,12,$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

де  $W_{\Gamma}$  – об'єм горна на 1 т рідкого чавуну з урахуванням знаходження в ньому коксу, зазвичай приймається  $W_{\Gamma} = 0,33 \text{ м}^3 / \text{т}$ ;

0,12 – відстань між верхнім рівнем металу в горні та віссю нижнього ряду фурм, м.

$$h_z = \frac{5 \times 0,33}{2 \times 0,63} + 0,12 = 1,429 \text{ м} \approx 1,4 \text{ м}.$$

При застосуванні подвійного (вторинного) дуття продуктивність вагранок вища, ніж у звичайних, тому приймаємо  $h_z = 1,5 \text{ м} = 1500 \text{ мм}$ . При цьому зберігається можливість збільшення висоти горна при необхідності за рахунок зменшення товщини підлоги. Визначимо фактичний об'єм горна:

$$W_{z, \text{факт}} = \frac{F_a \times h_z}{1000} = \frac{0,63 \times 1500}{1000} = 0,95 \text{ м}^3.$$

Приймаємо відстань між шлаковою леткою і нижньою кромкою фурменого отвору  $h_{л.ф} = 75 \text{ мм}$ , діаметр шлакової летка 40 мм, нахил фурм до горизонту  $10^\circ$

Виходячи з досвіду експлуатації вагранок з дворядним фурменим поясом і вторинним дуттям, приймаємо відстань між рядами фурм по їх осях  $h_{\phi} = 0,7 \text{ м} = 700 \text{ мм}$ , а висоту коксу холостої колоші над верхнім рядом фурм  $h_{\epsilon} = 0,4 \text{ м} = 400 \text{ мм}$ .

Загальна висота холостої коксової колоші складе:

$$h_{x,x} = h_z + h_{\phi} + h_{\epsilon} = 1,5 + 0,7 + 0,4 = 2,6 \text{ м} = 2600 \text{ мм}.$$

Об'єм холостої коксової колоші складе:

$$W_{x,x} = F_a \times h_{x,x} = 0,95 \times 2,6 = 2,47 \text{ м}^3.$$

Визначимо масу коксу в холостій колоші за формулою

$$m_{x,k} = W_{x,k} \times \gamma_k$$

де  $\gamma_k$  – об'ємна щільність коксу, що дорівнює  $450 \text{ кг} / \text{м}^3$

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

$$m_{\text{ш.к}} = 2,47 \times 450 = 1111,5 \text{ кг} .$$

Виходячи з досвіду роботи вагранок, зазвичай приймають висоту робочої колоди коксу  $h_{\text{р.к}} = 0,15 - 0,2 \text{ м}$  . Для розрахунку приймаємо максимальну висоту, рівну 0,2 м. Тоді об'єм робочої колоди складе:

$$W_{\text{р.к}} = F_{\text{а}} \times h_{\text{р.к}} = 0,95 \times 0,2 = 0,19 \text{ м}^3 ,$$

А маса коксу в робочій колоді дорівнює

$$m_{\text{р.к}} = W_{\text{р.к}} \times \gamma_{\text{к}} = 0,19 \times 450 = 85,5 \text{ кг} .$$

З практики відомо, що маса металевої коксової колоди зазвичай становить 8-10% від годинної продуктивності вагранки, тобто для вагранки продуктивністю 5 т/год = 5000 кг/год отримуємо:

$$m_{\text{ш.к}} = (0,08 + 0,10) \times Q_{\text{в}} = (0,08 + 0,10) \times 5000 = 400 - 500 \text{ кг} .$$

Для розрахунку приймаємо максимальну масу 500 кг. Визначимо об'єму металевої колоди за формулою

$$W_{\text{ш.к}} = \frac{m_{\text{ш.к}}}{\gamma_{\text{ш.к}}} ,$$

Де  $\gamma_{\text{ш.к}}$  – об'ємна щільність металевої шихти, що дорівнює  $2500 \text{ кг} / \text{м}^3$

$$W_{\text{ш.к}} = \frac{500}{2500} = 0,2 \text{ м}^3 .$$

Корисна висота вагранки визначається за формулою

$$h_{\text{пол}} = (3,5 \div 6) \times D_{\text{в}}$$

Корисну висоту 5-тонних вагранок приймають за ГОСТ 24774-81 рівною 4500 мм. Однак умови кожного конкретного цеху при модернізації вагранок, тобто в умовах існуючих будівельних конструкцій будівлі цеху, можуть внести свої корективи. Прийmemo в нашому випадку  $h_{\text{нідола}} = 4000 \text{ мм}$  , пам'ятаючи, що корисна висота вагранки визначається як відстань від осі нижнього ряду фурм до нижнього зрізу завалювального вікна. Тоді загальна висота шахти

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

вагранки (без урахування висоти опорної частини, вузла завантаження і труби з іскрогасником або пилоуловлювачем) складе:

$$H_B = h_2 + h_{\text{підлога}} = 1,5 + 4,0 = 5,5 \text{ м} .$$

Загальний об'єм шахти вагранки складе (для  $Q_B = 5 \text{ т / год}$ ):

$$W_c = F_c \times H_c = 0,95 \times 5,5 = 5,2 \text{ м}^3 .$$

Визначаємо кількість металевих і паливних колош, що вміщуються в шахту вагранки, виходячи з співвідношення:

$$n = \frac{W_c - W_c}{W_{p.k} + W_{m.k} + W_{\phi.l}} ,$$

Де  $W_{p.k}$ ,  $W_{m.k}$ ,  $W_{\phi.l}$  – обсяги робочих колош коксу, металеві шихти та флюсу (вапняку);

$$W_{\phi.l} = \frac{m_{\phi.l}}{\gamma_{\phi.l}} ,$$

Де  $m_{\phi.l} = (0,03 \div 0,05) \times W_{m.k} \times \gamma_m = (0,03 \div 0,05) \times 0,2 \times 2500 = 15 \div 25 \text{ кг}$

приймаємо 20 кг

$\gamma$  – об'ємна маса вапняку, що дорівнює 1600-2000 кг/м<sup>3</sup>, приймаємо 1800 кг/м<sup>3</sup>;

$$W_{\phi.l} = \frac{20}{1800} = 0,011 \text{ м}^3 ;$$

$$n = \frac{5,2 - 0,95}{0,19 + 0,2 + 0,011} = 10,4 \approx 10 .$$

Маса робочих колош коксу, що вміщуються в шахту, складе:

$$\sum m_{p.k} = n \times m_{p.k} = 10 \times 85,5 = 855 \text{ кг} .$$

Маса металеві шихти складе

$$\sum m_{m.k} = n \times m_{m.k} = 10 \times 500 = 5000 \text{ кг} .$$

Маса флюсу (вапняку) складе:

$$\sum m_{\phi.l} = n \times (9 \div 15) = 10 \times 12 = 120 \text{ кг} .$$

Масу вапняку можна визначити, виходячи з досвіду експлуатації вагранок,

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

приймавши витрату вапняку рівною 35-45 кг на 1 т металевої закладки. Тоді

$$\sum m_{ф.л} = 40 \times 4,2 = 168 \text{ кг} .$$

Разом у шахту вагранки завантажуються шихтові матеріали із загальною масою:

$$\sum m = \sum m_{р.к} + \sum m_{м.к} + \sum m_{ф.л} + \sum m_{х.к} = 855 + 5000 + 120 + 1111,5 = 7086,5 \text{ кг}$$

Необхідний тиск у фурмах визначається за формулою:

$$\Delta P = \frac{v_{ср}^2 \times (h_{пол} + 0,25 \times D_c)}{A},$$

Де  $v_{ср}^2$  – середня швидкість повітря у вагранці, рівна за величиною питомої витраті повітря на 1 м<sup>2</sup> поперечного перерізу в хвилину м/хв

Нкор – корисна висота вагранки за розрахунком, м

A – емпіричний коефіцієнт, рівний 100 при нормальній шихті за розмірами шматків; при дрібному коксі, наприклад, цей коефіцієнт зменшується

Для вагранки продуктивністю 5 т/год маємо (при прийнятій  $h_{пол} = 3,9\text{м}$ ):

$$\Delta P = \frac{130^2 \times (4,0 + 0,25 \times 0,9)}{100} = 714,025 \text{ мм.вод.ст.}$$

Зазвичай тиск повітря у вагранках продуктивністю 5 т/год коливається в межах 700-900 мм вод. ст. Обрана за необхідною витратою повітря повітродувка В2М10/1250 розвиває тиск 1250 Па .

Розрахований тиск  $\Delta P$  враховує тільки опір стовпа шихти в самій вагранці. Для більш точного вибору типу повітродувки необхідно додати до в  $\Delta P$  опір в системі повітропроводів: від повітродувки до фурм (близько 150-200 мм вод. ст. залежно від поворотів, розширень, звужень системи підведення дуття), а також опір мокрого пиловловлювача ~ 200 мм вод. ст.

Таким чином, сумарний опір складе:

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

$$\sum P = \Delta P + P_{\text{повітря}} + P_{\text{мокр.пилос}} = 714 + 150 + 200 = 1064 \text{ мм.вод.ст.}$$

Такий тиск забезпечується повітрорудкою типу В2 М10/1250.

Вибір повітрорудки проводиться за необхідною кількістю дуття  $Q_{\text{max}}$  (продуктивність повітрорудки регулюється встановленим на ній шибером на вході повітря з навколишнього середовища) і сумарному опорі  $\sum P$  (тиск, що розвивається повітрорудкою не регулюється, і має бути не менше  $\sum P$ ).

Розміри вогнетривкої кладки шахти вагранки і підлоги визначаються в основному розмірами вогнетривкої цегли, порядком їх розташування при кладці і кількістю рядів. Для наближених розрахунків приймається товщина підлоги над підлоговою плитою в межах 250-400 мм (в залежності від продуктивності вагранки), а футерування шахти виконують у 2 шари цегли із загальною товщиною, що дорівнює подвійній товщині вогнетривких виробів за ГОСТ 3272-71 або на одну ширину і ребро (стандартний розмір вогнетривкої цегли 65×113×230 мм)

					КНУ.РБ.136.26.112с-06.04 ОР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі виконано проектування цеху чавунного лиття для виробництва виливків із сірого чавуну марки СЧ25 в умовах багатосерійного та масового виробництва. Розроблена виробнича програма забезпечує річний випуск товарної продукції обсягом 23000 тонн.

Проведено обґрунтування режиму роботи цеху та виконано розрахунок річного фонду часу роботи обладнання. Встановлено, що двозмінний режим роботи забезпечує ефективне використання технологічного обладнання та необхідну продуктивність виробництва.

Виконано розрахунок формувального, стрижневого та сумішеприготувального відділень, визначено необхідну кількість обладнання та виробничих площ. Запропоновані технічні рішення забезпечують безперервність технологічного процесу та оптимальну організацію виробництва.

Розроблено технологічний процес виготовлення стрижнів та форм, виконано вибір формувальних і стрижневих сумішей, що забезпечують необхідні фізико-механічні властивості форм і стабільну якість виливків.

Проведено розрахунок шихти для виплавки чавуну марки СЧ25 з урахуванням угару хімічних елементів та особливостей плавлення у вагранці. Запропонований склад шихти забезпечує отримання чавуну необхідного хімічного складу та механічних властивостей.

Виконано розрахунок вагранки з вторинним дуттям, визначено параметри фурмених поясів, повітропроводів, витрати повітря та конструктивні розміри основних елементів плавильного агрегату. Використання вторинного дуття дозволяє підвищити температуру чавуну, знизити витрати коксу та покращити екологічні показники роботи вагранки.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06. В			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Акруїїв
Розроб.		Козка В.М.					1	1
Перевір.		Сайтгарєєв Л.Н.						
Н. Контр.		Сайтгарєєв Л.Н.						
Затверд.		Бабошко Д. Ю.						
						МТ-23-2ск		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виробництво чавуну для виливків [Текст] : навч. посіб. / О. М. Смірнов, В. Л. Жук, А. І. Туяхов. - Донецьк : Норд-Прес, 2010. - 255 с.
2. Модифікація структури високолегованих чавунів та нанесення захисних покриттів висококонцентрованими джерелами енергії [Текст] : монографія / [Ю. Г. Ча бак та ін.] ; Держ. ВНЗ "Приазов. держ. техн. ун-т". - Луцьк : Вежа-Друк, 2024. - 283 с.
3. Хричиков В.Е., Меняйло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
4. Сплави на основі заліза :підручник для студентів вищих навчальних закладів : у 2 томах /В.І. Мазур, І.З. Куцова, О.А. Носко, М.А. Ковзель; за загальною редакцією В.І. Мазура; , Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - Київ: Політехніка, 2015. – 272 с.
5. Позапічне рафінування чавуну і сталі: навчальний посібник /О.М. Смірнов, О.М. Зборщик. - Донецьк : Вид-во "Ноулідж", Донецьке відділення, 2012. - 179 с.: іл.
6. Федоров Г.Є. Проектування ливарних цехів [Текст] : підруч.: у 2 ч. / Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко т ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – Ч.1. – Бібліогр.:с. – 582.
7. Федоров Г.Є. Проектування ливарних цехів [Текст] : підруч.: у 2 ч. / Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко т ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – Ч.2. – Бібліогр.:с. – 380.

					КНУ.РБ.136.26.112с-06. СВД					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ					
Розроб.		Козка В.М.						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Саїтгарєєв Л.Н.						1	1	
Н. Контр.		Саїтгарєєв Л.Н.						МТ-23-2ск		
Затверд.		Бабошко Д. Ю.								

8. Пархоменко А.В. Ремонт та експлуатація обладнання ливарного виробництва[Текст]: навч. посібник / А.В.Пархоменко, В.В.Наумик, В.В.Луньов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 260с.
9. Технологія ливарної форми (ТЛФ) : навчальний посібник до практичних занять і самостійної роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія", спеціальності 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А.М. Фесенко ; Міністерство освіти і науки України, Донбаська державна машинобудівна академія, Кафедра технологій і обладнання ливарного виробництва. - Краматорськ : ДДМА, 2017. - 112 с.
10. Іванова, Л. Х., Шапран, Л. О. Ливарне виробництво: технологія фасонного литва: навч. посіб. / Л. Х. Іванова, Л. О. Шапран. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 256 с.
- 11.Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки [Текст] : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк., О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк ; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2009. - 198 с.
- 12.Конструкція і технологія виготовлення ливарних заготовок [Текст] : навч. посіб. / А. С. Аралкін. - Кривий Ріг : Вид. центр КТУ, 2011. - 164 с
- 13.Модельна оснастка для виробництва виливків у піщаних формах. Дорошенко С. П., Федоров Г. Є. Навчальний посібник. – К.: Політехніка, 2001. – 108 с., 2003. – 112 с.
- 14.Корицький Г. Г., Маняк М. О., Пасічник С. Ю. Технологія ливарного виробництва: навчальн. посібн. для ВНЗ. Донецьк: ДонНТУ, 2008. 175 с.
- 15.Технології виробництва заготовок литтям [Текст] : навч. посіб. для здобувачів вищ. освіти галузі знань 13 "Механічна інженерія" / Василь Васильків, Лариса Данильченко, Дмитро Радик ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. - 491 с.
16. Виробництво виливків [Текст] : підручник / О. Л. Голубенко [та ін.] ; Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля, Магдебурзький ун-т ім. Отто-фон-Гюріке. - Луганськ : СХУ ім.В.Даля, 2009. - 328 с.:

					КНУ.РБ.136.26.112с-06. СВД	<i>Арк.</i>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2