

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛІВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму вилівка «Корпус» з удосконаленням системи комп'ютерного проектування ливникових систем»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го

курсу групи ПМ-24М-1

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

\_\_\_\_\_ Віталій ЧУДІН

Керівник роботи к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Кропивницький – 2025

**Центральноукраїнський національний технічний університет**  
Факультет Механіко-технологічний  
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 131 Прикладна механіка  
Освітньо-професійна програма «Прикладна механіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА  
ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

\_\_\_\_\_ Чудін Віталій Володимирович

1. Тема роботи: «Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус» з удосконаленням системи комп'ютерного проектування ливникових систем»
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 15.12.2025 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка процесу виготовлення виливків з сірого чавуну та удосконалення ливникової системи на основі комп'ютерного проектування ливникових систем. Виконати огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із сірого чавуну. Розробити технологію лиття в піщано-глинисту форму. Розробити алгоритм та систему автоматизованого розрахунку ливниково-живильної системи для виливків корпусної групи.
5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок; 2) модельний комплект низу; 3) модельний комплект верху; 4) стержневий ящик; 5) ливарна форма в зборі.

## 6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Оглядовий	Конончук С.В.		
Технологічний	Конончук С.В.		
Науковий	Конончук С.В.		

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	30.09.2025	
2	Розрахунки по технологічній частині	10.10.2025	
3	Креслення по технологічній частині	20.10.2025	
4	Розрахунки і дослідження по науковій частині	30.10.2025	
5	Плакати по науковій частині	10.11.2025	
6	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2025	
7	Перевірка на анти плагіат	30.11.2025	
8	Оформлення рецензії	10.12.2025	
9	Захист дипломного проекту	20.12.2025	

Дата видачі завдання

«\_\_\_»\_\_\_\_\_2025 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_»\_\_\_\_\_2025 р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Чудін В.В.

## Анотація

ЧУДІН Віталій. Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус» з удосконаленням системи комп'ютерного проектування ливникових систем. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. – 72 с.

Вибрано ливарне обладнання та описано роботу ливарного цеху. Розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус». Розроблено систему комп'ютерного проектування ливникових систем.

Актуальність роботи полягає у розробці технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус» з використанням сучасного ливарного обладнання. Розроблена система автоматизованого проектування дозволила встановити взаємозв'язок між площею перерізу живильника та початковими вихідними параметрами, що дає змогу оптимізувати конструкцію ЛЖС та підвищити ефективність процесу лиття.

Ключові слова: плавильна піч, формувальна лінія, ливникова система, живильник, шлаковловлювач, витрата металу, розрахунок.

## Summary

CHUDIN Vitaliy. Development of technology for casting the “Korpus” casting in a sand-clay mold with improvement of the computer-aided design system for casting systems. Qualification work for the second (master's) level of higher education: CUNTU, 2025. – 72 p.

Foundry equipment is selected and the work of the foundry is described. The technology of casting in a sand-clay mold of the “Korpus” casting is developed. A computer design system of sprue systems is developed.

The relevance of the work lies in the development of the technology of casting in a sand-clay mold of the “Korpus” casting using modern foundry equipment. The developed automated design system allowed to establish the relationship between the cross-sectional area of the feeder and the initial output parameters, which makes it possible to optimize the design of the casting systems and increase the efficiency of the casting process.

Keywords: melting furnace, forming line, casting system, feeder, slag trap, metal consumption, calculation.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	8
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	10
1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху	10
1.2. Плавильне відділення	11
1.3. Формувально заливно вибивне відділення	19
1.4. Стержневе відділення	22
1.5. Сумішоприготувальне відділення	26
1.6. Очисне відділення	29
1.7. Допоміжні відділення	32
1.8. Висновки по розділу	34
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ ВИЛИВКА «КОРПУС»	35
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на вилівок	35
2.2. Вибір площини роз'єму	36
2.3. Припуски на усадку	38
2.4. Розробка креслення модельно-ливарних вказівок	39
2.5. Основні положення при конструюванні ливниково-живильної системи	40
2.6. Розрахунок ливникової системи	41
2.7. Технологічний процес виготовлення вилівка	45
2.8. Опис процесу проектування ливарної оснастки	45
2.9. Висновки по розділу	47
3. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВНИКОВИХ СИСТЕМ	48
3.1. Загальні відомості про ливниково-живильні системи	48

3.2. Особливості розрахунку ливниково-живильної системи випливів із сірого чавуну	49
3.3. Розробка алгоритму розрахунку ливниково- живильної системи випливів на комп'ютері	60
3.5. Висновки по розділу	65
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	99
ДОДАТКИ	72

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Ливарне виробництво є основою заготовчої бази сучасної промисловості. Жодна галузь хімічної промисловості, енергетики, приладо-, літако-, корабле- чи машинобудування не може обійтися без заготовок, отриманих методом лиття. Частка литих деталей у загальній масі машин і механізмів становить близько 50 %, а у верстатобудуванні цей показник може досягати 90 %.

Багато конструктивно складних деталей неможливо виготовити іншими методами або їх отримання альтернативними способами є економічно недоцільним. Литі заготовки часто мають кращі механічні властивості, ніж деталі після суцільної механічної обробки, а коефіцієнт використання металу при цьому становить 80–95 %, що робить процес особливо економічним.

Найпоширенішим способом виготовлення виливків є лиття у разові піщано-глинисті форми. Ця технологія відзначається невисокою енергоємністю, помірною трудо- та матеріалоємністю, економічністю, а також можливістю механізації та автоматизації виробництва.

Головною метою ливарного виробництва є отримання виливків заданої якості, конфігурації та механічних властивостей при мінімальних припусках на механічну обробку. Важливу роль у цьому відіграє ливниково-живильна система, яка має бути якомога компактнішою, але при цьому забезпечувати плавне та рівномірне заповнення форми металом без завихрень, розмивання формувальної суміші, захоплення газів і шлакових включень. Видалення таких небажаних домішок під час заливки забезпечується шлаковловлювачами.

Раціонально спроектовані розміри ливникової системи дають змогу отримати якісні виливки при мінімальних витратах металу. Саме тому дослідження, спрямовані на удосконалення комп'ютерних методів проектування ливниково-живильних систем, залишаються надзвичайно актуальними.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної роботи є розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус» з удосконаленням системи комп'ютерного проектування ливникових систем.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного цеху;
- розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус»;
- розробка системи автоматизованого проектування ливниково-живильної системи для виливків корпусної групи;

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес лиття в піщано-глинисту форму.

*Предмет дослідження* – підвищення якості литва на основі удосконалення комп'ютерних методів проектування ливниково-живильних систем для корпусних виливків.

*Практичне значення* – розроблено систему проектування ливникових систем, яка дозволяє визначити площі перерізу елементів ЛЖС та їх розмірів на основі введених чи вибраних початкових даних щодо сплаву, його густини, середньої товщини виливка, його маси, місця підведення розплаву, даних щодо властивостей форми (газотворність, газопроникність), стержня, величини опору руху розплаву під час заповнення форми, тощо.

*Особистий внесок* – розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус», запропоновано методику комп'ютерного розрахунку ливниково-живильних систем.

## **1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ**

### **1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.**

Розміщення ливарного цеху здійснюється з урахуванням необхідності максимального віддалення від житлової забудови та забезпечення доступу до основних інженерно-технічних ресурсів, таких як електроенергія, природний газ, технічна й питна вода, паливно-сировинні матеріали та трудові ресурси. Одним із ключових критеріїв вибору є наявність розвинутої транспортної інфраструктури.

Беручи до уваги проходження магістральних ліній Одеської залізниці, що забезпечують взаємозв'язок міста Кропивницького з іншими промисловими центрами України, зокрема з Донбаським вугільним басейном та Криворізьким металургійним комбінатом, а також наявність автомобільних транспортних коридорів і селищ, здатних забезпечити підприємство кваліфікованою робочою силою, доцільним є розміщення ливарного цеху на периферійній частині міста. Обране місце повинно відповідати вимогам екологічної безпеки, зокрема враховувати переважаючі напрями вітру: у зимовий період — південно-східний, у літній — північно-західний.

Постачання формувальних та стержневих матеріалів планується здійснювати залізничним транспортом із Дніпровського кар'єру. Забезпечення технічною водою можливе за рахунок водоочисних споруд, розташованих у безпосередній близькості до ділянки будівництва. Питне водопостачання передбачається від артезіанської свердловини глибиною 260 м. Система електропостачання цеху функціонуватиме від енергомережі через підстанцію 186.135/6 кВ/ГПП та цехові трансформаторні підстанції, при робочій напрузі 380/220 В. Розподіл електроенергії в межах цеху виконано за комбінованою — радіальною та магістральною — схемами.

Потреби цеху у стисненому повітрі забезпечуються компресорною станцією, обладнаною автоматизованими компресорними агрегатами. Як

теплоносії для систем опалення та вентиляції використовується високотемпературна вода, що надходить із котельного господарства. Теплопостачання виробничих приміщень здійснюється переважно за рахунок подачі підігрітого повітря припливною вентиляцією. Ворота цеху обладнані повітряними тепловими завісами, а технологічне обладнання, що є джерелом шкідливих викидів, оснащено локальними уловлювачами та фільтраційними системами.

Функціональне призначення ливарного цеху полягає у виготовленні чавунних виливків методом лиття у піщано-глинисті форми. Річний обсяг випуску виливків визначає виробничу програму цеху, до якої входить продукція основного виробництва, запасні частини, литво для запуску нових виробів, продукція для внутрішніх потреб підприємства та власних потреб цеху.

Режим роботи цеху визначається розподілом технологічних операцій у просторі й часі відповідно до вимог виробничої програми. На його формування впливають масштаб виробництва, максимальна маса виливків, серійність, тип застосовуваного металу, конструктивні та технологічні особливості плавильного устаткування. З урахуванням зазначених факторів обрано паралельний режим функціонування цеху у дві зміни, який є найбільш раціональним для даних виробничих умов. Такий режим забезпечує одночасне виконання всіх технологічних операцій на відповідних ділянках виробництва [4].

## **1.2. Плавильне відділення.**

### **1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється.**

Згідно з завданням на випуск кваліфікаційну роботу розглянемо сірий чавун марки СЧ-200 ДСТУ 8833:2019. Сірий чавун є одним із найпоширеніших матеріалів у ливарному виробництві завдяки сприятливому поєднанню технологічних, експлуатаційних та економічних властивостей. Він являє собою сплав заліза з вуглецем у кількості 2,5–4,0 % та кремнієм у

межах 1,0–3,0 %, у якому вуглець переважно знаходиться у вигляді пластинчастого графіту. Саме така форма графітових включень надає зламу характерного сірого кольору, що й визначає назву матеріалу. Хімічні та механічні властивості даного сплаву приведені в табл. 1.1 – 1.2.

Таблиця 1.1

## Хімічний склад сплаву СЧ 200 ДСТУ 8833:2019

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
СЧ 200	3,3 – 3,5	1,4 – 2,2	0,7 – 1,0	< 0,15	< 0,2

Таблиця 1.2

## Механічні властивості сплаву СЧ 200 ДСТУ 8833:2019

Марка сплаву	Міцність на розтяг, МПа	Відносне видовження, %	Твердість НВ·10 <sup>-1</sup> , МПа
СЧ 200	200	–	1700...2410

Однією з головних переваг сірого чавуну є його висока ливарна технологічність. Він характеризується низькою температурою плавлення, доброю рідкоплинністю та відносно малою усадкою, завдяки чому забезпечується можливість отримання складних виливків із тонкими стінками без значного ризику виникнення тріщин або внутрішніх дефектів. Чавун добре заповнює форму навіть за мінімально необхідних температур заливання, а його поведінка під час формування виливків є стабільною та передбачуваною, що робить цей матеріал особливо зручним для масового та серійного виробництва.

Сірий чавун також відзначається економічністю, оскільки не потребує дорогих шихтових матеріалів, має високий коефіцієнт використання металу та може плавитись у порівняно простому обладнанні, зокрема в купольних або індукційних тигельних печах. Завдяки низькій собівартості він широко застосовується у виробництві корпусних деталей та інших конструкційних елементів.

Механічні властивості сірого чавуну зумовлені наявністю пластинчастого графіту, який знижує міцність на розтяг, але водночас надає матеріалу цінних експлуатаційних характеристик. Чавун має високу демпфувальну здатність, добре поглинає вібрації, відрізняється підвищеною зносостійкістю, оскільки графіт виконує роль природного твердого мастила, а також легко піддається механічній обробці завдяки полегшеному стружкоутворенню. Крім того, він характеризується високою теплостійкістю і доброю теплопровідністю. Міцнісні показники залежать від марки матеріалу та структурного стану й зазвичай знаходяться в межах 150–350 МПа.

Структура сірого чавуну представлена перлітною або ферито-перлітною матрицею, у якій рівномірно розподілені пластинчасті графітові включення. Маркування здійснюється відповідно до межі міцності, наприклад СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, де зростання числового індексу свідчить про підвищення міцності сплаву. Правильний вибір марки є важливим для забезпечення необхідних властивостей майбутнього виробу.

Сірий чавун широко застосовується у виробках, де потрібні стабільність форми, здатність до демпфування та зносостійкість, а також відсутні інтенсивні ударні навантаження. Його використовують у корпусах верстатів та станин, блоках циліндрів двигунів внутрішнього згорання, елементах насосів і компресорів, маховиках, шківках, кожухах, радіаторах, трубах, каналізаційних люках та в багатьох інших деталях обладнання.

Для отримання якісних виливків необхідно контролювати хімічний склад чавуну, швидкість охолодження, параметри модифікування, умови заливки та характеристики формувальних сумішей. Зокрема, підвищений вміст кремнію сприяє графітизації, а надмірно швидке охолодження може призвести до утворення цементиту, що є небажаним у більшості випадків. Оптимальне керування технологічними параметрами дозволяє забезпечити потрібну структуру та властивості виливків.

Таким чином, сірий чавун залишається одним із ключових матеріалів у ливарному виробництві завдяки поєднанню високої технологічності, надійних експлуатаційних властивостей та економічної ефективності. Його здатність

забезпечувати виготовлення складних, точних та відносно недорогих виливків робить цей матеріал незамінним у багатьох галузях машинобудування та промисловості.

### 1.2.2. Розрахунок балансу метала.

Загальна маса металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків:

$$M = \frac{100(\Pi + Л + Б)}{100 - C - У}, \quad (1.1)$$

де  $\Pi$ ,  $Л$ ,  $Б$  – відповідно придатне литво, ливники, брак, т;

$C$  – зливи та сплески, прийняті по виробничим даним, %;

$У$  – угар і безповоротні втрати, прийняті по виробничим даним, %.

Для сплаву СЧ200:

$$M = \frac{100 \cdot (1 + 0,525 + 0,05)}{100 - 6 - 3} = 1,731 \text{ т.}$$

Тобто, щоб отримати 1 т придатних виливків необхідно 1,731 т металозавалки.

Відносний вміст придатного литва, ливників, браку від металозавалки визначаємо за формулами:

$$n = \frac{\Pi}{M} \cdot 100 \%, \quad (1.2)$$

$$л = \frac{Л}{M} \cdot 100 \%, \quad (1.3)$$

$$б = \frac{Б}{M} \%, \quad (1.4)$$

де  $n$  – вага придатного литва, т;  $л$  – вага ливників, т;  $б$  – вага браку, т.

$$n = \frac{1}{1,731} \cdot 100 = 57,78\%;$$

$$л = \frac{0,525}{1,731} \cdot 100 = 30,33\%;$$

$$b = \frac{0,05}{1,731} \cdot 100 = 2,89\%$$

Масова доля угару і безповоротних втрат, зливів та сплесків визначаємо за формулами, т:

$$Y = \frac{y}{100} \cdot M, \quad (1.5)$$

$$C = \frac{c}{100} \cdot M, \quad (1.6)$$

де  $y$  – угар, %;  $c$  – зливи та сплески, %.

Для сплаву сталь СЧ200:

$$Y = \frac{6}{100} \cdot 1,731 = 0,104 \text{ т}$$

$$C = \frac{3}{100} \cdot 1,731 = 0,052 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу, т:

$$Q_{pm} = M - Y, \quad (1.7)$$

для сплаву СЧ200:

$$Q_{pm} = 1,731 - 0,104 = 1,627 \text{ т}$$

Розрахунки балансу метала заносимо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3

Баланс метала сплаву СЧ200

Компонент	Вміст	
	%	т
Придатне литво	57,78	1
Ливники	30,33	0,525
Брак	2,89	0,05
Угар, безповоротні втрати	6	0,104
Зливи і сплески	3	0,052
Всього	100	1,731

**1.2.3. Вибір плавильних агрегатів.** Для плавлення чавуну, призначеного для отримання фасонних виливків, у ливарному виробництві застосовуються дугові плавильні електропечі, оснащені високоефективними системами очищення відхідних газів [4]. Чавун марки СЧ200 належить до конструкційних чавунів звичайних марок, тому з економічної точки зору доцільним є використання футерівки кислого типу. Шихтові матеріали, що застосовуються за таких умов, мають відповідати встановленим технічним вимогам щодо вмісту сірки та фосфору, оскільки процеси десульфурації та дефосфорації в печах із кислою футерівкою не здійснюються.

Процес плавлення, перегріву металу та коригування його хімічного складу виконується у дуговій електропечі. Об'єм печі визначається на основі розрахункових показників програми цеху та має відповідати 2–3-годинній потребі у рідкому металі. З огляду на це обирається дугова електропеч ємністю 10 тонн типу ДСП-10. Її загальний вигляд наведено на рисунку 1.1, а технічні характеристики подано в таблиці 1.4.

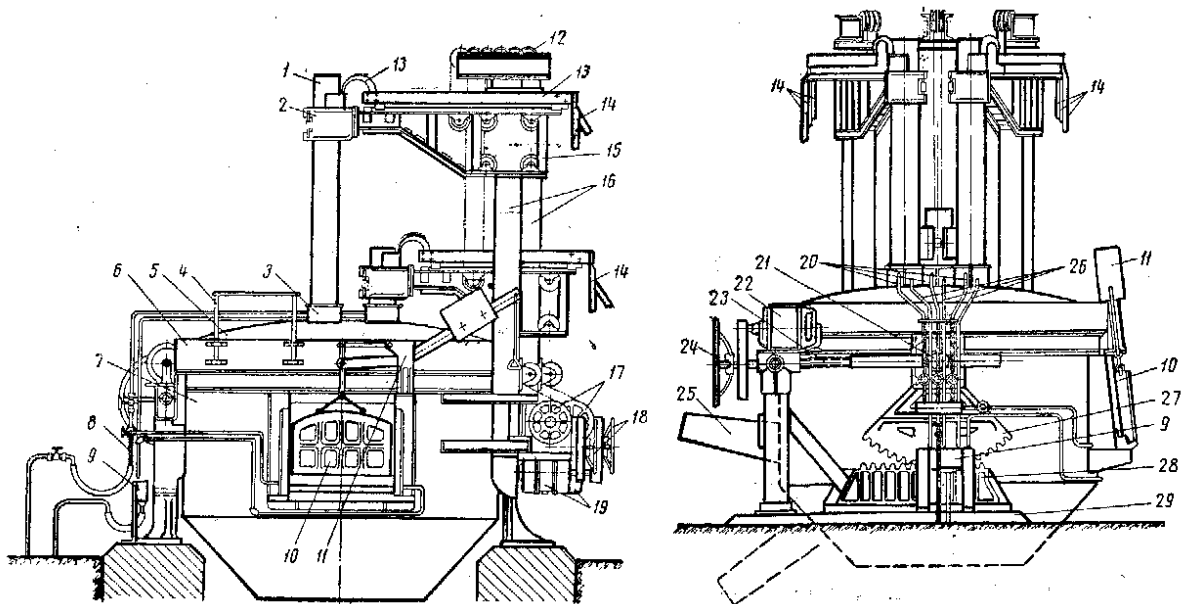


Рисунок 1.1 – Дугова електросталеплавильна піч з номінальною ємністю 10 т

Представлена на рис. 1.1 піч має наступну будову: 1 – електрод; 2 – електродотримач; 3 – охолоджувач електрода (економайзер); 4 – місток для обслуговування електродів зводу; 5 – звід печі; 6 – зводове кільце; 7 – корпус печі; 8 – трубопровід подачі холодної води; 9 – зливальний бак для води, що іде з охолоджуваних пристроїв; 10 – завантажувальне вікно; 11 – пристрій підйому

завантажувальних дверей; 12 – блоки підвіски електродотримачів; 13 – струмопідвідні шини до електродотримачів; 14 – кабелі електричного струму; 15 – каретка електродотримача; 16 – стійки кареток електродотримачів; 17 – механізм підйому кареток електродів; 18 – штурвали ручного підйому електродів; 19 – електродвигуни підйому електродів; 20 – трубки подачі холодної води економайзерів; 21 – гайка механізму нахилу печі; 22 – електро двигун нахилу печі; 23 – гвинт механізму нахилу печі; 24 – штурвал ручного нахилу печі; 25 – жолоб випускного отвору; 26 – зливальні трубки; 27 – зубчастий сегмент; 28 – опора з зубчастою рейкою; 29 – фундамент.

Таблиця 1.4

## Технічна характеристика дугової електропечі ДСП – 10

Параметр	Показник
Номінальна потужність трансформатора, кВт	8000
Ємність печі, т	10,0
Тривалість плавки (повний цикл), год	2,1
Продуктивність, т/год	4,76
Маса металоконструкцій печі, т	80

**1.2.4. Розрахунок шихти.** Розрахунок шихти методом підбору виконано згідно рекомендацій [7].

Баланс металу на 1т придатних виливків зводимо до таблиці 1.5.

**1.2.5. Устрій і робота плавильного відділення.** Плавильне відділення розміщується з торцевої частини ливарного цеху. Шихтові матеріали, що надходять на склад залізничним транспортом, розвантажуються на спеціальному майданчику, розташованому вздовж колії. Металева шихта, доставлена у відкритих вагонах, розвантажуються мостовим краном, оснащеним магнітною шайбою. Подальше зберігання шихти здійснюється в закромах, заглиблених відносно рівня підлоги складу на чотири метри. Транспортування металевої шихти від місця розвантаження до зони її зберігання, а також подача до плавильних печей виконуються за допомогою мостового магнітного крана. Флюси переміщуються та завантажуються в спеціальні ємності мостовим грейферним краном.

Таблиця 1.5 - Баланс металу СЧ200 на 1т придатних виливків

Компоненти	%	т
Придатна частина		
Чавун ливарний	43,22	0,748
Лом сталевий	4,99	0,086
Лом чавунний	11,37	0,197
Феросиліцій	3,6	0,062
Феромарганець	0,6	0,010
Відходи власного виробництва	36,22	0,627
Всього по придатній частині	100,00	1,731
Витратна частина		
Ливники	30,33	0,525
Брак	2,89	0,050
Зливи і сплески	3	0,052
Всього відходів	36,22	0,627
Угар і безповоротні втрати	6	0,104
Придатне литво	57,78	1,000
Всього по витратній частині	100,00	1,731

Безпосередньо біля плавильних печей розміщені бункери для шихтових матеріалів і флюсів. Металева шихта з бункерів подається у вагові дозатори, оскільки печі обладнані системою автоматизованого зважування шихти. Завантаження плавильних агрегатів металозавалкою здійснюється мостовим краном вантажопідйомністю 20 тонн, обладнаним магнітною шайбою. Для транспортування рідкого металу від печей до заливальної дільниці, а також для загального обслуговування плавильного відділення використовується аналогічний мостовий кран вантажопідйомністю 20 тонн.

Футерування плавильних печей виконується із застосуванням вогнетривкої цегли на відповідному розчині. Шамотна футерівка містить 25–30

% вогнетривкої глини та 70–75 % молотого шамоту або кварцового піску. Подина печі формується шляхом набивання формувальною сумішшю. Після проведення ремонтних робіт футерівка піддається обов'язковому сушінню для забезпечення її міцності та термостійкості.

**1.2.6. Вибір ковшів.** Для транспортування рідкого металу від плавильних агрегатів до дільниці заливки форм використовуються кранові барабанні ковші ємністю 1000 кг згідно рекомендацій [4]. Приймаємо 8 ковшів з урахуванням запасних і тих, що знаходяться в ремонті. Дані про вибрані ковші приведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

## Ковшове господарство цеху

Тип ковша	Місткість, кг	Кількість
Крановий барабанний ківш	1000	8

**1.3. Формувально заливно вибивне відділення**

У технологічному процесі виготовлення виливків у ливарному виробництві важливу роль відіграють автоматизовані формувальні комплекси, які забезпечують необхідну продуктивність, стабільність параметрів форм і високу якість готових виливків. У даному проекті застосовується автоматична формувальна лінія моделі ІЛ-225 [9], технічні характеристики якої наведено в таблиці 1.7. Даний тип обладнання є одним із найпоширеніших у практиці машинобудівних та металургійних підприємств завдяки надійності, простоті обслуговування та широким технологічним можливостям.

На рисунку 1.6 показано комплексну автоматичну лінію формування та вибивання, створену на базі прохідних однопозиційних пневматичних важільних пресових автоматів моделі ІЛ-225. Лінія виробляється Івано-Франківським заводом «Авто-литмаш» та має 19 модифікацій, що дозволяє адаптувати її до різних умов експлуатації та типів виробництва. Оборуднання призначене для виготовлення виливків із чавуну та сталі у разових формувальних сумішах, що

забезпечує універсальність і можливість роботи з широким асортиментом литих деталей.

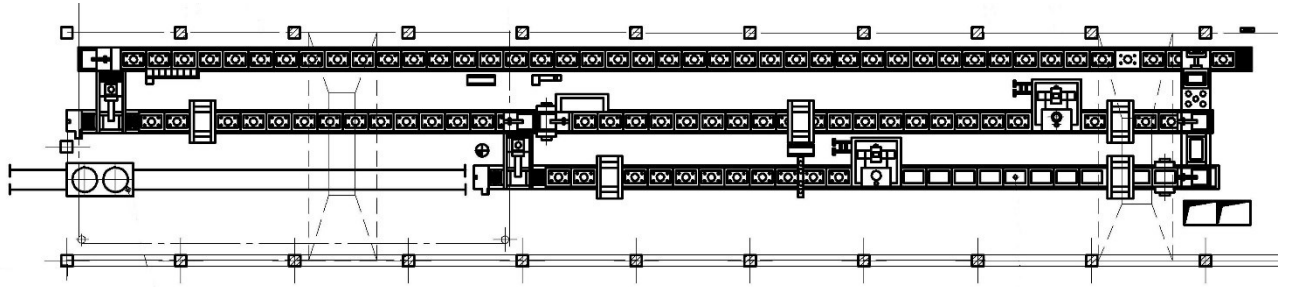


Рисунок 1.6 - Комплексна автоматична лінія моделі ІЛ 225

Таблиця 1.7

Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІЛ 225

Назва характеристики	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/, мм	900 × 600 × 125-250
Продуктивність, форм/год	240
Маса виливки, кг	60
Кількість опок	100
Виграти повітря, м /год	110
Потужність, кВт	115
Маса, кг	220000
Габаритні розміри, мм	65200 × 9300 × 6855

Структурно формувальна лінія (рис. 1.6) складається з таких основних вузлів і механізмів:

- формівні пресові автомати 1 і 2, які забезпечують виготовлення нижніх і верхніх півформ відповідно;
- механізм свердління вентиляційних каналів 3, призначений для формування системи газовідведення у формі;
- кантувач нижніх півформ 4, що здійснює поворот півформи для подальших операцій;

- пристрій для зрізання надлишкової формувальної суміші 5, який забезпечує точність геометричних параметрів півформи;
- кантувач верхніх півформ 6 із можливістю кругового повороту на 360°, що підвищує гнучкість технологічного процесу;
- складальник форм 7, який здійснює з'єднання верхньої та нижньої півформи в єдину формувальну систему;
- укладач форм на підпочні плити 8 та механізм їх піднімання 9, що забезпечують правильне позиціонування форми на транспортній системі;
- механізм скріплення форм роликами 10, який гарантує герметичність і жорсткість складеної форми;
- роликовий приводний конвеєр 11, що виконує роль транспортної та частково накопичувальної системи;
- механізм опускання підпочних плит 12 і видавлювач форм 13, які переміщують форму до вибивної ділянки;
- інерційна вибивна решітка 14, призначена для звільнення виливків від формувальної суміші після заливання;
- штовхачі 15, які переміщують опоки та форми по конвеєру;
- розпаровник порожніх опок 16 та кантувач 17, що забезпечують підготовку опок до повторного використання;
- механізм очищення опок 18, який видаляє залишки суміші та забезпечує придатність опок для наступного циклу формування.

Процес виготовлення форм здійснюється методом верхнього пресування на пневматичних важільних формівних автоматах. Використання багатоплунжерної пресувальної головки дозволяє рівномірно передавати тиск на всю площу форми, що є критично важливим для однорідності ущільнення формувальної суміші. Додаткове вібраційне ущільнення під час пресування сприяє підвищенню міцності та стабільності структури формувальних блоків, що у свою чергу позитивно впливає на точність і якість литих виробів.

Роликові конвеєри, що з'єднують окремі агрегати лінії, виконують функцію не лише транспортних пристроїв, але й акумулюючих секцій. Їхня робоча швидкість у 4,5 раза перевищує мінімально необхідну для виконання

технологічних операцій. Завдяки цьому півформи та форми швидко передаються між агрегатами, що забезпечує синхронізовану роботу обладнання та виключає можливість виникнення простоїв на будь-якій ділянці лінії.

Конструктивно роликові конвеєри складаються з уніфікованих секцій довжиною 4,5 та 6 м. Електропривод кожного конвеєра включає електродвигун, черв'ячний редуктор і фрикційну муфту, що забезпечує захист приводу від аварійних навантажень. На валу встановлені фрикційні диски зі зірочками, які притискаються за допомогою тарілчастих пружин. Така конструкція мінімізує ризик механічних пошкоджень у разі перевантаження та підвищує довговічність елементів приводної системи.

Загалом, автоматична формувальна лінія ІЛ-225 забезпечує високий рівень механізації та автоматизації процесу формування, покращує умови праці персоналу, підвищує продуктивність і якість виливків, що робить її ефективним рішенням для сучасного ливарного виробництва.

#### **1.4. Стержневе відділення**

З огляду на номенклатуру стержнів, маса яких не перевищує 7 кг, для їх виготовлення у даному проєкті обґрунтовано обрано універсальний стержневий автомат моделі 4509А. Застосування цього обладнання є доцільним як з технологічної, так і з економічної точки зору, оскільки воно забезпечує стабільну якість стержнів та високу продуктивність процесу.

Виготовлення стержнів здійснюється у гарячих стержньових ящиках із використанням швидкотверднучих термореактивних сумішей. Така технологія забезпечує цілу низку переваг. По-перше, підвищується точність формоутворення, оскільки термореактивні суміші забезпечують мінімальні деформації у процесі тверднення. У свою чергу, висока точність стержнів забезпечує кращу відповідність геометричних параметрів виливків номінальним розмірам. Це дозволяє зменшити нормативні ливарні припуски, що безпосередньо сприяє скороченню витрат на подальшу механічну обробку деталей.

По-друге, застосування швидкотверднучих смолистих сумішей у гарячих ящиках суттєво спрощує виробничу інфраструктуру. Відпадає потреба у виготовленні каркасів для стержнів та у використанні громіздкого сушильного обладнання, яке займає значні виробничі площі та потребує додаткових енергетичних затрат. Таким чином, продуктивність у розрахунку на одиницю виробничої площі збільшується, а технологічний процес стає більш компактним та енергоефективним [8].

У таблиці 1.8 наведено основні технічні характеристики стержневого автомата моделі 4509А

Таблиця 1.8

## Технічна характеристика пікострільного автомата моделі 4509А

Назва характеристики	Величина
Найбільша маса стержня, кг	7
Продуктивність, зйомів/год.	70...94
Розміри стержневого ящика, мм	800×630×450
Тривалість циклу, с	95
Ємність робочого резервуара, л	25
Потужність електродвигуна, кВт	140
Габарити, мм	3600×2600×3000
Маса, кг	13000

Стержневий автомат мод. 4509А показано на рис. 1.7.

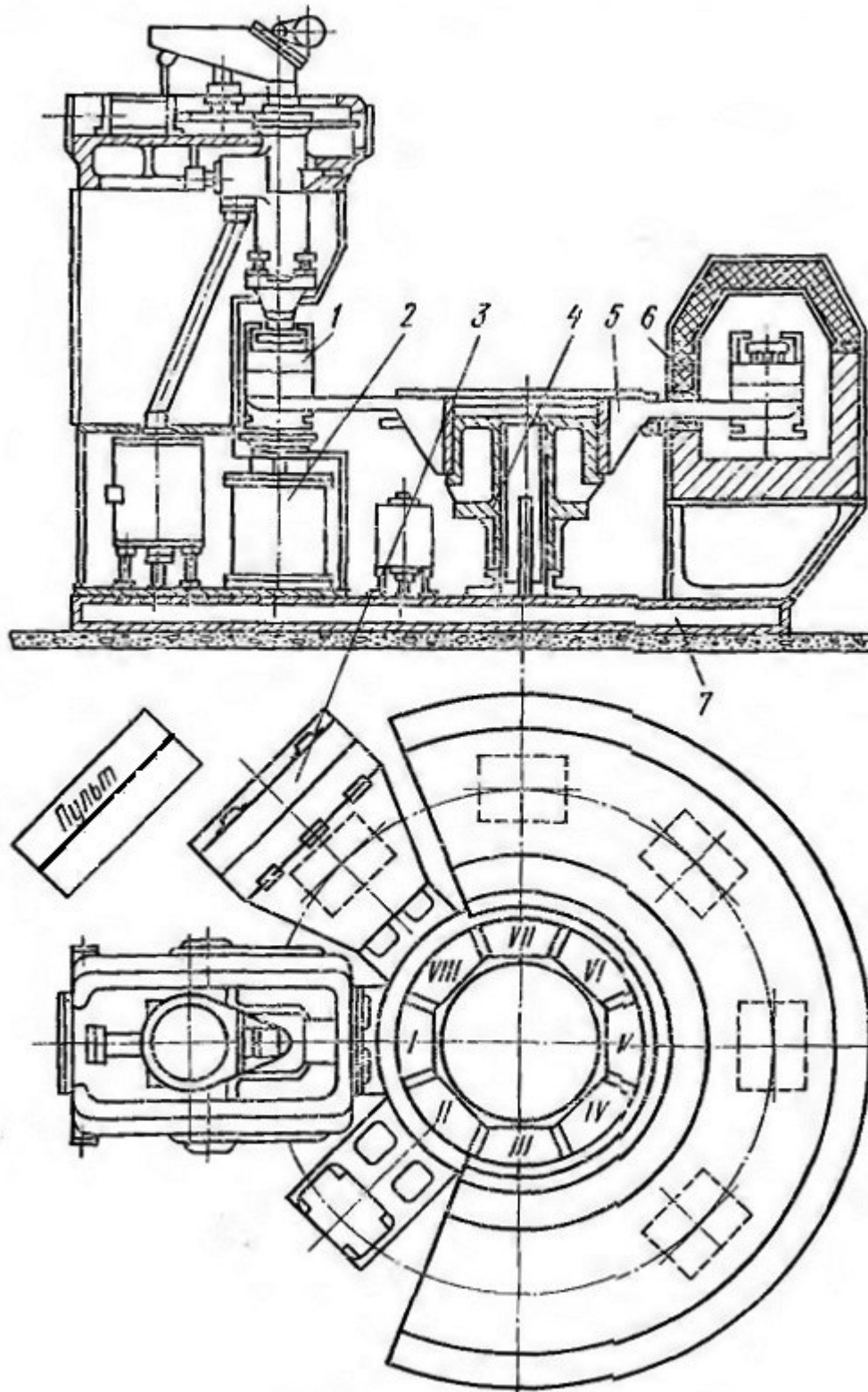


Рисунок 1.7 - Стержневий автомат мод. 4509А

**1.4.1. Устрій і робота стержневого відділення.** Стержневе відділення призначене для виготовлення стержнів, які застосовуються при формуванні внутрішніх порожнин виливків. Подача стержневої суміші до стержневих автоматів моделі 4509А здійснюється з сумішеприготувального відділення за

допомогою стрічкового конвеєра. Конвеєр транспортує суміш безпосередньо до розподільчих бункерів, розташованих над автоматами, що забезпечує безперервність процесу та стабільність подачі матеріалу. На території дільниці передбачено спеціальний майданчик для зберігання стелажів з готовими стержнями, що забезпечує зручність їх подальшого транспортування та монтажу у формі.

Технологічний процес виготовлення стержнів за методом гарячої оснастки (Hot-Vox) полягає в заповненні попередньо нагрітого стержневого ящика терморективною стержневою сумішшю. За температури 180–270 °С суміш полімеризується впродовж 15–60 секунд, що забезпечує швидке й рівномірне тверднення. Отримані стержні не потребують додаткового сушіння, оскільки їхня міцність після вилучення з ящика є достатньою для транспортування, зберігання та встановлення у формувальну порожнину. Головною перевагою технології гарячої оснастки є формування стержнів із високими механічними показниками, що мінімізує їх пошкодження під час виробничих операцій.

У роботі автомата передбачено кілька функціональних позицій, кожна з яких виконує певну технологічну операцію:

- Позиція 1. Стержневий ящик, нагрітий до температури 180–270 °С, притискається до піскометної головки. У цей момент відбувається заповнення порожнини ящика стержневою сумішшю, після чого запускається процес полімеризації.
- Позиція 2. Резервна (вільна) позиція, що використовується для переналагодження обладнання, заміни стержневих ящиків або змінювання технологічної оснастки.
- Позиції 3–4. На цих позиціях відбувається подальше тверднення стержнів у ящиках, розміщених у нагрівальних камерах. Підтримання необхідної температури забезпечує повну полімеризацію терморективної суміші.
- Позиція 8. Виконується розкриття стержневого ящика, видалення сформованого стержня та обдування внутрішньої поверхні ящика стисненим повітрям. Це очищує порожнину від залишків суміші та готує ящик до наступного циклу формування.

Для забезпечення стабільної якості стержнів автомат обладнаний рухомими форсунками, які виконують дві функції:

– при русі вперед форсунки обдувають робочу поверхню розкритого ящика стисненим повітрям, видаляючи залишки суміші;

– при русі назад наносять на робочу поверхню роздільний склад, що полегшує подальше вилучення стержня та запобігає прилипанню суміші до стінок ящика.

Таким чином, стержневе відділення, оснащене автоматами моделі 4509А, забезпечує високопродуктивне та якісне виготовлення стержнів, що є критично важливим для забезпечення точності литих виробів та ефективності ливарного виробництва.

### 1.5. Сумішоприготувальне відділення

Для виготовлення формувальної суміші вибираємо змішувач ливарний типу бігунів періодичної дії з вертикальними котками моделі 15104 [10]. Технічна характеристика бігунів наведена у табл. 1.9.

Склад формувальної суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (табл. 1.10).

Таблиця 1.9

Технічна характеристика змішувача моделі 15104

Назва характеристики	Величина
Об'єм замісу, т	2,0
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	40...60
Розміри чаші, м – висота × внутрішній діаметр	1130 × 2540 ± 13,5
Кількість котків, шт	2
Частота обертання вертикального вала, об/хв	29±3
Продуктивність витяжної вентиляції, м <sup>3</sup> /год	6000
Габаритні розміри, мм:	3850×3150×3250
Маса змішувача, кг	11000

Таблиця 1.10

Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Оборотна суміш, %	96
Пісок кварцевий КО2, КО16, %	3
Вугілля гранульоване, %	0,15
Бентоніт, %	0,15
Вода, %	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової, %	11
Вміст активного бентоніту, %	8
Втрати при прожарюванні %	3
Вологість, %	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність, одиниць	80
Плинність (по Орлову), одиниць	80

Для виготовлення стержневої суміші приймаємо змішувач ливарний типу бігунів моделі 15101, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Технічна характеристика бігунів моделі 15101

Назва характеристики	Величина
Місткість замісу, м <sup>3</sup>	0,3
Час перемішування, хв	15
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	1,5
Потужність, кВт	15
Габарити, мм	2000×1865×2895
Маса, кг	4000

Склад стержневої суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (табл. 1.12).

Таблиця 1.12 – Склад стержневої суміші і фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Значення параметра
Пісок кварцевий, %	95,24
Смола СФ, %	3,54
Каталізатори М1, %	0,7
Гас, %	0,52
Керосин освітлювальний, %	0,62
Газопроникність, одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,005 - 0,01
Вологість, %	1,8-2,8

### 1.5.1 Устрій і робота сумішопріготувального відділення.

Сумішопріготувальне відділення є одним із ключових структурних елементів ливарного цеху, оскільки саме тут відбувається підготовка формувальних і стержневих сумішей, що визначають якість майбутніх виливків. Відділення розташоване безпосередньо біля формувальної та стержневої дільниць, що мінімізує транспортні витрати та забезпечує оперативне забезпечення виробництва необхідними матеріалами.

Змішувачі сумішопріготувального відділення обладнані бункерами для зберігання сипучих і рідких компонентів. Подача матеріалів до змішувачів здійснюється за допомогою стрічкових конвеєрів, які забезпечують безперервність та рівномірність транспортування, що є важливим для стабільності процесу.

Відпрацьована формувальна суміш із вибивної решітки автоматичної формувальної лінії надходить на приймальний конвеєр. Тут до неї додається просип з формувальних машин, після чого суміш подається на барабанне решето для просіювання від крупних включень і злежаних грудок. Наступним етапом є електромагнітна сепарація, що дозволяє видалити металеві домішки. Очищена суміш охолоджується до температури 38–40 °С, зволожується до необхідних параметрів і лише після цього надходить до змішувача для приготування нової порції формувальної суміші з заданими властивостями.

Стержнева суміш має складніший рецептурний склад, оскільки повинна забезпечувати високу міцність, точність та термостійкість готових стержнів. Основними її компонентами є:

- сухий кварцовий пісок – базовий наповнювач, що становить основний об'єм суміші;
- термореактивне зв'язуюче – карбамідно-фуранові смоли, що утворюються в результаті сполучення карбамідної смоли з визначеною кількістю фурилового спирту;
- каталізатор – розчин органічних або мінеральних кислот і солей, який суттєво прискорює процес затвердіння при нагріванні;
- допоміжні добавки, які коригують фізико-механічні властивості суміші.  
Серед найпоширеніших добавок застосовуються:
- оксид заліза, який підвищує теплопровідність і покращує тепловідвід у стержні;
- графіт сріблястий, що виконує функцію вогнетривкого та змащувального наповнювача;
- стеарат кальцію, який зменшує припасність суміші та покращує її роздільні властивості;
- рідке скло, що додається для регулювання міцності та текучості.

Комплексна взаємодія компонентів забезпечує необхідні властивості стержневої суміші: достатню пластичність у момент заповнення форми, високу міцність після затвердіння та термічну стабільність у процесі заливання металу. Правильно організована робота сумішоприготувального відділення гарантує якість як стержнів, так і форм, а відтак безпосередньо визначає точність і надійність готових виливків.

### **1.6. Очисне відділення**

У структурі загальних трудових витрат на виготовлення виливків значну частку займають операції з їх очищення — до 40% від загального обсягу. Саме очисне відділення є одним із найбільш трудомістких підрозділів ливарного виробництва, оскільки тут зосереджена найбільша кількість ручних операцій, що

потребують високої кваліфікації персоналу, спеціальних засобів механізації та дотримання вимог безпеки праці.

До основних технологічних процесів, що виконуються у цьому відділенні, належать: видалення стержнів із порожнин виливків, відділення ливниково-живильної системи, механічна обрубка залишків ливників, зачистка поверхні від задирок, пригари та інших дефектів, що утворюються під час лиття. Кожна з цих операцій має вирішальне значення для підготовки виливка до подальших фінішних процедур та забезпечення відповідності готової продукції технічним вимогам.

Окрім основних очисних операцій, у відділенні передбачені робочі місця для остаточного контролю якості, комплектування деталей та їх підготовки до транспортування в наступні виробничі підрозділи або на склад готової продукції.

Для очищення та охолодження чавунних виливків прийнято застосування галтовочного барабана безперервної дії моделі ОБ-90 [4]. Використання даного обладнання дозволяє значно підвищити продуктивність процесу, забезпечити стабільну якість обробки поверхні та зменшити частку ручної праці за рахунок механізації циклу очищення. Технічна характеристика барабана наведена у табл. 1.13.

Таблиця 1.13

Технічна характеристика галтовочного барабана моделі ОБ-90

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, т/год	3,5
Об'єм завантаження, м <sup>3</sup>	1,8
Габаритні розміри, мм	3500×1650×1500
Маса, т	3,9
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Також для очистки виливків застосовуємо дробометну камеру моделі 86414, Технічна характеристика дробометної камери наведена в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14

## Технічна характеристика дробометної камери

Продуктивність камери, т/год	10
Максимальна вага виливок	12
Дробометний апарат Число обертів за хвилину Діаметр дробу, мм	2500 1,5 : 2,0
Електродвигун А02-62-4 Потужність, кВт Число обертів за хвилину Ремінна передача, 5-ти струмкова	17 1450 i = 175
Елеватор Швидкість руху ленти, м/хв. Виробництво, т/год Шаг ковшів, мм Об'єм ковша, м <sup>3</sup> Лента: Ширина, мм Довжина, мм	75,8 24,0 300 0,003 160 15000
Електродвигун А02-21-4 Потужність, кВт Кількість обертів за хвилину Редуктор РМ-250 Сито просіву дробу Кількість обертань барабану сита за хвилину	2,8 1440 i = 23,34 30
Електродвигун А02-21-4 Потужність, кВт Кількість обертань за хвилину Редуктор РМ250 Шаг шнека, мм	1,1 1400 i = 31,5 250
Конвеєр підвісний цепний Швидкість конвеєра, м/хв. Розгорнута довжина траси, м Шаг підвісок, мм Кількість підвісок	1 199,5 800 249
Електродвигун А02-32-4 Потужність, кВт Кількість обертань за хвилину Редуктор РМ350	3 1430 i = 31,5

Для зачистки виливків від залишків ливниково-живильної системи та облою приймаємо зачисні станки моделі 3М634 [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.15.

Таблиця 1.15

## Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М634

Назва характеристики	Величина
Зернистість	80 - 125
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	955 - 1425
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

### 1.7. Допоміжні відділення

До допоміжних відділень ливарного цеху належать усі підрозділи, що забезпечують безперервність та ефективність основного технологічного процесу. Вони виконують функції підготовки матеріалів, обслуговування обладнання, контролю якості та утримання інженерних систем у працездатному стані.

Одним із ключових допоміжних елементів виробництва є склади шихтових, формувальних і допоміжних матеріалів, де здійснюється їх приймання, сортування, зберігання та підготовка до подачі у виробництво. Склади забезпечують ритмічність роботи цеху, оскільки від стабільної наявності сировини залежить безперервність плавильних і формувальних процесів.

Важливе місце займає ковшове відділення, у якому проводиться поточний ремонт сталерозливних ковшів, а також їх підготовка до роботи, що включає сушіння, прогрівання, нанесення або відновлення вогнетривкого футерування. Якість виконання цих операцій безпосередньо впливає на безпеку плавильних процесів та якість розплаву.

Модельно-ремонтна майстерня забезпечує утримання модельного оснащення у справному стані. Тут проводять ремонт, регулювання та

виготовлення нових моделей, стрижневих ящиків і шаблонів. Від точності модельного оснащення залежить геометрична відповідність готових виливків вимогам конструкторської документації.

У цехових коморах зберігається широкий асортимент допоміжних матеріалів, оснащення, інструментів та витратних компонентів, необхідних для виконання формувальних, плавильних, очисних та ремонтних операцій. Раціональна організація цих комор сприяє оптимізації робочих процесів та зниженню простоїв.

Суттєву роль у контролі якості продукції та формувальних матеріалів відіграють цехові лабораторії. До їх складу входять лабораторії формувальних сумішей, хімічна, спектральна та лабораторія механічних випробувань. Вони здійснюють оперативний контроль параметрів металу, піщаних сумішей, визначають хімічний склад сплавів, механічні властивості та забезпечують відповідність продукції стандартам.

Ремонтно-механічна майстерня виконує поточний і середній ремонт технологічного обладнання цеху, підтримуючи його у працездатному стані. Аналогічні функції щодо інженерних систем виконують санітарно-технічна майстерня, яка забезпечує нормальну роботу водопроводу, каналізації, систем опалення та вентиляції, та електрична майстерня, відповідальна за обслуговування електрообладнання, мереж та освітлення.

Окремою важливою ланкою є дільниця регенерації формувальних сумішей, де проводиться очищення та відновлення відпрацьованих піщаних сумішей з метою їх повторного використання. Це дозволяє зменшити витрати на закупівлю нових матеріалів, знизити кількість відходів і підвищити загальну екологічність виробництва. Для регенерації відпрацьованої формувальної суміші вибираємо барабанні решета і електромагнітні сепаратори. Приймаємо барабанні решета моделі 176М, характеристика яких наведена в табл. 1.19.

Таблиця 1.19

## Технічна характеристика барабанного решета моделі 176М

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	30
Частота обертання, об/хв	23
Потужність, кВт	5,5
Маса, кг	1730
Габарити, мм	3700×1860×1700

Дільницю регенерації формувальної суміші зазвичай розміщують у підвальному приміщенні цеху.

### 1.8. Висновки по розділу

1. У розділі обґрунтовано планувальне рішення та режим роботи ливарного цеху, а також розглянуто функціонування його основних і допоміжних відділень. Описано організацію роботи плавильного, формувально-заливно-вибивного, стержньового, сумішоприготувального та очисного підрозділів, а також дільниць обрубки, складів, лабораторій і приміщень технічного контролю.

2. Для плавлення металу прийнято дугові печі ДСП-10, технічні характеристики яких підтверджують їх придатність для серійного виробництва. Виготовлення форм здійснюється на автоматичних ливарних лініях ІЛ-225, а виготовлення стержнів – на стержневих автоматах 4509А. Очисні операції забезпечуються галтувальним барабаном ОБ-90, дробеметною камерою 86414 та обдирно-шліфувальними верстатами ЗМ634.

## 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ ВИЛИВКА «КОРПУС»

### 2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок

Деталлю в машинобудуванні вважають виріб, виготовлений з однорідного матеріалу без виконання складальних або монтажних операцій. Виливок – це заготовка деталі, отримана шляхом заливання розплавленого металу у формувальну порожнину, де відбувається його затвердіння та формування геометрії виробу.

Корпус гідромотора MFS90-04.001 виготовляється із сірого чавуну марки СЧ 200 ДСТУ 8833:2019. Хімічний склад матеріалу наведений у таблиці 1.1, а механічні властивості — у таблиці 1.2. Виливок належить до II групи складності, а його точність визначається за класом 9-0-0-9 згідно з ГОСТ 26645-85. Якщо ливарні ухили не регламентовані кресленням, їх значення приймають рівними 2° у напрямку збільшення розмірів деталі. Незазначені радіуси становлять 1,5 мм для зовнішніх і до 6 мм для внутрішніх поверхонь. Допустиме зміщення по площині роз'єму не перевищує  $\pm 0,2$  мм. Загальна пористість матеріалу повинна відповідати еталону №2 за ДСТУ 2839, а зональна — рівню не більше 2 балів. Мікроструктура чавуну (П60-Ф40, П70-Ф30) має відповідати структурі зернистого перліту без наявності вільного цементиту. Корозійні ушкодження не допускаються. Базові поверхні корпусу повинні бути чистими, без заусениць та напливів металу. Виливок підлягає очищенню від формувальної суміші, пригару, а також зачищенню в зоні роз'єму та у місцях відокремлення живильників.

Корпус гідромотора має складну просторову форму. Усередині корпусу розташовується обойма з механізмом обертання валу, який функціонує під дією робочої гідравлічної рідини. На одному з торців конструкції знаходиться фланець, призначений для встановлення гідромотора у приводний механізм. Другий торець закривається круглою кришкою, що кріпиться гвинтами; зазначені поверхні є базовими. Формування внутрішньої порожнини корпусу

здійснюється за допомогою стержня, що забезпечує литу поверхню у відповідності до конструктивних вимог.

Габаритні розміри деталі становлять 254×199 мм, маса — 16,24 кг, твердість матеріалу — у межах 190...230 НВ.

Базові поверхні повинні бути очищені від залишків формувальної суміші та не містити напливів. Виливки підлягають очищенню до металевого блиску, повному видаленню пригару, залишків ливниково-живильної системи, заусениць та наростів. Допустимий залишок від живильника не повинен перевищувати 3 мм.

На оброблених поверхнях допускається наявність окремих раковин глибиною не більше 2/3 припуску на механічну обробку та діаметром до 3 мм, у кількості не більше 10 одиниць за умови відстані між ними не менше 5 мм. На необроблених поверхнях дозволяються раковини глибиною до 1 мм і діаметром до 1,5 мм, кількістю не більше трьох на одну поверхню та з мінімальною відстанню 5 мм між ними.

## 2.2. Вибір площини роз'єму

Для забезпечення отримання якісного вилівка необхідно правильно визначити та обґрунтувати положення площини роз'єму ливарної форми. Лінія роз'єму обирається з урахуванням конструктивних особливостей деталі, технологічних вимог та умов формування внутрішніх і зовнішніх поверхонь вилівка. При цьому слід керуватися загальноприйнятими положеннями технології формоутворення та принципами ливарного виробництва.

Загальні вимоги до вибору площини роз'єму включають такі положення:

- площина роз'єму повинна мати переважно горизонтальне розташування;
- необхідно забезпечити мінімальну кількість площин роз'єму;
- вибрана площина повинна забезпечувати можливість зручного контролю розмірів форми;
- геометрія площини роз'єму бажано повинна бути максимально простою та плоскою;

- розташування роз'єму повинно виключати застосування підвісних стержнів і забезпечувати раціональне розміщення основних стержнів;
- базові поверхні механічної обробки мають знаходитися в одній половині форми разом із відповідними оброблюваними поверхнями та не перетинатися площиною роз'єму;
- конструкція модельного комплексу повинна забезпечувати безперешкодне його вилучення з форми, що виключає наявність від'ємних уклонів або затінених ділянок, які не виходять до площини роз'єму;
- положення вилівка у формі має відповідати принципу направленої твердіння;
- тонкостінні та відповідальні елементи вилівка доцільно розміщувати у нижній частині форми, тоді як масивні та менш відповідальні — у верхній;
- плоскі поверхні рекомендовано орієнтувати під нахилом, а циліндричні — вертикально;
- термічно напружені вузли вилівка повинні розміщуватися у верхній частині форми біля місць підведення металу, що забезпечує їхнє пізніше твердіння.

Ураховавши наведені вимоги та особливості конструкції деталі, площину роз'єму обрано горизонтальною. На кресленні вилівка вона позначена штрих-пунктирною лінією, що завершується потовщеними відрізками з перехрестями. Положення вилівка у формі прийнято таким чином, щоб стержень у формувальній порожнині мав горизонтальне розташування, що полегшує формування та забезпечує технологічну надійність процесу.

### **2.2.1. Вибір припусків на механічну обробку**

Розміри вилівка визначають шляхом збільшення номінальних розмірів готової деталі на величину припусків, що необхідні для подальшої механічної обробки. Значення припусків встановлюють відповідно до вимог ГОСТ 26645-85 з урахуванням габаритів вилівка, способу його виготовлення, класу точності та необхідної чистоти оброблених поверхонь.

Припуски на механічну обробку наведені на кресленні вилівка. Межі припусків позначають тонкою червоною лінією з указанням їхніх розмірів. Для даної деталі встановлено такі припуски: на нижніх, бокових та внутрішніх поверхнях – 3 мм, на верхніх поверхнях – 4 мм. Таке значення припусків забезпечує отримання необхідної точності та якості поверхонь після механічної обробки.

### **2.2.2. Вибір радіусів скруглень та ливарних ухилів**

Ливарні радіуси закруглень визначають відповідно до вимог ГОСТ 10948-64. На кресленні вони позначені тонкою червоною лінією. Для даного вилівка внутрішні радіуси становлять від 3 до 6 мм, а зовнішні — від 2 до 6 мм. Невказані в кресленні радіуси закруглень регламентуються технічними вимогами.

Формівні ухили призначають з урахуванням номінальних розмірів вилівка та обраної технології виготовлення форм і стержнів згідно з ГОСТ 3212-57. Для досліджуваного вилівка величина ухилів зазначена в технічних вимогах та становить  $1^{\circ}30'$ .

Розміри стержня визначають з урахуванням припусків на механічну обробку. Стержньові знаки обираються відповідно до ГОСТ 3606-57. Зважаючи на діаметр формованого отвору та співвідношення його довжини до діаметра, для конструкції прийнято горизонтальні стержньові знаки довжиною 45 мм, оснащені фіксаторами, що запобігають їх обертанню. Формувальні ухили знакових частин стержня становлять: на бокових поверхнях –  $2^{\circ}$ , на торцевих –  $3^{\circ}$ . Зазор між стержньовими знаками та формою прийнято рівним 1,5 мм, що забезпечує технологічну надійність процесу формування.

### **2.3. Припуски на усадку**

Під припуском на усадку розуміють збільшення всіх ливарних розмірів модельного комплекту на величину усадки металу під час його охолодження та твердіння. Значення усадки визначають у відсотках від номінальних розмірів вилівка. Для сірого чавуну марки СЧ 20 приймають лінійну усадку на рівні 1%,

а об'ємну — близько 3%, що враховується під час виготовлення моделей та формувальної оснастки.

#### 2.4. Розробка креслення модельно-ливарних вказівок

Креслення модельно-ливарних вказівок розроблено на основі конструкторського креслення деталі — корпусу гідромотора. Технологічне креслення являє собою креслення з нанесеними технологічними вимогами та елементами ливарної форми відповідно до ГОСТ 3.1125-88. На такому кресленні необхідно передбачити всі дані, що забезпечують правильність формування, заливки та твердіння відливка. Зокрема, на кресленні мають бути вказані:

- площина роз'єму моделі та ливарної форми;
- положення відливка у формі під час заливки металу та процесу кристалізації;
- величини припусків на механічну обробку;
- розташування поверхонь моделі відносно формувальних площин;
- усі ливарні радіуси, галтелі, округлення та технологічні напуски;
- формувальні ухили;
- границі стержнів, зазори між стержнями та формою, роз'єм стержневого ящика та напрям набивки стержня;
- місця встановлення, розміри та характеристики елементів ливниково-живильної системи.

Проекції відливка на кресленні повинні відповідати його реальному положенню у формі під час заливки. Усі припуски на механічну обробку наносять тонкою суцільною червоною лінією із зазначенням їх величини. Отвори, що не формуються литтям, закреслюють суцільною лінією.

Роз'єм моделі та форми позначають штрих-пунктирною лінією з підписом «РМФ». Положення відливка у формі додатково фіксують буквами «В» (верх) та «Н» (низ), що наносяться на поверхні роз'єму.

Шорсткість поверхонь позначається згідно з вимогами ГОСТ 2.309-91. Якщо шорсткість усіх поверхонь однакова, її вказують один раз у правому

верхньому куті креслення. Округлення та технологічні ухили виділяються тонкою червоною лінією з обов'язковим зазначенням їх величини.

Елементи ливникової системи виконують згідно з ГОСТ 3.1125-88. На кресленні вони наносяться у масштабі деталі тонкою червоною лінією. Поперечні перерізи елементів, як правило, не штрихуються; у разі потреби може бути зазначена їх площа (в см<sup>2</sup>), кількість та сумарне перерізне значення.

Розміри стержнів визначають з урахуванням припусків на механічну обробку та ливарної усадки. Стержневі знаки підбирають відповідно до вимог ГОСТ 3606-57, що гарантує їх правильне встановлення, надійну фіксацію та точне формування внутрішніх порожнин відливка.

## **2.5. Основні положення при конструюванні ливниково-живильної системи**

Ливниково-живильна система (ЛЖС) призначена для забезпечення повноцінного заповнення ливарної форми розплавленим металом зі швидкістю, що унеможливорює виникнення дефектів типу недоливів чи неметалевих включень, а також для компенсації об'ємної усадки металу під час його кристалізації. Конструкція ЛЖС повинна відповідати вимогам технологічності під час виготовлення модельної оснастки, форм та самих виливків. При цьому доцільно прагнути до максимально компактних систем, оскільки їх надмірне розгалуження призводить до перевитрати металу, збільшення трудомісткості та зниження ефективності використання виробничих площ і обладнання.

Кожна лита деталь є індивідуальною конструкцією, що зумовлює необхідність проектування окремої ливниково-живильної системи для кожного виливка. Водночас значна кількість деталей має спільні конструктивні риси — близькі за товщиною стінки, характерні вузли та їх сполучення. Це створює передумови для типізації конструкцій ЛЖС і формування універсальних підходів до їхнього розрахунку.

Проектування ЛЖС для машинобудівних і приладобудівних виливків доцільно здійснювати у чотири етапи: вибір типу системи, розрахунок елементів

живлення, визначення параметрів ливникових каналів та аналіз працездатності системи в цілому.

У практиці розрізняють три основні типи ливникових систем: прямі, внутрішні та зовнішні. Пряма система не має підвідного каналу, і метал надходить із стояка безпосередньо в порожнину форми. Внутрішні системи застосовують тоді, коли конструкція виливка передбачає наявність центрального або іншого отвору, достатнього для розташування всередині прес-форми живильників і каналів. Зовнішні системи є основними при виготовленні багатогніздних форм і забезпечують підведення металу до кожного виливка окремо.

У даному випадку живильник підводиться до торцевої стінки виливка. Кількість гнізд у формі визначається розмірами опок і становить два. Типова ливникова система включає ливникову чашу (воронку), стояк, шлаковловлювач і живильник. Останній безпосередньо примикає до робочої порожнини форми і повинен бути сконструйований таким чином, щоб його можна було легко відокремити від готового виливка без ризику пошкодження деталі.

## 2.6. Розрахунок ливникової системи

Розраховуємо сумарну площу живильників за формулою Озана-Діттера [7]:

$$\Sigma F_{ж} = \frac{G}{\rho \cdot t \cdot v} = \frac{G}{\rho \cdot t \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \quad (2.1)$$

де  $G$  – маса металу що заливається в форму, кг;

$\rho$  – густина розплаву сірого чавуну  $\rho = 7100$  кг/м<sup>3</sup>;

$t$  – тривалість заливки, с;

$v$  – швидкість заповнення форми м/с;

$\mu$  – коефіцієнт опору;

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

$H_p$  – статичний напір, м.

Для розрахунку статичного напору скористаємось схемою підведення металу в форму (рис. 2.1)

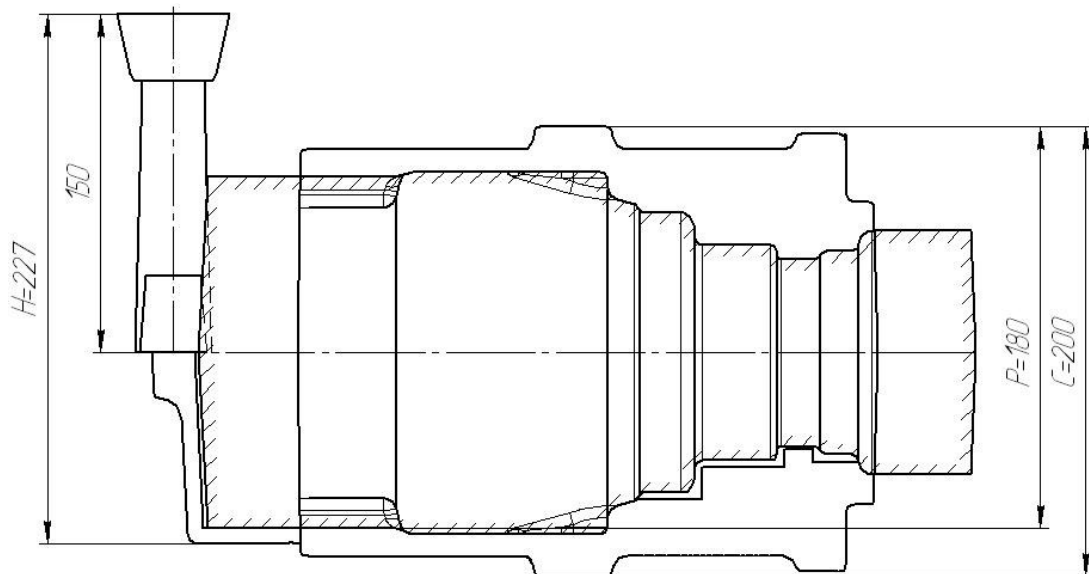


Рисунок 2.1 – Схема підведення металу в форму

Величину статичного напору визначаємо за формулою:

$$H_p = \frac{HC - p^2}{2c} = H - \frac{p^2}{2 \cdot c}, \text{ м}, \quad (2.2)$$

де  $H$  – висота стояка від місця підведення металу в форму;

$C$  – висота виливка,

$P$  – висота виливка від місця підведення розплаву в форму.

Тоді: 
$$H_p = 227 - \frac{180^2}{2 \cdot 200} = 146 \text{ мм}, H_p = 0,146 \text{ м}$$

Визначаємо масу металу що заливається в форму:

$$G = (m_e + m_l) \cdot n, \text{ кг}, \quad (2.3)$$

де  $m_e$  – маса виливка кг;

$m_l$  – маса ливників кг;

$n$  – кількість виливків у формі шт.

Тоді: 
$$G = (14,46 + 9,87) \cdot 2 = 52,67 \text{ кг}.$$

Визначаємо тривалість заливки:

$$t = s^3 \sqrt{G \cdot \delta} = 1,43^3 \sqrt{52,67 \cdot 30} = 16,7 \text{ с} \quad (2.4)$$

Тоді сумарна площа живильників:

$$\Sigma F_{жс} = \frac{52,67}{7100 \cdot 16,7 \cdot 0,35 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,146}} = 6,26 \cdot 10^{-4}, \text{ м}^2 = 6,26 \text{ см}^2$$

Визначаємо площу перерізу одного живильника:

$$F_{жс} = \frac{\Sigma F_{жс}}{n} = \frac{6,26}{2} = 3,13 \text{ см}^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Визначаємо розміри живильників (рис. 2.2); висота живильника 7 мм, верхня основа трапеції 31,2 мм, нижня основа трапеції 30 мм.

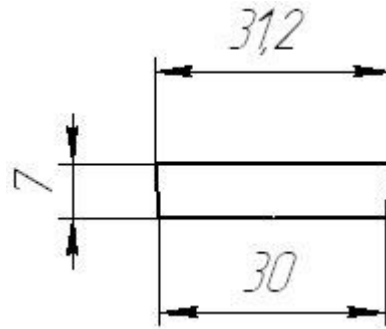


Рисунок 2.2 – Переріз живильника

Уточнюємо площу перерізу живильника з урахуванням прийнятих розмірів:

$$F_{жс} = \frac{3,12 + 3}{2} \cdot 0,7 = 3,234 \text{ см}^2,$$

$$\Sigma F_{жс} = 3,234 \cdot 2 = 6,468 \text{ см}^2.$$

По співвідношенню визначаємо сумарну площу перерізу шлаковловлювача і стояка (2.6):

$$\Sigma F_{жс} : \Sigma F_{шл} : \Sigma_{ст} = 1 : 1,4 : 1,5 \dots\dots\dots(2.6)$$

Визначаємо сумарну площу перерізу шлаковловлювачів:

$$\Sigma F_{шл} = 1,4 \Sigma F_{жс} = 1,4 \cdot 6,468 = 9,05 \text{ см}^2$$

Визначаємо площу перерізу одного шлаковловлювача:

$$F_{шл} = \Sigma F_{шл} / n = 9,05 / 2 = 4,52 \text{ см}^2$$

Визначаємо розміри шлаковловлювача (рис. 2.3); висота шлаковловлювача 34 мм, верхня основа трапеції 24 мм, нижня основа трапеції 30 мм.

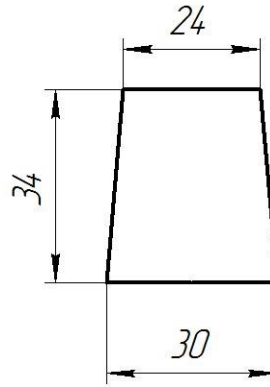


Рисунок 2.3 – Переріз шлаковловлювача

Уточнюємо площу перерізу шлаковловлювача з урахуванням прийнятих розмірів:

$$F_{ш} = \frac{3 + 2,4}{2} \cdot 3,4 = 9,18 \text{ см}^2,$$

Визначаємо площу стояка :

$$\Sigma F_{ст.} = 1,5 \Sigma F_{ж.} = 1,5 \cdot 6,468 = 9,7 \text{ см}^2; \quad \dots(2.7)$$

Визначаємо діаметр стояка:

$$d_{ст.} = \sqrt{\frac{4F_{ст.}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,7}{3,14}} = 3,5 \text{ см} \dots\dots\dots(2.8)$$

Приймаємо діаметр стояка: 35мм.

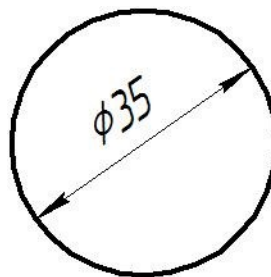


Рисунок.2.4 – Переріз стояка

Уточнюємо площу перерізу стояка з урахуванням прийнятих розмірів:

$$\Sigma F_{ст.} = \frac{\pi d_{ст.}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,5^2}{4} = 9,61 \text{ см}^2.$$

## **2.7. Технологічний процес виготовлення виливка**

Технологічний процес виготовлення виливків включає комплекс взаємопов'язаних операцій, спрямованих на отримання якісних литих заготовок. До основних етапів належать виготовлення напівформ, їх огляд, виготовлення та встановлення стержнів, збирання форм, заливання металу, охолодження, вибивання, очищення та контроль якості готових виливків.

Виливок корпусу гідромотора виготовляється на формувальній лінії ІЛ-225, технічні характеристики якої наведено у розділі 1. Верхня та нижня напівформи формуються окремо на пресових автоматах. Після ущільнення формувальної суміші модельні плити вилучаються, а встановлення стержнів здійснюється автоматичним стержнеукладчиком. Скомплектована форма надходить на конвеєрну лінію.

Заливання здійснюється сірим чавуном марки СЧ 200 із розливального станда. Після надходження металу форми витримуються на конвеєрі протягом 60 хв для забезпечення необхідного охолодження та початкової кристалізації.

Охолоджені форми надходять на вибивну решітку, де відокремлюється виливок разом із ливниковою системою від формувальної суміші. Далі виливки направляються до галтовочного барабана ОБ-90 для механічного видалення залишків суміші та часткового очищення поверхні.

Після галтовки виливки надходять на конвеєр, де за допомогою гідроклинового обладнання виконується відділення ливникової системи. Далі заготовки переміщуються до дробеметної установки 86414 для остаточного очищення.

Завершальним етапом є зачистка, візуальний та вимірювальний контроль якості. Придатні виливки транспортуються на склад готової продукції.

## **2.8. Опис процесу проектування ливарної оснастки**

Процес конструювання модельного оснащення для формувальної лінії ІЛ-225 пов'язаний із необхідністю забезпечення підвищеної точності виготовлення

форм для широкої номенклатури виливків у машинобудуванні. Критична увага приділяється точності та чистоті виготовлення самих моделей і модельних плит, а також прецизійній прив'язці, фіксації та надійному кріпленню моделей на плитах.

Модельний комплект складається з двох модельних плит, на яких змонтовані моделі половин виливка (верхньої та нижньої) та моделі елементів ливниково-живильної системи (ЛЖС): живильники передбачені для нижньої напівформи, тоді як шлаковловлювач, стояк і чаша — для верхньої. Формувальні модельні плити встановлюються на пресові автомати за допомогою центрувальних і напрямних втулок та штирів.

До модельного оснащення для ліній ІЛ-225 ставляться жорсткі вимоги. Зокрема, стояк повинен розміщуватися у визначених місцях, які передбачені конструкцією машини, а мінімальні відстані між моделями залежать від їхніх габаритних розмірів. У модельному оснащенні в затемнених (темних) кутках слід обов'язково передбачати вентиляційні канали для ефективного відведення повітря із формувальної камери під час вдування та пресування суміші.

Вимоги до точності обробки також суворо регламентовані: внутрішні вертикальні площини моделей (западини під болвани) повинні відповідати не нижче 9-го класу точності за ГОСТ 2780-73, зовнішні вертикальні площини — 8-го класу, а горизонтальні — 7-го класу точності. Шорсткість моделей та підмодельних плит має становити Ra 1 мкм. Величини допусків на розміри знаків моделей і стрижнів повинні відповідати ГОСТ 3606-80. Формувальні ухили на робочій поверхнях моделей виконуються у відповідності з вимогами ГОСТ 3212-80, а формувальні ухили знаків моделей і стрижневих ящиків — за ГОСТ 3606-80. Чистота обробки моделей елементів ливникової системи не може бути нижчою за 7-й клас чистоти згідно з ГОСТ 2739-73. Підмодельні плити рекомендовано виготовляти із алюмінієвих сплавів марки АЛ9 або АЛ12 (ГОСТ 2685-63).

Для виготовлення стрижнів пікострільним способом застосовується алюмінієвий стрижневий ящик. Заготовку такого ящика отримують методом лиття у піщані форми по попередньо виготовленим дерев'яним моделям. При

виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховується припуск на механічну обробку ящика, який при токарно-фрезерувальних роботах складає від 1,0 до 1,5 мм.

Для визначення товщини тіла стрижневого ящика необхідно знати його габаритні розміри. Товщина стінок ящика визначається за відповідними номограмами і для алюмінієвих сплавів зазвичай складає 10 мм. Згідно з табличними даними визначаються також товщина ребер жорсткості (при товщині стінок 10 мм, ребра також становлять 10 мм) та радіус галтелей, який дорівнює 5 мм. Стрижневий ящик виливається у відповідності з усіма розмірами і піддається фінальній механічній обробці. Площина роз'єму ящика обов'язково шліфується для забезпечення якісного прилягання обох половин ящика одна до одної; з'єднання половин здійснюється за допомогою штирів.

## **2.9. Висновки по розділу**

У рамках магістерської роботи було виконано комплекс робіт, що включає аналіз конструкції деталі та відповідних технічних умов. Детально описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка, а також сформульовані технічні умови на виливок. Проведено необхідні розрахунки ливниково-живильної системи. Крім того, описано повний цикл технології виготовлення форми, наведено ключові параметри процесів заливки форми, вибивки, очистки та обрубки виливків. Завершальним етапом стало детальне описання процесу проектування ливарного оснащення. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок (додаток МР-131.25.81.02.01.00), модельних комплектів верху (додаток МР-131.25.81.02.02.00), низу (додаток МР-131.25.81.02.03.00), стержневого ящика (додаток МР-131.25.81.02.04.00), та форми в зборі (додаток МР-131.25.81.02.05.00).

### **3. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВНИКОВИХ СИСТЕМ**

#### **3.1. Загальні відомості про ливниково-живильні системи**

У процесі технологічної підготовки ливарного виробництва одним із ключових завдань є забезпечення якісного заповнення форм розплавом та організація ефективного живлення виливка під час його кристалізації. Правильно спроектована ливниково-живильна система дозволяє уникнути утворення усадочних дефектів, забезпечити стабільність процесу лиття та покращити якість готових виробів. Технолог, який розробляє технологію виготовлення виливка, має обґрунтовано визначити точки підведення металу, вибрати раціональний тип ливникової системи та виконати розрахунки її основних параметрів.

Сучасні підходи до проектування ливникових систем ґрунтуються на наукових засадах теорії ливарних процесів і передбачають використання автоматизованих систем проектування, що значно скорочує час доведення технології під час її впровадження у виробництво.

Заповнення форми розплавом є початковим етапом формування виливка, від якого значною мірою залежить його якість. Незважаючи на коротку тривалість цього етапу, переважна частина дефектів у ливарному виробництві виникає саме через неправильно організовану заливку. Формування потоку металу, його швидкість, характер руху та взаємодія зі стінками форми визначаються конструкцією ливникової системи, яка включає комплекс каналів, призначених для транспортування розплаву з ковша до порожнини форми.

Типова ливникова система складається з ливникової чаші або воронки, вертикального стояка, зумпфа, шлаковловлювача (колектора) та системи живильників, які безпосередньо подають метал у порожнину форми. Під час руху по ливникових каналах розплав зазнає охолодження, часткового тверднення, окиснення та інтенсивного газовиділення, що, у свою чергу, може стати причиною виникнення дефектів. Тому конструкція ливникової системи

повинна бути розрахована таким чином, щоб мінімізувати негативний вплив цих процесів.

Основні принципи проектування ливникових систем передбачають раціональний вибір поверхні роз'єму форми, мінімізацію її кількості, забезпечення технологічності виготовлення стержнів та модельного комплекту, а також створення умов для спрямованого тверднення виливка. Правильне положення відливка в формі дозволяє оптимізувати тепловий режим, зменшити внутрішні напруження та запобігти утворенню тріщин.

Ливникова система повинна забезпечувати заповнення форми за оптимальний час, ефективно вловлювання шлакових та неметалевих включень, а також плавний і стабільний рух розплаву без розмивання формувальної суміші. При цьому важливо, щоб витрата металу на ливникову систему була мінімальною, оскільки це безпосередньо впливає на вихід придатного — один із ключових показників ефективності ливарного процесу.

### **3.2. Особливості розрахунку ливниково-живильної системи виливків із сірого чавуну.**

З практики відомо, що для кожного виливка існує оптимальна тривалість заповнення форми, що задовольняє нерівності:

$$\tau_{\text{мін}} \leq \tau_{\text{зал}} \leq \tau_{\text{макс}},$$

де  $\tau_{\text{мін}}$  — мінімально припустима тривалість заливки;

$\tau_{\text{макс}}$  — максимально припустима тривалість заливки;

Мінімально допустима тривалість заливки  $\tau_{\text{мін}}$  визначається низкою факторів, що впливають на стабільність процесу заповнення форми. До них належать: час, необхідний для повного видалення з формувальної порожнини повітря та газів, які виділяються формою, стержнями та самим розплавом; ймовірність розмивання поверхні форми та стержнів; ударний вплив металевого струменя на верхні ділянки форми наприкінці заливки; а також небажаність

надмірного збільшення перерізів ливникових каналів, що пов'язано з економічними обмеженнями.

Максимально допустима тривалість заливки  $\tau_{\text{макс}}$  визначається умовами тепловідведення та інтенсивністю охолодження сплаву під час його руху. До основних обмежувальних чинників належать: зниження температури металу та зменшення його рідинотекучості, що може спричинити утворення спаїв і недоливів, особливо у тонкостінних елементах; необхідність забезпечення такої швидкості підйому рівня металу в порожнині форми, яка унеможливило відшарування стінок та формування ужимин.

Під час вибору оптимальної тривалості заливки важливо враховувати рівень і схему підведення розплаву. У випадку нижнього підведення металу тривалість заливки повинна бути меншою, ніж при верхньому, оскільки необхідно забезпечити достатньо високу температуру сплаву у верхніх зонах виливка. Якщо ж підведення здійснюється до тонких елементів, то збільшення тривалості заливки дозволяє знизити внутрішні напруження у готовому виробі.

Аналітичне визначення межі допустимої тривалості заливки є складним завданням, оскільки потребує врахування значної кількості технологічних та фізичних факторів. У промисловій практиці для таких розрахунків широко застосовують емпіричні залежності. Однією з найпоширеніших є формула Г. М. Дубицького, яка дозволяє визначити раціональну тривалість заливки з урахуванням геометричних та теплотехнічних характеристик виливка:

$$\tau_{\text{опт}} = S_1 \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (3.1)$$

де  $S_1$  – коефіцієнт тривалості заливання, що залежить від температури рідкого металу, роду сплаву, місця його підведення, матеріалу форми;

$\delta$  – переважна товщина стінки виливка, мм;

$G$  – маса рідкого металу у формі, що припадає на один виливок, кг [4, 15].

Значення коефіцієнта  $S_1$  для сталевих виливків наведені в табл. 1.1 і для порівняння в табл. 1.2 – для алюмінієвих сплавів [4].

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнта  $S_1$  для сталевих виливків

Температура сплаву	Підведення металу		
	знизу або в товстостінні частини вилівка	на половині висоти, або ступінчастий	зверху або в тонкі частини вилівка
Нормальна	1,3	1,4	1,5-1,6
Підвищена	1,4-1,5	1,5-1,6	1,6-1,8

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнта  $S_1$  для виливків з алюмінієвих сплавів

Виготовлення виливків	Підведення металу при масі рідкого сплаву на один вилівок, кг						
	Звичайна ливникова система				Вертикально-щільова система		
	До 2	2-5	5-10	10	До 15	15-30	30-70
У кокілях, що підігріваються	2,2	2,4	2,5	2,6	3,3	3,6	4,0
У піщаних формах	1,7	2,1	2,3	2,4	2,7	2,8	3,0

Для виливків, що формують у горизонтально розташованих опоках, значення коефіцієнта  $S_1$  рекомендується зменшувати на 0,1–0,2. Це пов'язано з тим, що під час розтікання металу по холодній поверхні форми зростають теплові втрати, що потребує скорочення тривалості заливки.

У випадку виготовлення виливків, схильних до утворення внутрішніх напружень та холодних тріщин (особливо за підведення металу до тонких елементів), а також утворення усадочних раковин (при верхньому підведенні), значення  $S_1$  слід збільшувати на 0,1–0,2. Довша тривалість заливки у таких випадках сприяє вирівнюванню темпів охолодження масивних та тонкостінних ділянок вилівка, зменшуючи різницю температур та пов'язані з нею напруження.

Виливки, які виготовляють у металевих формах або з використанням значної кількості холодильників, потребують швидшої заливки. За таких умов коефіцієнт  $S_1$  також зменшують на 0,1–0,2, оскільки інтенсивний тепловідвід прискорює охолодження розплаву.

Для більшості чавунних виливків значення  $S_1$  приймають рівним 2. Якщо ж вміст вуглецю у чавуні менший за 3,3 %, а форма містить холодильники або заливання здійснюється за зниженої температури, значення  $S_1$  доцільно зменшити до 1,7–1,9. Для виливків із ковкого чавуну Г. М. Дубицький рекомендує використовувати значення  $S_1=2,05$ .

Для бронзових виливків, що виготовляють у піщаних формах із ливниковою системою, замкненою в живильниках, доцільно приймати значення  $S_1=2-2,1$ . Для латунних виливків при заливанні у піщані форми встановлюють  $S_1=1,9$ , а при використанні металевих форм –  $S_1=1,3$ .

Під переважною товщиною стінки  $\delta$  розуміють товщину тієї ділянки виливка, яка має найбільшу протяжність або розташована в найбільш несприятливих умовах з точки зору заповнюваності. Важливо зазначити, що це значення не завжди збігається з номінальною геометричною товщиною стінки, оскільки враховується не лише розмір, а й технологічні умови її заповнення та охолодження.

$$\delta = \frac{2\omega}{\chi}, \quad (3.2)$$

де  $\omega$  – площа поперечного перерізу стінки виливка, мм<sup>2</sup>;

$\chi$  – периметр поперечного перерізу стінки виливка, мм

Для плоскої стінки:

$$\delta = \frac{2l \cdot \delta_{\text{відл}}}{2(l + \delta_{\text{відл}})} = \frac{\delta_{\text{відл}}}{1 + \delta_{\text{відл}}/l}$$

Якщо довжина поперечного перерізу  $l \gg \delta_{\text{відл}}$ , то  $\delta = \delta_{\text{відл}}$ . На практиці  $\delta = \delta_{\text{відл}}$ , якщо  $l > 4\delta_{\text{відл}}$ . Якщо ця умова не виконується, то переважну товщину стінки необхідно розраховувати за формулою (3.2).

Масу рідкого металу, що припадає на один вилівок, визначають за формулою:

$$G = \frac{G_{\phi}}{N},$$

де  $N$  – кількість виливків у формі, шт;

$G_{\phi}$  – маса металу, що заливається у форму, кг.

$$G_{\phi} = N * G_{\text{відл}} + G_{\text{п}} + G_{\text{л.с}}, \quad (3.3)$$

де  $G_{\text{відл}}$ ,  $G_{\text{п}}$ ,  $G_{\text{л.с}}$  – відповідно, маса відливка, підживлювачів, ливникової системи, кг.

В цьому виразі невідома лише маса ливникової системи. Її приймають рівною 8...20 % від  $(N * G_{\text{відл}} + G_{\text{п}})$ . При цьому більша величина ухвалюється для невеликих виливків.

Досвід показує, що виливок отримують якісним в деякому інтервалі часу заливання: при відхиленні  $\tau_{\text{зал}}$  від розрахованого за формулою (3.1) у більшу або меншу сторону на 20 %. За даними Г. М. Дубицького, час заливання повинен задовольняти нерівність:

$$\tau_{\text{опт}} / 1,2 \leq \tau_{\text{зал}} \leq 1,2 \tau_{\text{опт}},$$

де  $\tau_{\text{опт}}$  – розраховують за формулою (3.1).

Після визначення часу заповнення необхідно перевірити лінійну швидкість підйому рівня металу у формі:

$$v = \frac{H}{\tau_{\text{зал}}}, \text{ мм/с}, \quad (3.4)$$

де  $H$  – висота порожнини форми (виливок разом з підживлювачем), мм.

Швидкість підйому повинна відповідати величинам наведеним у табл. 3.3

Таблиця 3.3 – Швидкість підйому рівня металу у формі

Товщина стінки, мм		До 10	10–40	40–70	Понад. 70
мм/с, не менше	Формування по-сирому	20-16	16-12	12-10	8
	Формування по-сухому	12-10	10-8	8	6

Якщо розрахована швидкість підйому рівня металу в порожнині форми виявляється нижчою за допустиму, тривалість заливання, визначену за формулою (3.1), необхідно відповідно зменшити. Надалі у всіх розрахунках слід використовувати саме скориговане значення тривалості, оскільки воно забезпечує дотримання необхідних технологічних параметрів заповнення форми.

Заливання форм дрібних і середніх виливків у серійному та масовому виробництві, зокрема на конвеєрних і автоматичних лініях, зазвичай виконується з поворотних ковшів місткістю від 100 до 800 кг. У таких технологічних схемах витрата металу регулюється шляхом зміни кута нахилу ковша, що дозволяє підтримувати стабільний і керований потік розплаву.

У замкненій або звужуваній системі «ківш – ливникова система – порожнина форми» найменший переріз, а отже й лімітуючу роль у процесі проходження металу, має живильник. Саме він визначає пропускну здатність системи та впливає на рівномірність заповнення форми. Для розрахунку сумарної площі перерізу живильників у таких умовах доцільно застосовувати формулу Б. Озанна, що є однією з найбільш поширених емпіричних залежностей у практиці проектування ливниково-живильних систем:

$$F_{\text{жс}} = \frac{G \cdot 1000}{\rho \cdot \tau \cdot v} = \frac{G \cdot 1000}{\rho \cdot \tau \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \text{ см}^2, \quad (3.5)$$

де  $G$  – металоємність виливка (маса заливаємого металу, що припадає на один вилівок), кг;

$\rho$  – густина розплаву сірого чавуну  $\rho = 6,9 \dots 7,1 \text{ г/см}^3$ ;

$\tau$  – тривалість заливки, с;

$v$  – швидкість заповнення форми м/с;

$\mu$  – коефіцієнт опору ливникової системи заповненню форми;

$g = 981$  – прискорення вільного падіння,  $\text{см/с}^2$ ;

$H_p$  – статичний напір, см.

Коефіцієнт опору  $\mu$  характеризує загальний гідравлічний опір форми руху розплаву і залежить від опору в ливниковій системі  $\mu_1$  і опору в порожнині виливка  $\mu_2$ :

$$\mu = \mu_1 \mu_2. \quad (3.6)$$

Проведеними дослідженнями встановлено, що для чавунних виливків середнє значення коефіцієнта опору ливникової системи  $\mu$  за умов незначного опору форми становить  $0,75 \dots 0,85$ . Це свідчить про те, що сумарні втрати швидкості розплаву в системі, спричинені тертям у каналах, зміною напрямку потоку, завихреннями та локальними звуженнями, досягають приблизно 20 %. Зазначені значення характерні для коротких ливникових систем, у яких загальна кількість поворотів потоку на  $90^\circ$  не перевищує двох. За збільшення кількості таких поворотів коефіцієнт опору  $\mu_1$  зменшується на  $0,05 \dots 0,10$  для кожного додаткового повороту або місцевого опору.

Коефіцієнт опору форми  $\mu_2$  визначається насамперед конструктивними особливостями виливка, газотворністю та газопроникністю формувальної суміші, її вологістю, а також можливими завихреннями та ударами металевого потоку в порожнині форми. Аналітично визначення цієї величини є неможливим, тому її приймають на основі емпіричних даних. Для виливків простої конфігурації зі середньою товщиною стінок  $10 \dots 30$  мм значення  $\mu_2$  становить  $0,7 \dots 0,8$ . У випадку тонкостінних та складних за формою виливків, що характеризуються значним опором форми, коефіцієнт  $\mu_2$  знижується до рівня  $0,2 \dots 0,3$ .

Також коефіцієнт опору  $\mu$  можна прийняти за табл. 3.4 з урахуванням способу формування й опору форми руху потоку рідкого металу.

Таблиця 3.4 - Значення коеф. опору ливникової системи заповненню форми

Формування	Вихід металу	Опір форми		
		великий	середній	малий
по-сухому	Відкриті	0,45	0,53	0,65
	Закриті	0,40	0,48	0,60
по-сирому	Відкриті	0,40	0,347	0,57
	Закриті	0,35	0,342	0,52

Розрахунковий статичний напір  $H_p$  визначається залежно від місця підведення металу (верхнє, бокове, нижнє), висотою металу стояка над місцем підведення у форму  $H$ , загальною висотою виливка  $C$  та висотою виливка над місцем підведення металу  $P$  (рис. 3.2):

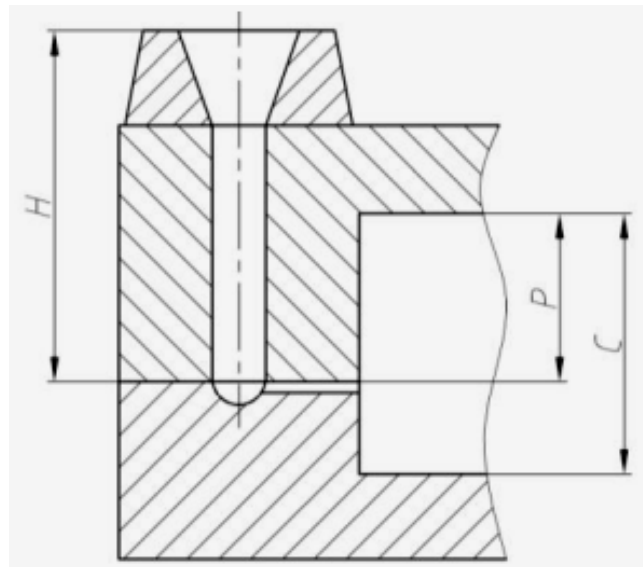


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку статичного напору металу при заливці

$$H_p = \frac{2HC - P^2}{2C} = H - \frac{P^2}{2C}, \text{ см,} \quad (3.7)$$

де  $H$  – висота металу в стояку над місцем підведення у форму, см;

$C$  – загальна висота виливка, см;

$P$  – висотою вилівка над місцем підведення металу, см.

За визначеною сумарною площею перетину живильників  $\Sigma F_{ж}$  визначають площу перерізу одного живильника:

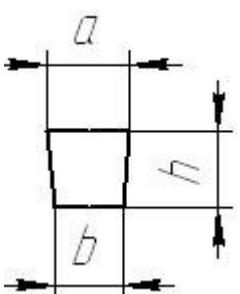
$$F_{ж} = \frac{\Sigma F_{ж}}{N}, \text{ см}^2. \quad (3.8)$$

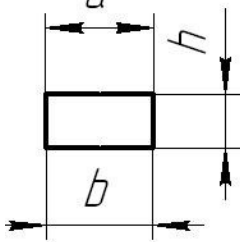
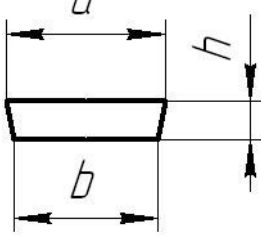
На основі визначеної площі перерізу живильника встановлюють його форму та розміри. У більшості випадків живильник виконують у формі трапеції. За геометричними параметрами розрізняють три типи живильників: звичайні, завужені та вузькі (табл. 3.5).

Для живильника звичайної конструкції висоту перерізу приймають рівною півсумі верхньої та нижньої основ трапеції. У завужених живильниках висота зменшується і становить половину цієї півсуми. Для вузьких живильників висоту приймають ще меншою – на рівні чверті півсуми верхньої та нижньої основ.

У випадку використання щілинних живильників дотримуються аналогічних пропорцій між висотою та шириною їхнього перерізу, проте з певною корекцією: висоту збільшують, а ширину відповідно зменшують, що забезпечує стабільні умови підживлення та покращує рух рідкого металу.

Таблиця 3.5 – Визначення розмірів живильника

Вид живильника	Схема перерізу	Розрахункові формули
Звичайний		$h = \frac{a + b}{2};$ $F_{ж} = \left( \frac{a + b}{2} \right)^2 = \frac{(a + b)^2}{4};$ $a + b = \sqrt{4F_{ж}} = 2\sqrt{F_{ж}}; \quad h = \sqrt{F_{ж}}$

Завужений		$h = \frac{a+b}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{a+b}{4};$ $F_{жс} = \frac{(a+b)^2}{8};$ $a+b = \sqrt{8F_{жс}} = 2,83\sqrt{F_{жс}}; h = 0,71\sqrt{F_{жс}}$
Вузкий		$h = \frac{a+b}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{a+b}{8};$ $F_{жс} = \frac{(a+b)^2}{16};$ $a+b = \sqrt{16F_{жс}} = 4\sqrt{F_{жс}}; h = 0,5\sqrt{F_{жс}}$

Розраховані за вказаними в табл. 3.5 формулами розміри округлюють в більшу сторону з точністю до 1 мм.

Далі уточнюють площу перерізу одного живильника та сумарну площу перерізу всіх живильників з урахуванням прийнятих розмірів.

Визначення площі поперечного перерізу шлаковловлювача  $F_{ш}$  та стояка  $F_{ст}$  здійснюємо за допомогою наступних співвідношень для виливків:

- тонкостінних дрібних:  $\Sigma F_{жс} : F_{ш} : F_{ст} = 1:1,06:1,11;$  (3.9)

- середніх і дрібних:  $\Sigma F_{жс} : F_{ш} : F_{ст} = 1:1,1:1,15;$  (3.10)

- середніх і крупних:  $\Sigma F_{жс} : F_{ш} : F_{ст} = 1:1,2:1,4;$  (3.11)

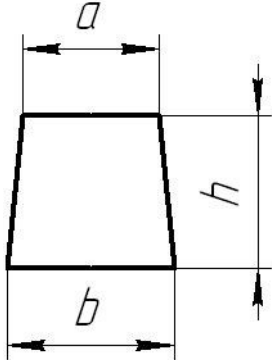
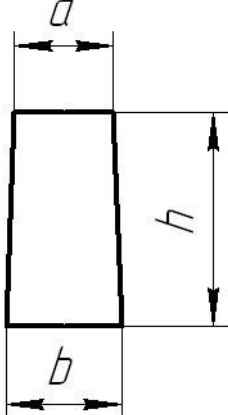
- крупних:  $\Sigma F_{жс} : F_{ш} : F_{ст} = 1:1,5:2,0.$  (3.12)

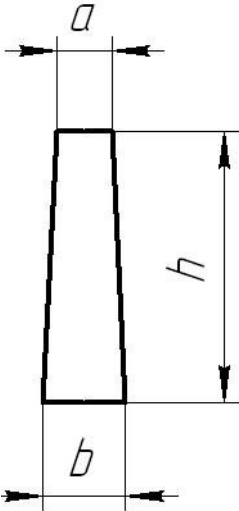
У випадках, коли стояк та шлаковловлювач обслуговують кілька виливків одночасно, сумарну площу перерізу живильників визначають як суму площ перерізів живильників усіх виливків. Якщо ж у формі розміщені виливки різної маси з одним спільним стояком, спершу виконують окремий розрахунок площі перерізу живильника для кожного виливка за формулою (3.5). Після цього їхні

значення підсумовують при визначенні площі перерізу шлаковловлювача та стояка згідно зі співвідношеннями (3.9)–(3.12).

За розрахованою площею перерізу шлаковловлювача встановлюють його геометричну форму та визначають основні розміри. У більшості випадків шлаковловлювач виконують у вигляді трапеції. Залежно від пропорцій розрізняють три варіанти конструкції: звичайний, завужений та вузький (табл. 3.6).

Для шлаковловлювача звичайної конструкції висоту приймають рівною півсумі верхньої та нижньої основ трапеції. У завужених шлаковловлювачах висоту збільшують удвічі відносно цієї півсуми, тоді як у вузьких конструкціях вона становить чотирикратне значення півсуми основ. Така зміна пропорцій дає змогу оптимізувати рух розплаву, покращити процес затримання неметалевих включень і забезпечити стабільні умови проходження металу у формі. Таблиця 3.6 – Визначення розмірів шлаковловлювача

Вид шлаковловлювача	Схема перерізу	Розрахункові формули
Звичайний		$h = \frac{a + b}{2};$ $F_{\text{жс}} = \left( \frac{a + b}{2} \right)^2 = \frac{(a + b)^2}{4};$ $a + b = \sqrt{4F_{\text{жс}}} = 2\sqrt{F_{\text{жс}}};$ $h = \sqrt{F_{\text{жс}}}$
Завужений		$h = \frac{a + b}{2} \cdot 2 = a + b;$ $F_{\text{жс}} = \frac{(a + b)^2}{2};$ $a + b = \sqrt{2F_{\text{жс}}};$ $h = \sqrt{2F_{\text{жс}}}$

Вузкий		$h = \frac{a+b}{2} \cdot 4 = 2(a+b);$ $F_{жс} = (a+b)^2;$ $a+b = \sqrt{F_{жс}};$ $h = 2\sqrt{F_{жс}}$
--------	-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

Розраховані за вказаними в табл. 3.6 формулами розміри округлюють в більшу сторону з точністю до 1 мм.

Далі уточнюють площу перерізу шлаковловлювача з урахуванням прийнятих розмірів.

Далі визначають розміри стояка. Оскільки в перерізі стояк представляє коло, то з площі кола визначаємо його діаметр:

$$D_{ст} = \sqrt{\frac{4F_{ст}}{\pi}}, \text{ мм.} \quad (3.13)$$

### 3.3. Розробка алгоритму розрахунку ливниково-живильної системи виливків на комп'ютері

У сучасному виробництві та науково-дослідній діяльності значну увагу приділяють застосуванню спеціалізованих програмних продуктів та систем автоматизованого проєктування. Широко використовуються навчальні тренажери, контролюючі програми для виконання розрахунків і тестування, інформаційно-пошукові системи (бази даних, стандарти), а також імітаційні, демонстраційні та навчально-ігрові програмні комплекси. Розвиток комп'ютерних технологій створив умови для розробки високоякісного

програмного забезпечення, що відповідає сучасним вимогам платформ Windows та Android.

Можливості комп'ютерного моделювання охоплюють створення баз даних, розрахункових програм та підпрограм, здатних виводити текстову й графічну інформацію, генерувати анімації, будувати діаграми, графіки та номограми, а також відтворювати мультимедійний контент. З іншого боку, розвиток цифрових технологій дає змогу по-новому використовувати багаторічний науково-технічний досвід ливарного виробництва. Саме це стало підґрунтям для створення системи автоматизованого проектування ливниково-живильної системи (ЛЖС) для виливків корпусної групи підприємства ПрАТ «Металит». Основною метою розробки є визначення площ перерізу елементів ЛЖС та їх геометричних розмірів на основі введених або вибраних вихідних даних: типу сплаву та його густини, середньої товщини та маси виливка, схеми підведення рідкого металу, характеристик формувальної суміші (газотворність, газопроникність), параметрів стержнів, величини опору руху розплаву у формі, типів живильників і шлаковловлювачів, а також інших необхідних технологічних показників. Результати розрахунків передбачається перевіряти у CAD/CAE-системах параметричного моделювання та шляхом випробувань у виробничих умовах.

Впровадження системи автоматизованого проектування ЛЖС дає можливість технологу підвищити наукову обґрунтованість прийнятих рішень, зменшити витрати металу, знизити рівень ливарного браку та скоротити витрати часу і ресурсів на доведення технології під час її впровадження у виробництво.

Для створення САПР ЛЖС обрано середовище Microsoft Excel, яке поєднує широкі функціональні можливості з простотою інтерфейсу та високою швидкодією. Програма забезпечує швидке виконання розрахунків при мінімальних вимогах до ресурсів, а також дозволяє легко передавати інформацію в інші продукти Microsoft — Word, Excel, браузер Internet Explorer, графічний редактор Paint тощо. Крім того, Excel повністю сумісний із платформою Android, що відкриває можливість використання розробленої САПР на мобільних пристроях.

Перед безпосередньою розробкою системи необхідно визначити її структуру, взаємозв'язки параметрів та логіку виконання розрахунків. Для цього формується алгоритм роботи САПР, який відображається у вигляді блок-схеми, що визначає порядок уведення, обробки та виводу даних.

До основних вхідних параметрів, що вводяться перед початком розрахунку, належать: густина рідкого металу  $\rho$ , маса виливка  $G_{від}$ , кількість виливків у формі  $N$ , частка маси ливникової системи (% л.с.), коефіцієнти опору заповнення форми – у ливниковій системі  $\mu_1$  і в порожнині форми  $\mu_2$ , середня товщина стінки виливка  $\delta$ , коефіцієнт тривалості заливання  $S_1$ , геометричні параметри для розрахунку статичного напору (висота рівня металу над місцем підведення  $H$ , загальна висота виливка  $C$ , висота над точкою вводу розплаву  $P$ ), а також рекомендовані співвідношення площ перерізів елементів ЛЖС — живильника, шлаковловлювача та стояка.

На рисунку 3.3 представлено блок початкових даних розробленої системи автоматизованого проектування ливниково-живильної системи.

Початкові данні	
Густина рідкого металу	$\rho = 7,1$ г/см <sup>3</sup>
Маса виливка	$G_{від} = 16,24$ кг
Кількість виливків у формі	$N = 2$ шт.
% маси ливникової системи	% л.с. = 20 %
Маса ливникової системи	$G_{л.с.} = 6,496$ кг
Маса металу що заливається у форму	$G_{\phi} = 38,976$ кг
Маса металу що припадає на один виливок	$G = 19,488$ кг
Коефіцієнт опору в ливниковій системі	$\mu_1 = 0,8$
Коефіцієнт опору в порожнині форми	$\mu_2 = 0,75$
Загальний коефіцієнт опору	$\mu = 0,6$
Середня товщина стінки виливка	$\delta_{від} = 30$ мм
Коефіцієнт тривалості заливки	$S_1 = 1,43$
Висота металу над місцем підведення	$H = 22,7$ см
Висота виливка	$C = 20$ см
Висота виливка над місцем підведення металу	$P = 18$ см
Розрахунковий статичний напір	$H_p = 14,6$ см
Співвідношення між елементами ЛЖС	$\Sigma F_{ж}:F_{ш}:F_{ст} = 1: 1,1 \quad 1,15$

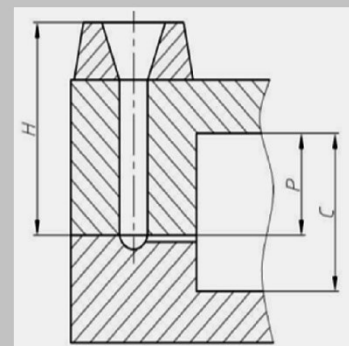


Рисунок 3.3 – Блок початкових даних САПР ЛЖС

Після введення початкових даних у поля, виділені білим кольором (рис. 3,3) автоматично розраховуються такі параметри як маса ливникової системи  $G_{л.с.}$ , маса металу, що заливається у форму  $G_{ф.}$ , маса металу що припадає на один вилівок  $G$ , загальний коефіцієнт опору  $\mu$ , розрахунковий статичний напір  $H_p$ .

Далі розраховуються геометричні параметри ливниково-живильної системи у послідовності, описаній у попередньому пункті даного розділу.

Блок схема розрахунку представлена на рис. 3.4, а результати розрахунку на рис.3.5.

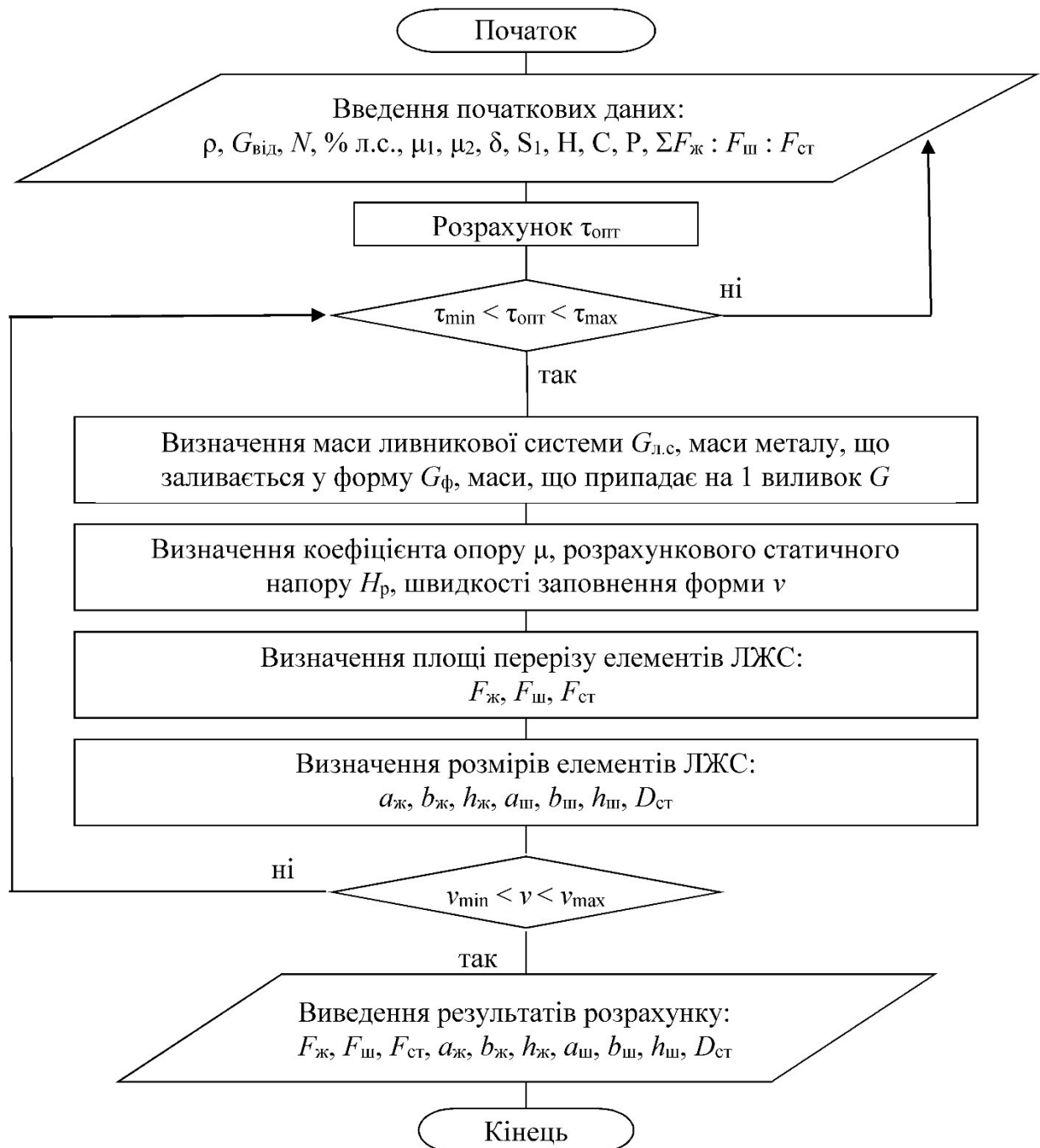


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму розрахунку ЛЖС виливків на комп'ютері

Результати розрахунку		
Оптимальна тривалість заливки	$t_{opt} =$	12,0 с
Інтервал тривалості заливки	$10,0 < t_{зал} <$	14,3
Швидкість заповнення форми	$v =$	16,7 мм/с
Площа перерізу живильника	$F_{ж} =$	2,26 см <sup>2</sup>
Площа перерізу шлаковловлювача	$F_{ш} =$	4,97 см <sup>2</sup>
Площа перерізу стояка	$F_{с} =$	5,20 см <sup>2</sup>
Діаметр стояка	$D_{с} =$	26 мм
Розміри живильника:		
Звичайної ширини	$a =$	16 мм
	$b =$	14 мм
	$h =$	15 мм
завужений	$a =$	22 мм
	$b =$	20 мм
	$h =$	11 мм
вузький	$a =$	31 мм
	$b =$	29 мм
	$h =$	7,5 мм
Розміри шлаковловлювача:		
Звичайної ширини	$a =$	23 мм
	$b =$	21 мм
	$h =$	22 мм
завужений	$a =$	17 мм
	$b =$	15 мм
	$h =$	32 мм
вузький	$a =$	12 мм
	$b =$	10 мм
	$h =$	45 мм

Рисунок 3.5 – Блок результатів розрахунку САПР ЛЖС

Для забезпечення ефективного затримання шлаку, неметалевих включень та газів у порожнині форми доцільно використовувати звужений або вузький тип шлаковловлювача. Така конструкція сприяє більш повному видаленню домішок із потоку металу і підвищує якість готового виливка.

Для забезпечення плавного та рівномірного заповнення форми, а також для полегшення відділення ливникової системи від виливка, рекомендується застосовувати вузький тип живильника. Це дозволяє оптимізувати розподіл металу у формі та знизити ймовірність утворення дефектів.

Після виконання розрахунків необхідно здійснити перевірку швидкості заповнення форми. Вона повинна задовольняти умову:

$$v_{\min} < v < v_{\max}.$$

У випадку незадовільного результату слід повторити розрахунок із відповідною корекцією початкових параметрів, щоб забезпечити оптимальні умови заповнення та спрямованого затвердіння виливка.

### 3.4. Висновки по розділу

1. Розроблена САПР ЛЖС дозволяє визначати площі перерізу елементів ЛЖС та їхні розміри на основі введених або вибраних початкових даних: типу сплаву та його густини, середньої товщини виливка, його маси, схеми підведення розплаву, властивостей форми (газотворність, газопроникність), стержнів, величини опору руху металу під час заповнення форми, типів живильника та шлаковловлювача (звичайний, звужений, вузький) та інших параметрів.

2. За допомогою розробленої САПР ЛЖС проведено розрахунок ливникової системи для виливка «Корпус насоса MFS90». Порівняно з існуючою виробничою технологією, площа перерізу елементів ЛЖС у розрахованій системі зменшилась. Таке зменшення пояснюється тим, що у виробничих умовах початково використовуються завищені фактичні дані щодо маси ливникової системи. Крім того, прийняті співвідношення між елементами ЛЖС ( $\Sigma F_{\text{ж}} : \Sigma F_{\text{ш}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1 : 1,4 : 1,5$ ) також були завищені.

3. Розроблена САПР ЛЖС дозволила встановити взаємозв'язок між площею перерізу живильника та початковими вихідними параметрами:

- підвищення температури заливки зменшує густину металу, що збільшує швидкість заповнення форми; це дозволяє збільшити тривалість заливки та зменшити площу перерізу живильника;

- зменшення газотворності формувальної суміші та підвищення газопроникності форми зменшують опір руху металу у формі, збільшують коефіцієнт опору й зменшують площу перерізу живильника;
- спрощення конструкції ЛЖС та зменшення її розгалуженості, особливо кількості змін напрямку руху металу, зменшує опір руху металу, збільшує коефіцієнт опору й зменшує площу перерізу живильника;
- збільшення середньої товщини виливка, усунення різностінності та спрощення конструкції виливка дозволяє збільшити час заливки та зменшити площу перерізу живильника.

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе науково-технічне завдання розробки технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус» з удосконаленням системи комп'ютерного проектування ливникових систем.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибране обладнання та описано роботу ливарного цеху;
- розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Корпус»;
- удосконалено систему комп'ютерного проектування ливникових систем.

Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху, а також розглянуто функціонування його основних і допоміжних відділень. Проаналізовано організацію роботи плавильного, формувальньо-заливно-вибивного, стержньового, сумішоприготувального та очисного підрозділів, а також діляниць обрубки, складів, лабораторій і приміщень технічного контролю. Для плавлення металу використано дугові печі ДСП-10, технічні характеристики яких підтверджують придатність для серійного виробництва. Виготовлення форм здійснюється на автоматичних ливарних лініях ІЛ-225, а стержнів — на стержневих автоматах 4509А. Очисні операції виконуються за допомогою галтувального барабана ОБ-90, дробеметної камери 86414 та обдирно-шліфувальних верстатів 3М634.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка та сформульовано технічні умови. Проведено розрахунок ливниково-живильної системи, описано процес проектування ливарного оснащення та технологію виготовлення форми, наведено характеристики матеріалів, параметри заливки, вибивки та обрубки виливків. Також описано методи технічного контролю якості продукції.

Розроблено систему автоматизованого проєктування ливниково-живильних систем (САПР ЛЖС), яка дозволяє визначати площі перерізу елементів ЛЖС та їхні розміри на основі введених або вибраних початкових даних: типу сплаву та його густини, середньої товщини та маси виливка, схеми підведення розплаву, властивостей форми (газотворність, газопроникність), стержнів, величини опору руху металу під час заповнення форми, типів живильника та шлаковловлювача (звичайний, звужений, вузький) та інших параметрів.

За допомогою розробленої САПР ЛЖС проведено розрахунок ливникової системи для виливка «Корпус насоса MFS90». Порівняно з існуючою виробничою технологією, площа перерізу елементів ЛЖС у розрахованій системі зменшилась. Це зумовлено завищеними фактичними даними щодо маси ливникової системи та надмірними співвідношеннями між елементами ЛЖС ( $\Sigma F_{\text{ж}} : \Sigma F_{\text{ш}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1 : 1,4 : 1,5$ ) у виробничих умовах.

Розроблена САПР ЛЖС також дозволила встановити взаємозв'язок між площею перерізу живильника та початковими вихідними параметрами, що дає змогу оптимізувати конструкцію ЛЖС та підвищити ефективність процесу лиття.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування машинобудівних заводів та цехів / За ред. В.М. Шестопада. - М.: Машинобудування, 1974. - 294 с.
2. Логінов І.З. Проектування ливарних цехів.-Мінськ: Вища шк., 1975. - 230 с.
3. Рибальченко Н.А. Проектування ливарних цехів. - Вид-во Харк. ун-ту, 1965. - 306 с.
4. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник/Б.Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. -188 с.
5. Аксьонов П.М. Обладнання ливарних цехів. - М.: Машинобудування, 1997. - 510с.
6. Основи проектування ливарних цехів та заводів/Л. І. Фанталів, Б.В. Кнорре, С. І. Четвертухін: Під. ред. Б.В. Кнорре. - М.: Машинобудування, 1979. - 375 с.
7. Сафронов В.Я. Довідник з ливарного обладнання. - М.: Машинобудування, 1985. - 319 с.
8. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. Перероб. - М.: Машинобудування, 1978. - 432 с.
9. Степанов Ю.А., Баландін Г.Ф., Рибкін В.А. Технологія ливарного виробництва. - М.: Машинобудування, 1983. - 287 с.
10. Засоби та системи автоматизації ливарного виробництва / К.С. Богдан, В.М. Горбенко, В.М. Денисенко, Ю. П. Каширін. - М.: Машинобудування, 1981. - 287 с.
11. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. - К.: ІСДО, 1993. - 552 с.
12. Ливниково-живильні системи. Конструювання та розрахунок ливникових систем. Навчальний посібник/Л.А. Большаков. - Маріуполь: ПДТУ, 2007. - 125 с.

13. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни "Технологія ливарної форми" для студентів спеціальності 0502/Упоряд. В.С. Миронов, В.І. Кудя. - Кіровоград: КИСГМ, 1985. - 88 с.
14. Москальов І.Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1993. - 368 с.
15. Гуляєв А.П. Металознавство. - М.: Машинобудування, 1984. - 545 с.
16. Рубцов М.М. Спеціальні види лиття. - М.: Машгіз, 1955. - 331 с.
17. Пупань Л.І. Постпроцеси адитивних технологій: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Л.І. Пупань. – Харків: НТУ «ХП», 2023. – 91 с.
18. Галдін М.М. Ливникові системи для виливків із легких сплавів. - М.: Машинобудування, 1978. - 195 с.
19. Лиття в кокіль / За ред. А.І. Вейника. - М.: Машинобудув., 1980. - 415 с.
20. James D. Bethune. Engineering Design and Graphics with SolidWorks 2016 // 2016, 829 p.
21. Конончук С.В. Основи 3D моделювання в ливарному виробництві: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів-ливарників спеціальностей 131 “Прикладна механіка”, 133“Галузеве машинобудування” / С.В. Конончук, О. В. Скрипник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 81 с.
22. Конончук С.В. Комп’ютерне проектування оснащення ливарного виробництва: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів-ливарників спеціальності 131 “Прикладна механіка” / С.В. Конончук, О. В. Скрипник, В.В. Пукалов. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 99 с.
23. Paul J. Schilling, Randy H. Shih. Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2022 // 2022, 610 p.
24. Дубінін М.П. Беліков О.А та ін. Кокільне лиття - Довідковий посібник. М.: Машинобудування, 1967. - 456с.
25. Баландін Г.Ф. Теорія формування виливка. М. Видавництво МДТУ ім. Н.Е. Баумана, 1998 рік. 359 с.

26. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві метали. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1971. С. 352.
27. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві метали. Промислові деформовані, спечені та ливарні алюмінієві сплави. Довідник М.: Металургія. 1972. С. 552.
28. Фрідляндер І.М. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1983. С. 560.
29. Колобнєв, І.Ф. Термічна обробка алюмінієвих сплавів/І.Ф. Колобнєв. М.: Металургія, 1966. - 394с.
30. Охорона праці: Навч. посібник для вищих навч. закладів/В. Ц. Жидецький [та ін.]; ред. Ст. Ц. Жидецький; Укр. держ. лісотехнічний ун-т, Укр. академія друкарства. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
31. Глиняна Н. М. Охорона праці в ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів 0904 “Металургія” / Н.М. Глиняна. - Краматорськ: ДДМА, 2009. - 184 с.

# ДОДАТКИ