

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри М та ЛВ

к.т.н., доц. Олександр КУЗИК

(прізвище та ініціали)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 \_\_р

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:

**«Розробка технологічного процесу виготовлення  
відливка «Шків» методом лиття в піщано-глинисту  
форму»**

**«Development of a technological process for  
manufacturing a casting «Pulley» by the method of  
casting in a sand-clay mold»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи ПМ(ОЛ)-21

Валентин Губенко

(прізвище та ініціали)

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Керівник роботи:

к.т.н., доц.

Олександр СКРИПНИК

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

(прізвище та ініціали)

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри М та ЛВ  
Олександр КУЗИК  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Губенко Валентин Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технологічного процесу виготовлення відливка «Шків» методом лиття в піщано-глинисту форму

керівник роботи доц., к.т.н. Скрипник Олександр Вікторович

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом вищого навчального закладу від “\_2\_”\_01\_2025\_ року № 9-02

2. Строк подання студентом роботи 15.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ – завдання на бакалаврську роботу, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ – матеріали переддипломної практики;

\_\_\_\_\_ – державні стандарти та технічні нормативи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей, характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок, розробка технологічного процесу виготовлення виливка, розрахунок і конструювання ливникової системи, опис технологічного процесу виготовлення виливка, опис процесу проектування ливарного оснащення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): \_\_\_\_\_

Шків;

Модельний комплект низу;

Форма в зборі

## 6. Консультант по роботі

Розділ	Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Процес виготовлення виливка	Скрипник О.В., доц.		

7. Дата видачі завдання 10.03.2025

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей	25.03.2025	
2	Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок	1.04.2025	
3	Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	9.04.2025	
4	Розрахунок і конструювання ливникової системи	15.04.2025	
5	Опис технологічного процесу виготовлення виливка	21.04.2025	
6	Опис процесу проектування ливарної оснастки	7.05.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	17.05.20245	
8	Оформлення презентації роботи	25.05.2025	

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025\_\_ р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (Олександр СКРИПНИК)  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025\_\_ р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ (Валентин ГУБЕНКО)  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 32 стор. друкованого тексту і містить 5 рис., 12 табл., 17 джерел.

В бакалаврській роботі виконано значний обсяг роботи, який включає в себе докладний аналіз, планування та впровадження різних етапів виробництва виливків, а саме:

1. аналіз конструкції деталі. Даний етап включає в себе докладний аналіз конструкції виробу, визначення його властивостей та вимог до якості;
2. розроблення технічних умов. Документ, який містить вимоги до виготовлення виробу, такі як матеріал, розміри, технологічні параметри тощо;
3. розробка технології виготовлення відливка. Включає в себе вибір оптимального методу лиття, планування послідовності операцій та вибір необхідного обладнання;
4. розрахунок ливниково-живильної системи. Для забезпечення правильного наповнення форми розраховано і спроектовано систему підводу сплаву у форму;
5. технологія виготовлення форми. Включає в себе вибір матеріалу для форми, її виготовлення, обробку та обробку поверхні;
6. характеристика матеріалів. Проведено детальний аналіз матеріалів, які використовуються для виготовлення виливків, включаючи їх властивості та особливості;
7. технічний контроль якості виливків. Визначено параметри контролю якості, проведено випробування та оцінка відповідності виробу вимогам.

Кожен з цих етапів вимагає уважного планування, координації та контролю для забезпечення успішного виробництва виливків відповідно до встановлених стандартів якості.

Об'єкт розробки – процес виготовлення виливка з сірого чавуну корпус «Шків» масою 13,1 кг для аксіально-поршневого насоса методом лиття в піщано-глинисту форму.

Предмет розробки – визначення технологічних параметрів, складання опису виробництва вилівка та його формування.

Результати проектування – розроблена технологія ливарної форми, виконано вибір сучасного ливарного устаткування.

Результати розробки можуть бути рекомендовані для впровадження при виробництві чавунних виливків середньої складності в умовах серійного та масового виробництва.

## **ВИЛИВОК, ОПОКА, ЖИВИЛЬНИК, ПРИПУСК, ОСНАСТКА, МОДЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКТ, СТЕРЖЕНЬ**

### **ABSTRACTS**

The explanatory note is presented on 32 pages of printed text and contains 5 figures, 12 tables, 17 references.

A significant amount of work was done in the bachelor's thesis, which includes a detailed analysis, planning and implementation of various stages of casting production, namely:

1. analysis of the part design. This stage includes a detailed analysis of the product design, determination of its properties and quality requirements;
2. development of technical specifications. A document that contains requirements for the manufacture of a product, such as material, dimensions, technological parameters, etc;
3. development of casting manufacturing technology. This includes choosing the optimal casting method, planning the sequence of operations and selecting the necessary equipment;
4. calculation of the sprue and feeder system. To ensure proper filling of the mold, the alloy feeding system is calculated and designed;
5. mold manufacturing technology. It includes the choice of material for the mold, its manufacture, processing and surface treatment;

6. characterization of materials. A detailed analysis of the materials used to make the castings, including their properties and features, is carried out;

7. technical quality control of castings. Quality control parameters are determined, tests are performed, and product compliance is assessed.

Each of these stages requires careful planning, coordination and control to ensure the successful production of castings in accordance with established quality standards.

The object of development is the process of manufacturing a gray cast iron casting of the “Pulley” housing weighing 13.1 kg for an axial piston pump by casting in a sandy clay mold.

Subject of development - determination of technological parameters, drawing up a description of the casting production and its molding.

**VILIVOK, OPOK, ZHIVILNIK, ALLOWANCE, TOOLING, MODELING  
KIT, ROD**

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	7
1 Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей.....	8
2 Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок.....	10
3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	11
3.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	11
3.2 Визначення положення виливка у формі.....	15
3.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	16
4 Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	17
4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.....	17
4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.....	17
4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	19
5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	21
5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші.....	21
5.2 Формовка.....	22
5.3 Збирання форм.....	23
5.4 Заливка форм.....	24
5.5 Вибивка і обрубка.....	25
6 Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	26
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	29
ЛІТЕРАТУРА.....	30
ДОДАТКИ.....	32

## ВСТУП

Ливарне виробництво, коріння якого сягають глибин історії людства, сьогодні є невід'ємною частиною сучасного машинобудування. Від бронзової доби до космічної ери, литі деталі відігравали ключову роль у розвитку цивілізації. Сучасне ливарне виробництво, поєднуючи багатовікові традиції з інноваційними технологіями, забезпечує промисловість широким спектром високоякісних деталей [1].

Однак, розвиваючись, галузь стикається з новими викликами, пов'язаними з екологічними стандартами, конкуренцією на глобальному ринку та необхідністю підвищення ефективності виробництва. Класичні технології лиття в піщані форми, хоча й залишаються широко розповсюдженими, все частіше поступаються місцем сучасним методам, що дозволяють отримувати деталі вищої точності та якості поверхні. Зростаючі вимоги до міцності, довговічності та естетичного вигляду виробів стимулюють розвиток новітніх технологій.

Автоматизація, комп'ютерне моделювання та нові матеріали відкривають нові можливості для оптимізації процесів лиття, зниження відходів та підвищення якості продукції [2]. Ливарне виробництво сьогодні – це не просто виробництво деталей, а високотехнологічна галузь, що постійно розвивається і відповідає на виклики часу.

## 1 Обґрунтування вибору матеріалу вилівка та опис його властивостей

Для виготовлення вилівка «Шків» обрано сплав СЧ 20 (ДСТУ 8833:2019) [3]. Цей вибір зумовлений оптимальним поєднанням фізико-механічних властивостей та хімічного складу сплаву, що забезпечує необхідну якість та довговічність деталей. Детальні характеристики сплаву наведено в таблицях 1.1, 1.2 та 1.3. Таблиця 1.1 - Фізичні властивості чавуну марки СЧ 20 ДСТУ 8833:2019

Марка чавуну	Густина, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Лінійна усадка, $\epsilon$ , %	Ливарна усадка, $\beta$ , %	Модуль пружності під час розтягування, $E \times 10^{-5}$ МПа	Питома теплоємність, $c$ , в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С включно, Дж/(кг·К)	Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha$ , в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С включно, $\alpha \times 10^{-6}/K$	Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda$ , за 20 °С, Вт/(м·К)
СЧ 20	7100	0,9 – 1,3	0,8 – 1,0	850 - 1100	480	9,5	54

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву СЧ20 ДСТУ 8833:2019

Сплав	Межа міцності на розрив $\sigma_r$ , МПа, не менше ніж	Відносне подовження, %	Твердість по Брінеллю, НВ, не більше ніж
СЧ 20	200	0,40 - 0,70	143 - 255

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сплаву СЧ20 за ДСТУ 8833:2019

Елементи	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
В межах	3,30 - 3,50	1,40 - 2,40	0,70 - 1,00	< 0,15	< 0,20
Середнє	3,40	2,30	0,70	0,15	0,20

Сірий чавун є одним з найпоширеніших матеріалів у ливарному виробництві, незважаючи на його обмежену пластичність і схильність до крихкого руйнування. Його популярність зумовлена низкою корисних властивостей, зокрема високою міцністю на стиск, хорошою оброблюваністю та здатністю гасити вібрації.

Властивості сірого чавуну значною мірою залежать від структури графіту, яка формується під час кристалізації:

1. Форма та розмір графітових включень - пластинчаста форма графіту, характерна для сірого чавуну, знижує його пластичність, але надає високу міцність

на стиск; розмір графітових включень також впливає на міцність і зносостійкість чавуну.

2. Вплив елементів - кремній і марганець відіграють ключову роль у процесі графітизації, впливаючи на кількість і форму графітових включень.

3. Швидкість охолодження - повільне охолодження сприяє утворенню більших графітових включень, що знижує міцність, але підвищує зносостійкість.

Для покращення властивостей сірого чавуну застосовують різні методи модифікації:

– додавання модифікаторів - феросиліцій, силікокальцій та інші модифікатори сприяють утворенню дрібніших і більш однорідних графітових включень, що підвищує міцність і зносостійкість матеріалу.

– термічна обробка – відпал і гартування дозволяють змінювати структуру чавуну та, відповідно, його властивості.

Переваги сірого чавуну:

1. висока міцність на стиск - забезпечує надійність конструкцій, що працюють під стискаючими навантаженнями;

2. хороша оброблюваність - дозволяє виготовляти деталі складної форми;

3. здатність гасити вібрації - зменшує рівень шуму та вібрацій в машинах і механізмах;

4. стійкість до корозії - забезпечує довговічність виробів в агресивних середовищах;

5. низька вартість - порівняно з іншими матеріалами, сірий чавун є відносно дешевим.

Сірий чавун широко використовується в машинобудуванні для виготовлення:

– деталей двигунів внутрішнього згорання;

– корпусів насосів;

– гальмівних дисків;

– верстатів;

– та багатьох інших деталей.

Сірий чавун є універсальним матеріалом з унікальним поєднанням властивостей. Правильне застосування та модифікація дозволяють розширити сферу його використання та створювати високоякісні та довговічні вироби.

## **2 Аналіз конструкції деталі і технічних умов на вилівок**

Вилівок «Шків» має точність 11Т-0-0-10 ДСТУ 8981:2020 Вилівки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення [4], група 2, виготовляється із чавуну СЧ20 за ДСТУ 8833:2019 [3]. Невказані ливарні ухили  $1^\circ$ , неказані радіуси від 6 до 8 мм. Базові поверхні повинні бути чистими без напливів та наростів. Вилівок повинен бути очищений до металевого блиску від формувальної суміші, пригару та звільнений від живильника, прибутку, задири та нарости повинні бути видаленими. Корозія не допускається.

Зміщення по лінії роз'єму до 3 мм. На необроблюваних поверхнях допускаються раковини глибиною до 3 мм і діаметром до 6 мм. У місцях спряження стержня і знакових частин допускається кільцеві заусениці до 1,5 мм.

Деталь «Шків» представляє собою циліндр. Маса деталі 13,1 кг, габаритні розміри діаметр  $59,6 \times 268$  мм, твердість матеріалу від 143 до 2552 НВ ДСТУ 8833:2019.

Вилівок «Шків» призначений для сівалки СЗТ – 3,6 А. Внутрішні отвори отримуємо за допомогою стержня та болванів. Оброблюваними поверхнями є зовнішня і торцева поверхні. Останні поверхні необроблювані. Даний вилівок являється технологічним. Зовнішні поверхня вилівка представляє собою круглі контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію вилівка при усадці його під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Вилівок має один стержень, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один.

### 3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

#### 3.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів

Для плавки сплаву марки СЧ 20 обираємо тигельну індукційну піч промислової частоти марки ИТПЭ-1,5/1,2 ТГ [5], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

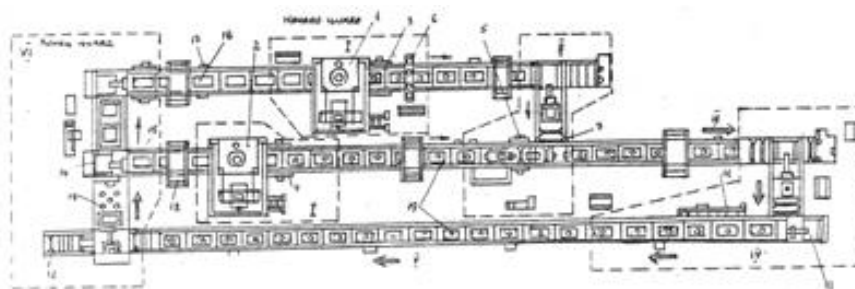
Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ИТПЭ-1,5/1,2 ТГ

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Витрати палива	кВт год/т	800
Потужність	кВт	1200
Температура металу при випуску із печі	°С	1300...1550
Продуктивність плавки	т/год	1,30
Угар і безповоротні втрати	%	2...4

Втрати температури чавуну при випуску із плавильної печі, транспортуванні і переливі із ковша в ківш повинні бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску чавуну з індукційної печі втрати температури складають від 20 до 40 °С, а при переливі з ковша в ківш від 30 до 50 °С.

Рекомендована температура заливки сірого чавуну при середній товщині стінки відливки 22 мм і з врахуванням втрат тепла складає від 1460 до 1340 °С.

Виливок «Шків» виготовляється на автоматичній ливарній лінії ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" [6]. На цій лінії весь процес отримання виливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір опоки в світлі 900 × 600 мм. Висота верхньої опоки рівна висоті нижньої – 200 мм. Модельні плити односторонні, на одній плиті змонтовані частини моделі для оформлення низу форми, на іншій – для верха. На рис. 3.1 наведено загальний вид автоматичної лінії ІЛ 225, а технічна характеристика в табл. 3.2.



Дільниці: I – формовки; II і III – складання форм; IV – заливки; V - охолодження;  
VI – вибивки

1 - формувальний автомат нижніх напівформ; 2 - формувальний автомат верхніх напівформ; 3 - кантувач нижніх напівформ; 4 і 5 - кантувач верхніх напівформ; 6 - механізм зрізання залишків суміші; 7 - складальник форм; 8 - відсікач; 9 - уніфікований товкач; 10 - механізм опускання підопічних щитів; 11 - механізм приживання форм при заливці; 12 - механізм спускання підопічних щитів; 13 - установка видавлювання форм і опок; 14 - розпакувальник; 15 - механізм підйому опок; 16 - кантувач нижніх опок; 17 - механізм очистки опок; 18 - перехідний мостик; 19 - секції роликового конвеєра.

Рисунок 3.1 – Загальний вид комплексної автоматичної лінії ІЛ 225

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика автоматичної лінії ІЛ 225

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розміри опок: висота × довжина × ширина	мм	250 × 900 × 600
Циклова продуктивність	форм/год	240
Максимальне зусилля пресування	кН	2350
Тиск пресування	МПа	4...6
Найбільша металоємність форми	кг	70
Швидкість руху опок по роликовим конвеєрам	м/хв	4...6,75
Час охолодження	хв	30...90
Кількість комплектів опок	шт	100
Кількість підопічних плит	шт	90
Витрати стисненого повітря	м <sup>3</sup> /хв	110
Максимально встановлена потужність	кВт	115
Витрати формівної суміші	м <sup>3</sup> /хв	70...110
Число операторів	чол	5
Габаритні розміри лінії	мм	65200 × 9300 × 6855
Заглиблення лінії	мм	755
Загальна маса лінії	т	220

Процес формовки починається з виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М [6]. Виготовлена напівформа по рольгангам направляється на обдув стисненим повітрям для видалення частинок формувальної суміші, які потрапили у порожнину форми. Напівформа верха також виготовляється на формувальному пресі В-440М. З ділянки виготовлення стержнів готові стержні транспортуються до місця збирання напівформ.

Стержні виготовляються на карусельному напівавтоматі моделі 4509А, технічну характеристику якого наведено в табл. 3.3 [7].

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика карусельного напівавтомата моделі 4509А.

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Найбільша маса стержнів	кг	6,0
Продуктивність стержнів	год	120...150
Розміри стержневих ящиків	мм	400 × 300 × 100
Габаритні розміри машини	м	4,1 × 3,4 × 3,0

Стержні проставляються вручну у напівформі низу, потім за допомогою розпаровщика опок ІС-10-001 напівформа верха з'єднується з напівформою низу. Зібрана форма направляється по рольгангам на ділянку заливки. Заливка форми виконується автоматичним заливщиком з ковшем, ємкість якого 250 кг. Перед заливкою чавун повинен бути очищений від шлаку.

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків, однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, виливок охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з дільниці заливки до дільниці вибивки. За час руху у виливку закінчуються усі перетворення. Чавунні виливки необхідно вибивати при температурі 400 °С. Форма вибивається на спеціальній установці, на якій суміш і виливки видавлюються пресом на вібраційну решітку із нерухомої форми, де руйнуються її спресовані грудки. Потім суміш поступає по лотку на транспортер. Виливки потрапляють в галтувальний барабан для остаточного відділення від суміші і частково від ливників, технічну характеристику якого наведено в табл. 3.4 [8].

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика галтувального барабана моделі ГБТ 1600

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	6
Тривалість галтування	год	0,5
Габаритні розміри	мм	1530 × 1200 × 1500
Маса	т	3,2
Потужність електродвигуна	кВт	7,5

Із барабанів виливки потрапляють на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і обробки.

Перед очищенням виливки попередньо оглядаються, брак видаляється і не поступає на очистку.

Технологічний процес очищення виливків складається із наступних операцій:

- видалення стержнів;
- відділення ливників, випорів;
- очищення виливків від прилиплої формувальної суміші;
- остаточного контролю якості виливків після очищення і обрубки.

Для остаточної очистки виливок застосовується дробометна камера моделі 42834, технічну характеристику якої наведено в табл. 3.5 [8].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометної камери моделі 42834

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність камери, т/год	т/год	3,8
Габаритні розміри очищаємих виливків	мм	800 × 1100
Дробометний апарат число обертів	тип об/хв	42115 2500
Кількість дробометних апаратів	шт	2
Кількість дробу, викидаємого дробометним апаратом: при обробці деталей на підвісці при обробці деталей на стопці	г/хв г/хв	500 250
Електродвигун А02-21-4: потужність, кВт кількість обертів Редуктор РМ-250	кВт об/хв	2,8 1440 i = 23,34

Встановлена потужність електродвигуна	кВт	48,2
Вантажопідіймальність підвісок	кг	630
Габаритні розміри камери	мм	3900 × 4850 × 5530
Маса камери	т	12,6

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання здійснюється на стаціонарних зачисних станках моделі DS 300S, технічну характеристику яких наведено в табл. 3.6 [9].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика зачисного станка моделі DS 300S

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Зернистість		К 36 / К 80
Продуктивність	т/год	0,5...0,6
Частота обертання шпинделя	об/хв	1450
Потужність електродвигуна	кВт	3

Контроль якості виливків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Грунтовка виливків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки. Виливки перед фарбуванням промиваються в двокамерній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується грунтовка виливків зануренням у ванну з просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування виливки направляємо на склад готових виробів.

### 3.2 Визначення положення виливка у формі

Положення виливка у формі в період заливки вибираємо вертикальним, так як оброблювані поверхні – посадочні місця повинні бути розташовані вертикально, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає вертикальне положення і є єдиною для даного виливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що виливок знаходиться в нижній і верхній

напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

### **3.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків**

Розміри вилівка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сірого чавуну вибираємо по ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення [9]. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією (лист БР - 131.25.05.01.00.00) і вказується величина припуску, яка по ДСТУ 8981:2020 для даної деталі складає 4 мм.

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру вилівка. Значення величини ливарної усадки для сірого чавуну вибираємо з [10]. Для середніх відливків вільна усадка рівна 1%.

Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах  $1/5 \dots 1/3$  середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіуси заокруглень складають 8, 6 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [10]. Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі (лист БР - 131.25.05.01.00.00), не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку (лист БР - 131.25.05.01.00.00). З'єднання стержня з верхньою і нижньою напівформами виконується за рахунок циліндричних знаків. Розміри бокових стержневих знаків вибираємо у відповідності з наказом від 28.12.2022 № 285 «Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC» [11]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо довжину знаків 32 мм [10].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [10]. Для знаків бокові зазори рівні 1 мм, верхній зазор 0,5 мм.

## **4 Розрахунок і конструювання ливникової системи**

### **4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.**

Габарити опок визначаються габаритами вилівка, кількістю вилівоків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті.

Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношенням загальної ваги металу у формі до ваги формувальної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів вилівка і знаходиться у межах від 0,25 до 1,2 [12].

Відстань між окремими моделями дорівнює  $(0,3 \dots 0,5) \times h$ , де  $h$  – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формуванні в одній опоці декількох вилівоків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути  $\leq 20 \dots 25$  мм. Відстань від тіла вилівка до стінок опок складає від 50 до 100 мм, від стержневого знаку до бокової стінки опоки від 0 до 50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини знаходиться в межах від 60 до 120 мм. Враховуючи, що для виготовлення вилівка застосуємо автоматичну лінію ІЛ 225 з розмірами кому  $900 \times 600 \times 200$  мм, кількість вилівоків в формі приймаємо рівним 2 шт.

### **4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.**

Ливниково-живильна система служить для забезпечення заповнення ливарної форми металом з оптимальною швидкістю, що виключає утворення у виливку недоливів і неметалічних включень, і об'ємної усадки в період затвердіння виливка.

Знаходимо масу металу, необхідного для заливки форми:

$$G_{\text{металу}} = 2G + 2(0,3 G) \quad (4.1)$$

де  $G$  - маса виливка,  $G = 13,1$  кг.

$$G_{\text{металу}} = 2 \cdot 13,1 + 2(0,3 \cdot 13,1) = 34,06 \text{ кг}$$

Для одного виливка:

$$G_{\text{металу}} = 13,1 + (0,3 \cdot 13,1) = 17,03 \text{ кг}$$

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [13]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (4.2)$$

де  $S_1$  – коефіцієнт,  $S_1 = 2$  [13];

$\delta$  – середня товщина стінок виливка, мм;

$C_1$  – вага однієї відливки з ливниковою системою, кг

$$t_1 = 2 \cdot \sqrt{16 \cdot 34,06} = 46,68 \approx 47 \text{ с}$$

$$t_2 = 2 \cdot \sqrt{16 \cdot 17,03} = 33,01 \approx 33 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (4.3)$$

де  $C$  – висота відливка, мм;

$t$  – оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{98}{33} = 2,96 \approx 3 \text{ мм/с}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [13].

#### 4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Сумарна площа живильників:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{G}{\mu \cdot t \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (4.4)$$

де  $G$  – маса вилівка з ливниками і т.п., кг.

$\mu$  – коефіцієнт витрати. Приймаємо  $\mu = 0,5$  [13].

$t$  – час заповнення форми, с.

$\rho$  - густина рідкого металу. Приймаємо  $\rho = 7100 \text{ кг/м}^3$  [13].

$g$  – прискорення вільного падіння, м/сек<sup>2</sup>;

$H_p$  – металостатичний напір, м.

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{34,06}{0,5 \cdot 47 \cdot 7100 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,195}} = 0,000105 \text{ м}^2 = 1,05 \text{ см}^2$$

Так як обрано заливку металу по роз'єму форми, то статичний напір розраховується за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{2c}, \quad (4.4)$$

де  $H_0$  - висота металу в чаші,  $H_0 = 200$  мм;

$p$  - висота вилівка над рівнем підйому металу,  $p = 30$  мм;

$c$  - загальна висота вилівка,  $c = 98$  мм.

$$H_p = 200 - \frac{30^2}{2 \times 98} = 195,4 \approx 195 \text{ мм} = 0,195 \text{ м}$$

Так як для живлення вилівки використовується два живильника, то площа

одного живильника  $F_{\text{жив}} = \frac{\sum F_{\text{жив}}}{2} = 0,525 \text{ см}^2$ .

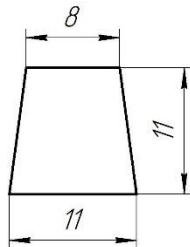
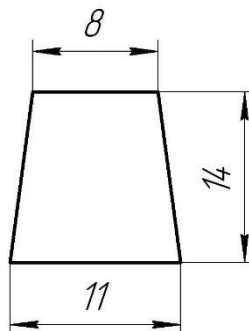


Рисунок 4.1 - Переріз живильника

Площа шлаковловлювача:

$$\sum F_{\text{ш}} = 1,1 \sum F_{\text{ж}} = 1,25 \text{ см}^2$$



### Рисунок 4.2 - Переріз шлаковловлювача

Площа стояка:

$$F_{ст} = 1,5 \sum F_{ж} = 1,5 \times 1,05 = 1,57 \text{ см}^2$$

Діаметр стояка  $D_{ст} = 1,416 \text{ см}$ . Відповідно до виробничої необхідності приймаємо  $D_{ст} = 2 \text{ см} = 20 \text{ мм}$

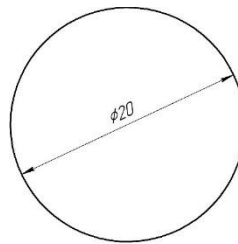


Рисунок 4.3 - Переріз стояка

Розрахунок ливникової воронки:

$$D_{в} = (2,7...3) D_{ст} = 3 \times 20 = 60 \text{ мм}$$

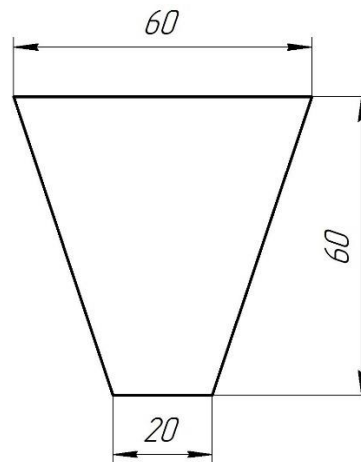


Рисунок. 4.4 - Переріз воронки

## 5 Опис технологічного процесу виготовлення форми

### 5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формувальну суміш. На автоматичній лінії ІЛ 225 використовується формувальна суміш з підвищеною рідинотекучістю, склад та механічні властивості стержньової та формувальної сумішей наведено в табл. 5.1 [14].

Таблиця 5.1 – Склад та властивості формувальної та стержньової сумішей

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
<b>Стержньова суміш</b>		
Пісок кварцовий 1КО2А ДСТУ Б В.2.7-131:2007	%	100
Лігносульфанат технічний ТУ 2455-055-58901825-2008	%	2,4
Фенолосліот А ТУ 6-05-1164-75	%	1,6
<b>Формувальна суміш</b>		
Пісок кварцовий 1КО6 ДСТУ Б В.2.7-131:2007	%	3,5
Оборотна суміш	%	95
Формівна глина	%	0,5
Молоте вугілля	%	0,5
КО	%	0,5
<b>Властивості формувальної суміші</b>		
Газопроникність у вологому стані	см/хв	50
Вологість	%	3,4...4,0
Міцність на стиснення у вологому стані	кПа	45...55

## 5.2 Формовка

У масовому виробництві виливків застосовують автоматичні формувальні лінії опочного формування. Ці установки мають продуктивність від 15 до 240 форм на годину і повністю механізують ручну працю. Готові форми (блоки) встановлюються у вертикальні стопки або видаються з формувального автомата у вигляді безперервної горизонтальній стопки.

Комплексна автоматична ливарна лінія типу ІЛ 225 та її модифікації призначені для виготовлення виливків із чавуну і сталі в сирих одноразових піщано-глинистих формах в умовах багатосерійного і масового виробництв.

Форми виготовляють методом верхнього пресування при нижньому розташуванні модельного комплекту на пневмомеханічних формувальних автоматах, які є базовим формоутворювальним агрегатом для ліній цього типу.

Рівномірність ущільнення суміші у формі забезпечується використанням диференціальної багатоплунжерної головки і додатковою вібрацією.

Для виготовлення верхніх і нижніх напівформ використовують пневмопоршневі пресові автомати типу В-440М (АЛЛВ 725) з важелями Ейлера для збільшення зусилля пресування. Формувальна суміш в опоках ущільнюється методом чистого пресування під високим тиском (до 4 МПа). Моделі виливків і елементів ЛПС не повинні мати глибоких і вузьких кишень і високих болванів. Найбільша висота опок повинна бути 250...300 мм. Унаслідок витягування моделей як із нижньої, так і з верхньої напівформи вони розташовуються в межах формувального автомата ладом (тобто відбитком моделей) донизу, тому після виходу з відповідного автомата їх потрібно перекантовувати ладом догори [15].

### 5.3 Збирання форм

З формувального автомата нижня напівформа виштовхується короткою стороною вперед черговою опокою, що йде позаду, і надходить у барабанний кантувач. У результаті кантування нижня напівформа розташовується на роликовому конвеєрі відбитком моделей догори і проходить над фрезою (у вигляді валика), що обертається, яка зрізає надлишок суміші з контрладу напівформи. Далі ця напівформа потрапляє на приводний рольганг, де проводиться простановка стрижнів. Наприкінці рольганга розташовується штовхач, який зсуває її до механізму складання форм.

Верхня напівформа з формувального автомата проштовхується в перший кантувач і перевертається на  $180^\circ$  відбитком догори. Це дає можливість проконтролювати якість напівформи, а потім за допомогою фрези зрізати надлишок суміші з контрладу верхньої напівформи. Далі верхня напівформа потрапляє до механізму, де вона піднімається на 400 мм і штовхачем подається до другого барабанного кантувача, звідки після повороту на  $180^\circ$  напівформа подається до механізму збирання форм.

Особливість агрегату для складання форм полягає в тому, що він не кантує верхню напівформу, а лише приймає її в положенні відбитком донизу й опускає на нижню напівформу. Нижня і верхня напівформи надходять у складальник форм одночасно і фіксуються в потрібному положенні. Напрямок руху нижньої напівформи перпендикулярний напрямку руху верхньої напівформи, тобто нижня напівформа рухається довгою стороною вперед, а верхня – короткою стороною. Верхня напівформа перед складанням зависає над нижньою на спеціальних напрямних, які опускають її на нижню. Точність складання форм забезпечується з'єднанням втулок у верхній напівформі з напрямним і центрувальним штирями в нижній напівформі. Після цього штовхач подає форми на рольганг секції заливки, на початку якого встановлений механізм підйому підпочних щитків, на які і зіштовхується форма.

#### **5.4 Заливка форм**

Розплавлений метал з міксера потрапляє у стопорний ківш ємністю 1 т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші [16].

Для заливки металу використовують ківш чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані від 150 до 200 мм. При заливці необхідно швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20 мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми.

Приводні заливальні рольганги двоярусні. По верхньому ярусу відповідно до технологічної послідовності роботи лінії рухаються форми, по нижньому (у зворотному напрямку) рухаються щитки після зіштовхування з них залитих форм. На верхньому рольгангу на двох позиціях проводиться заливка форм, кожна з яких

у процесі заливки зупиняється і навантажується зверху плитою, що приводиться в дію пневмоциліндром. Це запобігає підйому верхньої напівформи під час заливання у форму металу. Залиті форми, переміщаючись по верхньому рольгангу, охолоджуються. Верхній і нижній рольганги закриті зверху кожухом, з якого відсмоктується повітря. Наприкінці верхнього рольганга форма зіштовхується з підпочного щитка на неприводний рольганг, по якому переміщується, а потім зіштовхується у вибивну установку. Під модельні щитки, рухаючись далі верхнім рольгангом, потрапляють у механізм, який опускає їх до рівня роликів нижнього рольганга. Останній повертає щитки до механізму для встановлення на них форм перед заливанням.

## 5.5 Вибивка і обрубка

Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Вибивання форми проводиться методом прошивання. Форма заочується по бортових роликах під плиту механізму вибивання. Поршень пневматичного циліндра цього механізму опускається, і спеціальна плита, укріплена на його штоку, видавлює вміст кожної пари опок на розташовану знизу вибивну решітку. Видавлювання вмісту відбувається під час руху плити зверху вниз, оскільки нижня опока не має хрестовин. Для очищення стінок опок по периметру видавлювальної плити закріплені горизонтальні гумові смуги. При зворотному ході плити зі смугами опоки притискаються до упорів, які запобігають підйому опок.

Вибиті опоки в зборі надходять у розпарювальник, зроблений у вигляді каркаса паралелепіпедної форми, з двома механізмами: внизу з механізмом підйому опок у зборі (підйомний механізм), угорі з механізмом зіштовхування верхньої опоки за межі розпарювальника (механізм, що зіштовхує).

Вмістом зібраної пари потрапляє на вибивну решітку. Коливання решітки передається суміші і відливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і провалюється в отвори решітки, та поступає на подальшу переробку. Виливки

ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони охолоджуються, подаються в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система.

Потім ви виливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони очищуються від пригару. Після цієї операції виливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах [14].

Далі вони поступають на ділянку контролю - проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

## **6 Опис процесу проектування ливарного оснащення**

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і виливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуну марки СЧ 20 ДСТУ 8833:2019 [3]. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку виливка – 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтується на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри кому. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною від 2 до 5 мм [17].

Модельні плити виготовляються із чавуну. Товщина плит складає 50 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон,

встановлюються напівмоделі і просвердлюють отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори всвердляться одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюють отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей устанавлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верху – моделі шлаковловлювачів. Підмоделні плити повинні мати елементи спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони – центруючий, з іншої – направляючий штирі. На другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Моделні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержньового ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [17]. Для стержньових ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [17] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержньового ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержньовий ящик відливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венти. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \div 0,9, \quad (6.1)$$

де  $F_{\text{вент}}$  – сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$  – сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \times 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа однієї вентри при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм<sup>2</sup>. Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільові прорізи.

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

- 1 В бакалаврській роботі розроблена технологія виготовлення відливка «Шків».
- 2 Виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на виливок.
- 3 Розроблено технологічний процес виготовлення виливка.
- 4 Розраховано і сконструйовано ливниково-живильну систему.
- 5 Описано технологічні процеси виготовлення виливка, проектування ливарної оснастки, контролю якості виливків.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 Гнатуш В. А. Тренди ливарного ринку України в першій чверті ХХІ століття / В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко, С. І. Клименко // Спеціальні методи лиття – Київ: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України 2023. No 2 (333) – С. 83 - 90.
- 2 Школяренко В. П. Перспективи розвитку ливарного виробництва із застосуванням штучного інтелекту / В. П. Школяренко // Литво. Металургія. 2023 [Електронний ресурс]: матеріали 19-ї, 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 10-12 жовтня 2023 р. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]; заг. ред. О. І. Пономаренко. – Електрон. текст. дані. – Харків; Київ, 2023. – С. 245 - 249.
- 3 ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. – Введ. 2020–01–01. – К.: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. – 10 с.
- 4 ДСТУ 8981:2020. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. – Введ. 2021–01–05. – К.: Технічний комітет стандартизації «Ливарне виробництво» (ТК 177), 2020. – 7 с.
- 5 Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко [та ін.]. - Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
- 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.2. – 380 с.
- 7 Джур, Є.О. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина Текст: навч. посіб. /Є.О. Джур, О.В. Бондаренко. – Д.: “Інновація”, 2011. – 109 с.
- 8 Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.
- 9 Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
- 10 Технологія ливарного виробництва [Текст]: навч. посібник для студ. вищих навч. закл., які навчаються за напрямком 0904 "Металургія" / Г. Г. Корицький [і інші]. - Донецьк: ДонНТУ, 2008. - 176 с.

- 11 Наказ від 28.12.2022 № 285 Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC. - К.: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2022. – 15 с.
- 12 Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник. / [Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В. та ін.] – Вінниця: ВНТУ, 2009. –199 с.
- 13 Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко ; Донбас. держ. машинобуд. акад., Каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва. - Краматорськ : ДДМА, 2017. - 112 с
- 14 В. П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
- 15 Дьомін Д.О. Виробничо-технологічна комплектація ливарних цехів. Довідниковий посібник.– Технологічний Центр. – Х.: Видавництво «Харків», 2012. – 315 с.
- 16 Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М.. Теоретичні основи ливарного виробництва. – Харків.: НТУ «ХП», 2011. – 288 с.
- 17 Лабораторний практикум з дисципліни "Технологія процесів ливарного виробництва" [Текст]: навч. посіб. / С. А. Стороженко, А. П. Єременко; Дніпров. держ. техн. ун-т (ДДТУ). - Кам'янське : ДДТУ, 2019. - 105 с.

# ДОДАТКИ