

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

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри М та ЛВ  
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК  
(прізвище та ініціали)  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
**«Розробка технології виготовлення виливка  
«Корпус СОУ 00.105» методом лиття в піщано-глинисту форму»**

**Development of a technology for manufacturing a casting  
"SOU 00.105 Housing" by casting in a sand-clay mold**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи ПМ-22мб-1.

Ярослав Бірюк

(прізвище та ініціали)

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Керівник роботи:

викл.

Людмила МОЛОКОСТ

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Матеріалознавства та ЛВ  
\_\_\_\_\_ доц., к. т. н. Олександр КУЗИК  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ**  
**(БАКЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ**  
**ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Бірюк Ярослав Іванович**

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка «Корпус  
СОУ 00.105» методом лиття в піщано-глинисту форму»

2. Керівник роботи \_\_\_\_\_ викладач Молокост Л.А.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом вищого навчального закладу від 13.04.2026 року №167-02

3. Строк подання роботи до захисту \_\_\_\_\_ 10.06.2026 \_\_\_\_\_ року

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: Розробити технологічний процес виготовлення виливка «Корпус СОУ 00.105» методом лиття в піщано-глинисту форму»

Завдання:

Вибрати матеріал для виготовлення виливка, обгрутувати його, навести його властивості. Охарактеризувати деталь та розробити технічні умови на виливок  
Розробити технологічний процес для виготовлення виливка «Корпус». Описати технологічний процес виготовлення виливка. Розрахувати та побудувати ливникову систему.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням графічного матеріалу):  
\_\_\_\_\_ Корпус; форма в зборі, формувальна автоматична лінія.

⋮

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Процес виготовлення виливка	Молокост Л.А.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей	1.05.2026	
2	Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок	8.05.2026	
3	Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	10.05.2026	
4	Розрахунок і конструювання ливникової системи	15.05.2026	
5	Опис технологічного процесу виготовлення виливка	17.05.2026	
6	Опис процесу проектування ливарної оснастки	20.05.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	22.05.2026	
8	Оформлення презентації роботи	26.05.2026	
9	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	10.06.2026	

Дата видачі завдання «15» квітня 2026 р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Людмила МОЛОКОСТ  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Ярослав Бірюк  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 40 стор. друкованого тексту і містить 5 рис., 12 табл., 16 джерел.

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

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

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

Об'єкт розробки – процес виготовлення виливка з сірого чавуну Корпусу висівного апарату сіялки овочевої універсальної, на якому кріпляться інші деталі вузла, масою 3,500 кг методом лиття в піщано-глинисту форму.

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

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

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

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

## ABSTRACTS

The explanatory note is presented on 36 pages of printed text and contains 10 figures, 8 tables, 11 references.

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

1. analysis of the part design. This stage includes a detailed analysis of the product design, determination of its properties and quality requirements;
2. development of technical specifications. A document that contains requirements for the manufacture of a product, such as material, dimensions, technological parameters, etc;
3. development of casting manufacturing technology. This includes choosing the optimal casting method, planning the sequence of operations and selecting the necessary equipment;
4. calculation of the sprue and feeder system. To ensure proper filling of the mold, the alloy feeding system is calculated and designed;
5. mold manufacturing technology. It includes the choice of material for the mold, its manufacture, processing and surface treatment;
6. characterization of materials. A detailed analysis of the materials used to make the castings, including their properties and features, is carried out;
7. technical quality control of castings. Quality control parameters are determined, tests are performed, and product compliance is assessed.

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

The object of development is the process of manufacturing a gray cast iron casting of the universal vegetable seeder sowing unit housing, on which other parts of the assembly are mounted, weighing 3,500 kg by casting in a sand-clay mold.

The subject of development is the determination of technological parameters, preparation of a description of the production of the casting and its formation

Design results – the technology of the casting mold has been developed, and modern casting equipment has been selected.

The results of the development can be recommended for implementation in the production of medium-complexity cast iron castings in serial and mass production.

**CASTING, MOLD, FEEDER, END, FIXTURE, MODEL KIT, ROD**

## Зміст

ВСТУП .....	7
1.Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей.....	8
2.Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок.....	10
3.Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	12
3.1.Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	13
3.2.Визначення положення виливка у формі.....	21
3.3.Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів, галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків .....	23
4.Розрахунок і конструювання ливникової системи .....	25
4.1.Визначення габаритних розмірів опоки.....	26
4.2.Визначення оптимальної тривалості заливки.....	27
4.3.Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	28
5.Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	31
5.1.Вибір формувальної та стержнєвої суміші.....	32
5.2.Формовка.....	34
5.3.Збирання форм.....	35
5.4.Заливка форм.....	36
5.5.Вибивка і обрубка.....	37
6.Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	38
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	39
ЛІТЕРАТУРА .....	40

## ВСТУП

Ливарне виробництво, як основна заготівельна база машинобудування, відіграє критичну роль у виробництві машин та обладнання. Воно забезпечує виготовлення ливарних деталей, які майже у всіх машинах та приладах знаходять широке застосування [1].

Особливе значення лиття має у виробництві деталей сільськогосподарської техніки, які повинні поєднувати достатню міцність, зносостійкість, вібростійкість і економічність виготовлення. Однією з таких деталей є корпус сіялки овочевої СО-4,2, що входить до складу висівного апарата та сприймає значні механічні навантаження під час експлуатації.

Матеріалом для виготовлення даного вилівка доцільно обрати сірий чавун марки СЧ20, який має високі ливарні властивості, добру оброблюваність різанням, достатню міцність і здатність ефективно гасити вібрації. Завдяки графітовим включенням сірий чавун характеризується високою зносостійкістю та стабільністю розмірів.

Хоча основний спосіб виготовлення відливків - лиття в піщані форми - є широко використовуваним, у багатьох випадках точність та шорсткість поверхні отриманих відливків не відповідають вимогам сучасного машинобудування. Тому важливим є розвиток нових технологічних процесів, спрямованих на підвищення якості та ефективності виробництва [2].

Метою бакалаврської роботи є розроблення технології виготовлення вилівка «Корпус сіялки овочевої СО-4,2» у піщано-глинистих формах із забезпеченням необхідної якості та економічної ефективності виробництва.

Впровадження сучасних технологій та автоматизації у ливарному виробництві дозволяє підвищувати якість відливків, знижувати витрати матеріалів та енергії, підвищувати продуктивність та покращувати умови

праці. Це відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та сприяє покращенню якості та ефективності виробництва ливарних виробів.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення литого корпусу сівалки овочевої СО-4,2.

Предметом дослідження є конструктивні та технологічні параметри, що визначають якість і економічність виробництва виливка.

## **1. Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей**

Корпус СОУ 00.105 є відповідальною деталлю, яка забезпечує взаємне розташування робочих елементів механізму та сприймає статичні й динамічні навантаження, що виникають під час експлуатації машини. У процесі роботи деталь піддається вібраційним впливам, ударним навантаженням, локальному стиску в місцях кріплення та абразивному зношуванню. Крім того, корпус повинен зберігати геометричну стабільність і забезпечувати точне базування підшипникових та посадкових поверхонь.

До матеріалу виливка висуваються такі основні вимоги:

- достатня міцність і жорсткість конструкції;
- висока зносостійкість у місцях контакту з деталями механізму;
- здатність ефективно гасити вібрації;
- добра оброблюваність різанням;
- високі ливарні властивості;
- відсутність схильності до утворення гарячих тріщин;
- невисока собівартість.

З урахуванням зазначених вимог для виготовлення корпусу доцільно застосувати сірий чавун марки СЧ20 згідно з ДП «УкрНДНЦ» стандартом ДСТУ 8833:2019. За європейською класифікацією цьому матеріалу відповідає марка EN-GJL-200 згідно з European Committee for Standardization стандартом EN 1561.

Сірий чавун СЧ20 містить вуглець переважно у вигляді пластинчастого графіту, рівномірно розподіленого в металевій основі. Така структура забезпечує високу здатність матеріалу поглинати коливання, зменшувати рівень шуму та підвищувати стабільність роботи механізмів. Графітові включення також поліпшують антифрикційні властивості та знижують інтенсивність зношування.

Вибір матеріалу для вилівка важливий крок, який визначає якість та довговічність деталі. В даному випадку для виготовлення виливок Корпус НП90.4-003 використовуємо сплав СЧ 20 ДСТУ 8833:2019 [3]. Рішення про використання цього сплаву було зроблене на основі його фізичних та механічних властивостей, а також хімічного складу, які наведено в табл. 1.1, 1.2, 1.3.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву СЧ20 за ДСТУ 8833:2019

Елементи	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
В межах	3,20 - 3,60	1,40 - 2,40	0,50 - 1,00	< 0,15	< 0,20

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву СЧ20 ДСТУ 8833:2019

Сплав	Межа міцності на розрив $\sigma_r$ , МПа, не менше ніж	Відносне видовження, $\delta$ ,%	Твердість по Брінеллю, НВ, не більше ніж
СЧ 20	200 МПа	0,40 - 0,70	170 – 230 НВ

Сірий чавун СЧ20 характеризується високою рідкотекучістю, незначною об'ємною усадкою та малою схильністю до утворення внутрішніх напружень. Лінійна усадка становить близько 1,0 %, що спрощує виготовлення точних виливків у піщано-глинистих формах. Матеріал добре заповнює тонкостінні ділянки та складні конфігурації порожнин.

Наведені характеристики сірого чавуну, такі як низький опір

відриву і практично відсутнє подовження, дійсно свідчать про обмежену пластичність цього матеріалу та його схильність до руйнування під дією навантаження. Це може вплинути на його застосування у виробництві виливків, особливо у випадках, коли потрібні високі механічні властивості або велика пластичність.

До основних переваг чавуну СЧ20 належать:- добрі ливарні властивості;

- висока вібростійкість і демпфувальна здатність;
- хороша оброблюваність на металорізальних верстатах;
- достатня корозійна стійкість в атмосферних умовах;
- низька собівартість;
- широке застосування в машинобудуванні.

У залежності від умов і вимог до виробу, можуть застосовуватися різні підходи до використання сірого чавуну. Наприклад, в деяких випадках можуть використовуватися спеціальні модифікації структури чавуну, або ж можуть бути розроблені спеціальні обробки, що дозволяють підвищити його міцність та пластичність.

Отже, аналіз умов експлуатації корпусу сіялки овочевої СОУ-4,2 та властивостей конструкційних матеріалів показує, що сірий чавун СЧ20 є оптимальним вибором для виготовлення даного виливка. Він забезпечує необхідні механічні та технологічні характеристики, високу якість лиття та економічну ефективність виробництва.

## **2. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок**

Деталь «Корпус» є базовим елементом висівного механізму та призначена для розміщення і фіксації валів, втулок, підшипникових вузлів та інших деталей, що забезпечують роботу апарата висіву. Корпус сприймає статичні та динамічні навантаження, які виникають під час роботи сільськогосподарської машини, забезпечує точність взаємного розташування

складальних одиниць і захищає внутрішні елементи від механічних пошкоджень та забруднення [1, 2].

Конструктивно деталь являє собою фасонний тонкостінний корпус складної конфігурації, що включає три основні циліндричні бобишки різного діаметра, об'єднані загальною литою оболонкою. Найбільша бобишка має зовнішній діаметр 88 мм і внутрішню порожнину діаметром 65 мм. Дві інші бобишки мають зовнішні діаметри 72 та 52 мм відповідно. Усі бобишки з'єднані плавними переходами, виконаними з радіусами спряження R5–R8, що знижує концентрацію напружень та покращує умови кристалізації металу [3].

Габаритні розміри деталі становлять приблизно  $132 \times 127 \times 67$  мм. Товщина основних стінок перебуває в межах 5–8 мм, що є технологічно доцільним для лиття з сірого чавуну у піщано-глинисті форми. На корпусі передбачено три монтажні вушка з довгастими отворами для кріплення деталі до інших елементів конструкції. Крім того, на кресленні передбачені посадкові отвори та поверхні, що підлягають механічній обробці після лиття [2, 4].

Конструкція деталі є технологічною з точки зору ливарного виробництва. Вона характеризується відносно рівномірною товщиною стінок, плавними переходами між масивними та тонкостінними зонами, відсутністю різких змін перерізів і достатньою жорсткістю. Такі особливості сприяють спрямованому твердінню металу, зменшують ризик утворення усадкових дефектів і полегшують видалення вилівка з форми [3, 5]. За характером конструкції деталь належить до корпусних виливків середньої складності. Для формування внутрішніх порожнин необхідно застосувати комплект стержнів. Основні посадкові поверхні та отвори після лиття підлягають механічній обробці з метою забезпечення заданих допусків і шорсткості [1, 4]. маса вилівка без урахування ливниково-живильної системи становить 4–6 кг. Така маса відповідає середньогабаритним виливкам, які доцільно виготовляти методом машинного формування в піщано-глинистих формах у парних опоках [2, 5].

На основі аналізу конструкції розроблено такі технічні умови на вилівок:- матеріал вилівка — сірий чавун СЧ20 згідно з ДСТУ 8833:2019 [1];-

клас точності розмірів — СТ10–СТ11;- ступінь точності маси — 10–11Т-00-10; ДСТУ 8981:2020; формувальні ухили — 1–2°; ливарна усадка — 1,0 %; твердість матеріалу — 170–230 НВ; на поверхні не допускаються тріщини, раковини, газові пори та шлакові включення, що впливають на міцність або герметичність; допускаються незначні поверхневі дефекти, які усуваються під час очищення та механічної обробки; усі оброблювані поверхні повинні мати припуски відповідно до вимог чинних стандартів [3, 4].

Отже, деталь «Корпус» має достатньо технологічну конструкцію для виготовлення методом лиття в піщано-глинисті форми. Її геометрія, розміри та умови експлуатації дозволяють отримати якісний виливок із сірого чавуну СЧ20 з подальшою механічною обробкою відповідальних поверхонь [1–5].

Виливок має три отвори, поверхня яких в подальшому обробляється. Ці отвори отримуємо за допомогою стержнів. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 м

### **3.Розробка технологічного процесу виготовлення відливка**

Розроблення технологічного процесу виготовлення виливка Корпус сіялки овочевої СО-4,2 передбачає вибір способу формування, технологічного обладнання, визначення оптимального положення виливка у формі, призначення припусків на механічну обробку, урахування ливарної усадки, а також проектування стержневої системи. Правильно обрані технологічні параметри забезпечують одержання бездефектного виливка з необхідною точністю розмірів і мінімальними витратами матеріалів та трудових ресурсів [2–5].

Для виготовлення даної деталі приймається серійний тип виробництва, що є характерним для деталей сільськогосподарської техніки. За таких умов доцільно застосовувати машинне формування в парних опоках із використанням дерев'яних або металевих моделей, закріплених на модельних

плитах. Цей спосіб забезпечує стабільність розмірів, високу продуктивність праці та зниження трудомісткості виготовлення форм [3, 4].

Виливок виготовляється із сірого чавуну СЧ20, який характеризується високою рідкотекучістю та низькою схильністю до утворення внутрішніх напружень. Завдяки цьому матеріал добре заповнює порожнину форми, що особливо важливо для деталей зі складною конфігурацією та порівняно тонкими стінками [1, 5].

Таким чином, розроблений технологічний процес передбачає використання машинного формування в піщано-глинистих формах, застосування комплексу стержнів, горизонтального розташування виливка у формі та розрахованої ливникової системи. Прийняті технологічні рішення забезпечують виготовлення якісного виливка з необхідними експлуатаційними характеристиками та економічною ефективністю виробництва [1–5].

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

Вибір технологічного обладнання для виготовлення ливарних форм і стержнів визначається конструктивними особливостями деталі, масою виливка, типом виробництва та вимогами до точності розмірів. Виливок «Корпус» має порівняно невеликі габаритні розміри (132×127 × 67 мм), складну конфігурацію та внутрішні порожнини, що формуються стержнями. За орієнтовної маси 4–6 кг і серійного типу виробництва найбільш доцільним є застосування машинного формування, яке забезпечує стабільну якість форм і високу продуктивність праці [2–5].

Для виготовлення виливка доцільним є використання індукційної тигельної печі, яка забезпечує точне регулювання температури та хімічного складу металу, низькі втрати легувальних елементів і високу екологічність процесу [1, 3].

Для плавки сплаву марки СЧ 20 обираємо тигельну індукційну піч промислової частоти марки ІЧТ-10/2,5 [5], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ІЧТ-10/2,5.

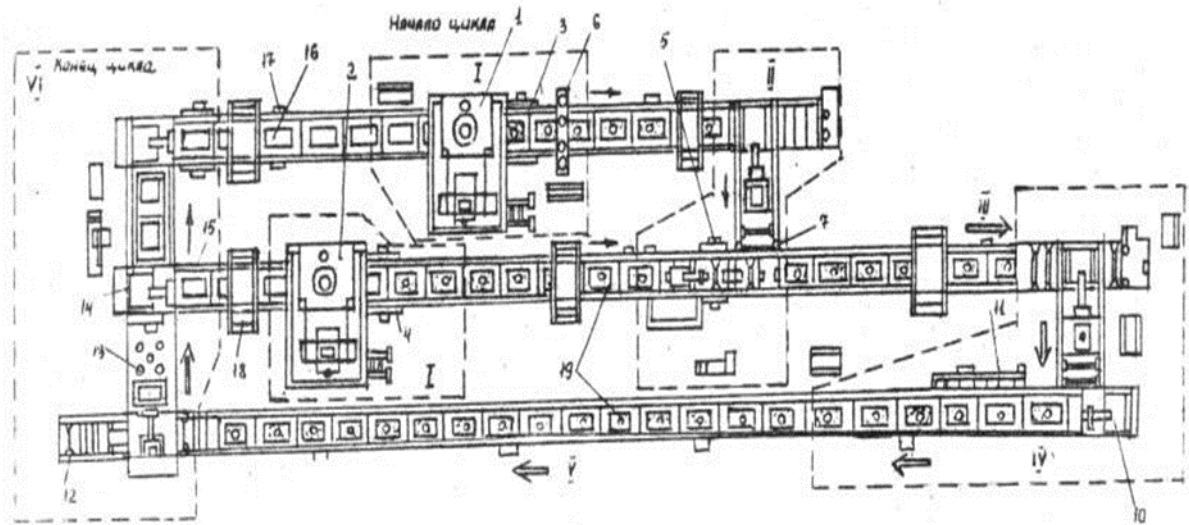
Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Витрати палива	кВт год/т	650
Потужність	кВт	2500
Температура металу при випуску із печі	°С	1400...1550
Продуктивність плавки	т/год	3,10
Угар і безповоротні втрати	%	2...4

При заливанні металу у форми обов'язково врахуються втрати температури, яка важлива при випуску чавуну з плавильної печі (20 - 40 °С), а при переливі з ковша в ківш – (від 30 - 50°С), то ці значення слід враховувати при встановленні температури заливки форми. Врахування цих втрат температури є важливим кроком для забезпечення якості виготовлення виливків і попередження можливих дефектів. Рекомендована температура заливки сірого чавуну з врахуванням втрат тепла складає від 1460 до 1340 °С.

Для виготовлення вилівка «Корпус» приймаємо серійний тип виробництва з одночасним розміщенням шести виливків у формі. За таких умов найбільш доцільним є застосування автоматизованої формувальної лінії, яка забезпечує високу продуктивність, стабільну якість ущільнення формувальної суміші та зниження трудомісткості процесу [2–5].

Для виготовлення даного вилівка застосовуємо автоматичну ливарну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" [6], призначену для машинного формування в парних опоках.

Лінія використовується при виробництві чавунних виливків середніх розмірів та забезпечує повну механізацію основних операцій формування [3, 4]. На рис. 3.1 наведено загальний вид автоматичної лінії ІЛ 225, а технічна характеристика в табл. 3.2.



Дільниці: I – формовки; II і III – складання форм; IV – заливки;

V – охолодження; VI – вибивки:

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

Рисунок 3.1 – Загальний вид комплексної автоматичної лінії ІЛ 225

На даній лінії автоматизовано процес виготовлення виливків від формовки до вибивки готової форми і дозволяє значно підвищити продуктивність та якість виробництва. Конфігурація та розміри виливка визначають висоту верхньої та нижньої опоки (складає 125 мм).

Розміри опоки в світлі 900 × 600 мм створюють достатньо простору для виготовлення великих деталей або кількох менших деталей одночасно. Технічна характеристика автоматичної лінії ІЛ 225 наведено у табл.3.2.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика автоматичної лінії ІЛ 225

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розміри опок: висота × довжина × ширина	мм	125 × 900 × 600
Циклова продуктивність	форм/год	240
Максимальне зусилля пресування	кН	2350
Тиск пресування	МПа	4...6
Найбільша металоємність форми	кг	70
Швидкість руху опок по роликовим конвеєрам	м/хв	4...6,75
Час охолодження	хв	30...90
Кількість комплектів опок	шт	100
Кількість підопічних плит	шт	90
Витрати стисненого повітря	м <sup>3</sup> /хв	110
Максимально встановлена потужність	кВт	115
Витрати формівної суміші	м <sup>3</sup> /хв	70...110
Число операторів	чол	5
Габаритні розміри лінії	мм	65200 × 9300 × 6855
Заглиблення лінії	мм	755
Загальна маса лінії	кг	220000

Процес формовки на лінії включає кілька етапів:

1. виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М. На цьому етапі використовується формувальний прес для створення напівформ низу і верху з формувальної суміші;
2. обдув напівформ стисненим повітрям. Напівформи направляються на ділянку обдуву, де за допомогою стисненого повітря відбувається видалення частинок формувальної суміші з порожнини форми;
3. збирання форм. Готові стержні з ділянки виготовлення

транспортуються до місця збирання форм, де вони проставляються вручну у напівформу низу. Після цього напівформа верха з'єднується з напівформою низу;

4. транспортування до ділянки заливки. Зібрана форма направляється по рольгангам на ділянку заливки, де проводиться наступний етап процесу;
5. заливка форми автоматичним зливником. Заливка форми виконується за допомогою автоматичного зливника з ковшем, ємність якого 250 кг. Перед заливанням металу чавун повинен бути очищений від шлаку для забезпечення якісного вилівка [5].

Для формування трьох основних стержнів доцільно використовувати піскодувну стержневу машину, наприклад модель 4747. Машина забезпечує заповнення стержневого ящика піщано-смоляною сумішшю під тиском стисненого повітря, що гарантує високу точність та стабільність розмірів стержнів [4]. Стержнева машина призначена для автоматизованого виготовлення піщаних ливарних стержнів із піщано-смоляних сумішей пескодувним способом. Найчастіше застосовується для високоефективного виробництва стержнів, що твердіють у «холодних ящиках» (технологія Cold-Box Process із продувкою газоподібними каталізаторами або процесу на кшталт Епокси-SO<sub>2</sub>).

Для приготування формувальної суміші використовуємо змішуючі бігуни турбінного типу моделі SAM 22 DISA Industries A/S [9].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика змішуючих бігунів турбінного типу моделі SAM 22 DISA Industries A/S

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Маса замісу	кг	6000
Тривалість циклу	хв	4...6
Продуктивність	т/год	180...216
Габаритні розміри в плані	мм	Ø 2850
Потужність	кВт	135

Для ущільнення формувальної суміші приймається пневматична формувальна машина струшувально-пресової дії. Такі машини широко використовуються у серійному виробництві чавунних вилівок середніх

розмірів, оскільки поєднують високу щільність форми з рівномірним розподілом твердості по всьому об'єму опоки. Струшування забезпечує ущільнення суміші у важкодоступних місцях, а наступне пресування формує рівну та міцну поверхню розліму [3, 4].

Для виготовлення стержнів застосовується стержневий ящик різномірної конструкції. Формування стержнів може виконуватися вручну або на стержневій машині залежно від обсягу випуску. З огляду на відносно невеликі розміри стержнів та серійний характер виробництва доцільно використовувати піскодувну машину, яка забезпечує точне відтворення геометрії та високу продуктивність [2, 5].

Сушіння стержнів виконується у камерній сушильній шафі за температури 200–250°C. Термічне зміцнення стержнів підвищує їхню міцність, зменшує газоутворення та забезпечує стабільність розмірів під час заливання форми рідким металом [4].

Транспортування форм, стержнів і рідкого металу здійснюється за допомогою мостового крана або підвісних вантажопідіймальних механізмів. Для очищення виливків після вибивки застосовують дробеметні установки або пневматичний інструмент для обрубки та зачистки [2, 4].

Для даної деталі доцільно використовувати опоки стандартного типорозміру орієнтовно  $600 \times 900 \times 200/200$  мм, що забезпечують достатній запас простору для розміщення моделі, ливникової системи та шару формувальної суміші навколо виливка [3].

Отже, для виготовлення виливка приймаємо комплекс обладнання, який включає струшувально-пресову формувальну машину, піскодувну стержневу машину, сушильну шафу, індукційну тигельну піч, стандартні парні опоки та обладнання для очищення виливків. Використання зазначеного обладнання забезпечує високу продуктивність, стабільну якість форм і отримання бездефектних чавунних виливків у серійному виробництві [1–5].

Таблиця 3.3 - Технічна характеристика піскодувної стержневої машини моделі 4747

Основні технічні характеристики	Значення
Максимальна маса стержня	80 – 90 кг (залежно від модифікації комплексу)
Продуктивність	30 – 35 знімань (циклів) за годину
Тип розніму стержневого ящика	Горизонтальний
Максимальні розміри напівформ стержневого ящика	1120 × 850 × 385 мм або 960 × 850 × 440 мм
Встановлена електрична потужність	19 кВт (для базової машини) / до 27,5 кВт (для комплексу КТ)
Габаритні розміри машини/комплексу	7800 × 6185 × 7780 мм
Загальна маса обладнання	близько 23 000 кг

Після заливки форми відливки охолоджуються і твердіють під час пересування по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. Протягом цього періоду у відливках закінчуються всі перетворення. Вибивка чавунних відливок відбувається при температурі 200 °С.

Після охолодження форми направляються на ділянку вибивки. Опки автоматично зіштовхуються з плити ливарного конвеєра штовхачем, і форма видавлюється пресом на вібраційну решітку. Тут руйнуються спресовані грудки суміші. Після цього суміш поступає по лотку на транспортер.

Виливки потрапляють в галтувальний барабан моделі SB2005G для остаточного відділення від суміші, технічна характеристика якого наведена в табл. 3.4.

Після цього виливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються у очисне відділення для фінішного очищення, обрубки і обробки.

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика галтувального барабана моделі SB2005G

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	4...5
Найбільша маса очищаємих виливків	кг	50
Габаритні розміри	мм	7200 × 3500
Маса	кг	9500
Потужність електродвигуна	кВт	51

Після цього виливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються у очисне відділення для фінішного очищення, обрубки і обробки.

Для остаточної очистки виливок застосовується дробометна камера моделі 42723, технічна характеристика якої наведено в табл. 3.5 [8].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометної камери моделі 42723

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність камери, т/год	т/год	12,3
Вантажопідємність підвіски	кг	315
Дробометний апарат: Число обертів діаметр дробу	об/хв мм	2500 1,5...2,0
Кількість дробометних барабанів	шт	8
Розмір оброблюваних виливків: висота × довжина	мм	800 × 1400
Продуктивність одного апарата за дробом	кг/хв	250
Кількість відсмоктуваного повітря	м <sup>3</sup> /год	43000
Встановлена потужність	кВт	220
Габаритні розміри: довжина × ширина × висота	мм	11000 × 6000 × 7300
Маса	кг	94000

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів, нерівностей поверхонь і здійснюється на стаціонарних

зачисних верстатах моделі 4851, технічну характеристику яких наведено в табл. 3.6 [9].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика зачисного верстата моделі 4851

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Зернистість		80...125
Продуктивність	т/год	0,25...0,30
Маса зачищаємих виливків	кг	до 100
Діаметр абразивного круга	мм	600
Габаритні розміри	мм	5500 × 3870

Контроль якості відливків проводиться зовнішнім оглядом БТК цеху, що дозволяє виявити будь-які дефекти або недоліки. Після виявлення недоліків проводиться виправлення, після чого знову здійснюється контроль якості БТК цеху. Контроль розмірів здійснюють за допомогою універсального вимірювального інструменту: штангенциркулів, нутромірів, мікрометрів та калібрів. За необхідності відповідальні поверхні додатково перевіряють шаблонами або спеціальними контрольними пристроями. Виливки, що відповідають технічним умовам, маркують і передають на склад або безпосередньо на механічну обробку [3, 4].

Для контролю твердості матеріалу застосовують твердомір за методом Брінелля, наприклад ТШ-2М. Прилад дозволяє визначити твердість чавуну в межах, установлених технічними умовами, тобто 170–230НВ. За потреби проводять вибірковий металографічний контроль структури та неруйнівний контроль поверхневих дефектів [1, 5].

Після приймального контролю придатні виливки консервують (за необхідності), укладають у транспортну тару та направляють у механічний цех для подальшої обробки посадкових поверхонь і отворів. Браковані виливки відокремлюють, аналізують причини виникнення дефектів і повертають у шихту як металевий зворот [2–4].

Таким чином, технологічний маршрут після заливання включає охолодження форм, вибивку на вібраційній решітці, відділення ливникової системи на абразивно-відрізній машині 8Б240, дробеметне очищення в

установці 42214, остаточне галтування в барабані SB2005G, технічний контроль і передачу придатних виливків на механічну обробку або склад готової продукції [3–5].

Після проходження технічного контролю придатні виливки направляються на ділянку антикорозійного захисту. Для запобігання атмосферній корозії під час транспортування та зберігання поверхню виливків покривають антикорозійною ґрунтовкою ГФ-021. Нанесення здійснюють методом пневматичного розпилення тонким рівномірним шаром. Після висихання ґрунтового покриття виливки маркують, пакують і передають на склад готової продукції або в механічний цех [3–5]. Якщо за технологічним маршрутом виливки одразу надходять на механічну обробку, ґрунтування можна виконувати після механічної обробки або безпосередньо перед остаточним фарбуванням готового виробу.

Для захисту від корозії та збереження виливок на складі, а також для підготовки до механічної обробки, застосовується ґрунтовка.

Після завершення процесу фарбування відливки направляються на склад готових виробів, де вони зберігаються до подальшого використання або відвантаження.

### **3.2. Визначення положення виливка у формі**

Одним із найважливіших етапів розроблення технології лиття є вибір раціонального положення виливка у формі. Від правильності прийнятого рішення залежать умови заповнення форми рідким металом, спрямованість твердіння, ефективність живлення масивних вузлів, можливість видалення газів, точність розмірів і загальна якість готового виливка [2–5].

Під час вибору положення виливка враховують такі основні вимоги: забезпечення мінімальної кількості стержнів; розташування відповідальних поверхонь переважно в нижній півформі; створення умов для спокійного та рівномірного заповнення форми; забезпечення спрямованого твердіння від тонких перерізів до більш масивних; можливість ефективного відведення газів;

спрощення конструкції модельного комплексу та ливникової системи; меншення ймовірності утворення усадкових і газових дефектів [3, 4].

Для деталі «Корпус» найбільш раціональним є горизонтальне розташування по найбільшій площині рознімання. При цьому основна частина корпусу та більшість циліндричних бобишок розміщуються в нижній півформі, а рознім проходить через площину, яка забезпечує найменшу кількість підрізів і спрощує виймання моделі.

Таке положення має низку технологічних переваг. По-перше, значна частина зовнішнього контуру формується без застосування складних елементів оснастки. По-друге, забезпечується стійке розташування стержнів у стержневих знаках та зменшується ймовірність їх зміщення під дією металостатичного тиску. По-третє, верхні точки порожнини форми можуть бути обладнані випорами для видалення повітря та газів [2, 5].

Горизонтальне розміщення також створює сприятливі умови для нижнього підведення металу через ливникову систему. Рідкий метал надходить до форми плавно, без значного турбулентного перемішування, що зменшує ризик утворення оксидних плівок та неметалевих включень. Заповнення відбувається від нижніх ділянок до верхніх, забезпечуючи поступове витіснення газів [3].

Масивні бобишки корпусу розташовуються у верхній частині порожнини форми, що створює умови для їх природного живлення за рахунок теплового центру та, за необхідності, додаткових прибутків. Такий підхід сприяє зменшенню усадкової пористості та забезпечує щільну структуру металу в найбільш відповідальних зонах [4].

У межах однієї форми передбачено одночасне виготовлення шести виливків, розташованих у два ряди по три штуки. Усі моделі орієнтовані однаково, що спрощує конструкцію модельної плити та забезпечує симетричне підведення металу до кожної порожнини. Єдина ливникова система з центральним стояком забезпечує рівномірне заповнення всіх шести формотворних порожнин.

Отже, для виготовлення виливка «Корпус сіялки овочевої СО-4,2» прийнято горизонтальне положення у формі з рознімом по найбільшій площині деталі. Таке розташування забезпечує технологічність формування, стійке встановлення стержнів, сприятливі умови для заповнення та твердіння металу, а також високу якість готових виливків [1–5].

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

Після визначення положення виливка у формі та вибору способу формування призначають технологічні параметри, які забезпечують отримання виливка з необхідною точністю та якістю поверхні. До таких параметрів належать припуски на механічну обробку, ливарна усадка, формувальні ухили, радіуси галтелей, а також розміри стержнів і стержневих знаків [2–5].

Припуск на механічну обробку приймаємо відповідно до вимог ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення вибираємо згідно [10].

Припуски призначають на поверхні, які після лиття підлягають механічній обробці. Для виливків із сірого чавуну СЧ20, виготовлених у піщано-глинистих формах машинним способом, за найбільшого габаритного розміру до 150 мм і класу точності СТ10–СТ11, рекомендований припуск становить 2,5–3,0 мм на сторону [3, 4].

Приймаємо такі значення припусків: на отвори та посадкові поверхні — 3 мм на сторону; на привалочні площини — 2,5–3 мм; на допоміжні поверхні, що підлягають чистовій обробці, — 2 мм.

Для забезпечення легкого виймання моделі з форми призначаємо формувальні ухили: на зовнішніх вертикальних поверхнях —  $1^\circ$ ; на внутрішніх поверхнях і стержневих знаках —  $1,5\text{--}2^\circ$  [4].

У місцях переходу між стінками передбачаємо плавні заокруглення, які зменшують концентрацію напружень і покращують умови заповнення форми. Для даного виливка приймаємо мінімальний радіус галтелі — 3 мм; основні

радіуси — 5–8 мм; великі конструктивні радіуси — згідно з кресленням (R50; R75,5; R77,5).

Для формування внутрішніх порожнин передбачено три окремі стержні:

1. стержень №1 —  $\text{Ø}65 \times 55$  мм;
2. стержень №2 —  $\text{Ø}65 \times 29,5$  мм;
3. стержень №3 —  $\text{Ø}46 \times 27$  мм.

Зовнішні розміри стержнів визначаються з урахуванням припусків і технологічних допусків [2].

Для надійного базування стержнів приймаю такі розміри стержневих знаків: для стержнів  $\text{Ø}65$  мм — діаметр знака  $\text{Ø}40$  мм, довжина 20 мм; для стержня  $\text{Ø}46$  мм — діаметр знака  $\text{Ø}29$  мм, довжина 20 мм.

Стержневі знаки виконуються з формувальним ухилом  $1,5\text{--}2^\circ$  для полегшення виймання моделі та встановлення стержнів [3, 5]. Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах  $1/5 \dots 1/3$  середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для виливка Корпус НП90.4-003 не вказані радіуси складають 3...4 мм.

Формувальні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів виливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. Величина ухилу складає  $1^\circ 30'$ .

Розміри стержневих знаків вибираємо у відповідності з вибираємо у відповідності з наказом від 28.12.2022 № 285 "Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC" [12]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру, знаки стержня 1 - довжиною 40 мм, та для стержня 2 - довжина нижнього знаку - 35 мм, та верхнього 15 мм.

Величини ухилів знакових частин приймаємо відповідно до [12] і складають при висоті знаку від 144 мм –  $2^\circ$ . Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня. Для

знаку стержня Ст. 1 ( $D = 42$  мм): бокові зазори рівні 0,25 мм, торцевий - 0,15 мм. Для знака стержня Ст. 2 ( $D = 24$  мм): бокові зазори рівні 0,15 мм, торцевий - 0,25 мм.

Призначені припуски на механічну обробку, ливарна усадка, формувальні ухили, радіуси галтелей та розміри стержнів і стержневих знаків забезпечують отримання виливка «Корпус» з необхідною точністю, високою якістю поверхні та мінімальною трудомісткістю подальшої механічної обробки [1–5].

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

Ливникова система призначена для подавання рідкого металу в порожнину форми з необхідною швидкістю, забезпечення спокійного заповнення форми, затримання шлакових включень та створення умов для спрямованого твердіння виливка [2–5]. Правильно спроектована ливникова система визначає якість виливків, зменшує ймовірність утворення недоливів, газових пор і неметалевих включень, а також сприяє підвищенню виходу придатного литва.

Для виготовлення виливка «Корпус сіялки овочевої СО-4,2» із сірого чавуну СЧ20 застосовується нижня ливникова система з центральним стояком. В одній формі одночасно відливаються шість виливків, розташованих у два ряди по три штуки. Метал із заливальної чаші надходить у стояк, далі — у шлаковловлювач, а потім через підвідні канали рівномірно розподіляється до всіх формотворних порожнин.

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

Габаритні розміри опоки визначаються з урахуванням кількості виливків, їх взаємного розташування, конфігурації ливникової системи та необхідних технологічних відстаней від моделей до стінок опоки. Для підвищення продуктивності в одній формі передбачено одночасне виготовлення шести виливків «Корпус сіялки овочевої СО-4,2», розташованих

у два ряди по три штуки, що повністю відповідає прийнятій схемі компонування на модельній плиті [2–5].

Як видно зі схеми розташування, моделі встановлені симетрично відносно центрального вертикального стояка та горизонтального шлаковловлювача. Така компоновка забезпечує однакову довжину підвідних каналів до кожного виливка та сприяє рівномірному заповненню всіх порожнин форми. Відстань між сусідніми моделями становить приблизно 60–70 мм, що достатньо для розміщення підвідних каналів і забезпечення міцності форми. Відстань від крайніх моделей до внутрішніх стінок опоки прийнята в межах 40–50 мм, що відповідає рекомендаціям для чавунних виливків середньої маси [3, 4].

Найбільший габарит однієї модельної позиції з урахуванням припусків, стержневих знаків та технологічних зазорів становить близько  $170 \times 160$  мм. За розміщення трьох моделей у ряд необхідна ширина робочої зони становить приблизно 590 мм, а для двох рядів із центральним шлаковловлювачем і ливниковими каналами — близько 850–900 мм по довжині. Таким чином, для розміщення шести виливків і всіх елементів ливникової системи доцільно застосувати стандартну парну опоку розміром **600 × 900 мм** [2, 5].

Висоту опок визначають за максимальною висотою моделі, розмірами стержневих знаків, висотою заливальної чаші та необхідною товщиною шару формувальної суміші над і під моделлю. Висота деталі становить 67 мм, а з урахуванням технологічних виступів і знаків — близько 90–100 мм. Для забезпечення достатньої міцності форми приймається товщина шару суміші не менше 80–100 мм. На цій підставі висоту нижньої та верхньої опок приймають по 200 мм [3].

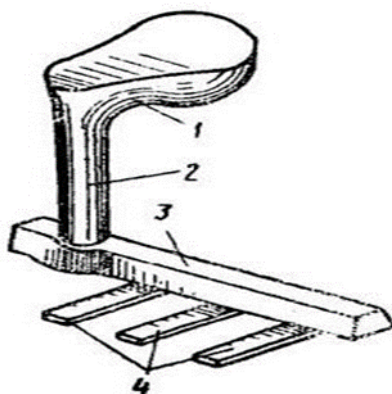
Отже, для виготовлення шести виливків прийнято стандартну парну опоку розміром  $600 \times 900 \times 200/200$  мм. Обрані розміри забезпечують раціональне розміщення моделей, ливникової системи та достатню товщину формувальної суміші, що гарантує міцність форми та високу якість виливків [1–5].

## 4.2. Визначення оптимальної тривалості заливки

Ливниково-живильна система служить для забезпечення заповнення ливарної форми металом з оптимальною швидкістю, що виключає утворення у відливку недоливів і неметалічних включень, і об'ємної усадки в період затвердіння відливка [13].

Ливникова система - це поєднання каналів, які служать для заливки розплаву в форму і для затримання шлаку.

На рис. 4.1 показана найчастіше вживана при виробництві виливків з сірого чавуну ливниково-живильна система:



1- чаша, 2 - стояк, 3 - шлаковловлювач, 4 – живильники

Рисунок 4.1 - Горизонтальна ливникова система

Знаходимо масу металу, необхідного для заливання форми:

$$G_{\text{металу}} = 6G + (0,3G)6, \quad (4.1)$$

де  $G$  - маса відливка,  $G = 9975$  г.

$$G_{\text{металу}} = 6 \cdot 9975 + (0,3 \cdot 9975) \cdot 6 = 77805 \text{ г} = 78 \text{ кг}$$

Час заливки форми:

$$\tau = S \cdot \sqrt[3]{Q \cdot \delta} \quad (4.2)$$

де  $\tau$  - час заливання форми, сек.;

$S$  - коефіцієнт, який залежить від марки сплаву, товщини перерізу стінки та конфігурації виливка (для сплавів: чавунних  $s = 1,7...2,0$ ) [13];

$Q$  - маса металу, яка проходить крізь живильники, кг;

$\delta$  - переважаюча товщина перерізу стінок виливка

$$\tau = 1.8 \cdot \sqrt[3]{78 \cdot 40} = 26,3 \approx 26 \text{ с.}$$

#### 4.2. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Сумарна площа живильників:

$$\sum F_{\text{Ж}} = \frac{G_{\text{мет}}}{\rho \cdot t \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g H_p}}, \quad (4.3)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт витрати. Приймаємо  $\mu = 0,42$  [13];

$g$  - прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$H_p$  - розрахунковий статичний напір, м.

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

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

де  $H_0$  - висота металу в чаші,  $H = 125$  мм;

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

$c$  - загальна висота відливка,  $c = 67$  мм.

$$H_p = 125 - \frac{30^2}{67} = 112 \approx 112 \text{ мм.} = 0,112 \text{ м}$$

$$\sum F_{\text{Ж}} = \frac{78}{7100 \cdot 26 \cdot 0,45 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,112}} = 0,000573 = 5,7 \text{ см}^2$$

Тоді знайдемо

$$F_{\text{Ж1}} = \frac{\sum F_{\text{Ж}}}{n}, \quad (4.5)$$

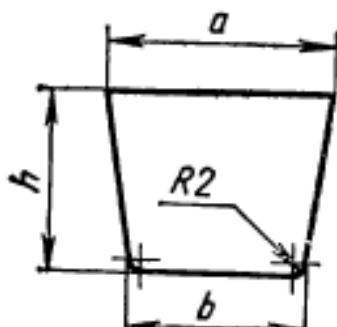
де  $n$  - кількість живильників,  $n = 12$  шт.

$$F_{\text{Ж1}} = \frac{5,7}{12} = 0,534 \text{ см}^2$$

$$a = 8 \text{ мм}$$

$$b = 5$$

$$h = 8 \text{ мм}$$



За знайденою величиною знаходимо площу шлаковловлювача за співвідношення [13]

$$\sum F_{\text{ж}} : \sum F_{\text{шл.}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,5, \quad (4.6)$$

Знаючи площу живильника ми визначаємо площі шлаковловлювачів

$$\sum F_{\text{шл}} = \sum F_{\text{ж}} \cdot 1,1, \quad (4.7)$$

$$\sum F_{\text{шл}} = 6 \cdot 1,1 = 6,6 \text{ см}^2$$

$$\text{Приймаємо } \sum F_{\text{шл}} = 6,6 \text{ см}^2$$

$$F_{\text{шл1}} = \sum F_{\text{шл}} / 2, \quad (4.8)$$

$$F_{\text{шл1}} = \frac{\sum F_{\text{шл}}}{2} = \frac{6,6}{2} = 3,3 \text{ см}^2$$

$$\text{Приймаємо } F_{\text{шл1}} = 3,3 \text{ см}^2.$$

В зв'язку з технологічною необхідністю приймаємо переріз шлаковловлювача площею  $3,32 \text{ см}^2$ , з розмірами (рис. 4.4):

Із довідника підбираємо розміри шлаковловлювача

Рисунок 4.4 - Переріз шлаковловлювача

Сумарна площа стояка

$$\sum F_{\text{ст}} = \sum F_{\text{ж}} \cdot 1,5, \quad (4.9)$$

$$\sum F_{\text{ст}} = 6 \cdot 1,5 = 9,0 \text{ см}^2$$

Приймаємо один стояк площею  $9,0 \text{ см}^2$  то діаметр визначимо з формулою:

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст}}}{\pi}}, \quad (4.10)$$

де  $F$  – це площа стояка,  $\text{см}^2$ ;

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,0}{3,14}} \approx \sqrt{\frac{32}{3,14}} \approx 2,95 \text{ см}$$

Прийmemo  $d_{\text{ст}} = 30 \text{ мм}$

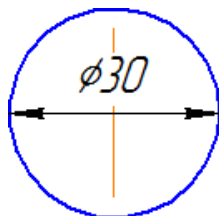


Рисунок 4.2 - Переріз стояка

Розрахунок ливникової воронки:

$$D_{\text{в}} = (2,7 \dots 3) D_{\text{ст}} \quad (4.11)$$

$$D_{\text{в}} = 2,7 \cdot 30 = 81 \text{ мм}$$

На рис. 4.3 показано переріз воронки.

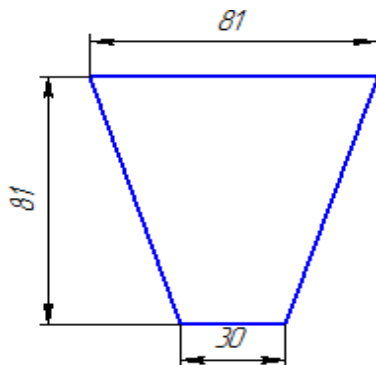


Рисунок 4.3 - Переріз воронки

## 5.Опис технологічного процесу виготовлення виливка

Технологічний процес виготовлення виливка «Корпус» у піщано-глинистих формах охоплює комплекс взаємопов'язаних операцій, починаючи з підготовки формувальних і стержньових сумішей та закінчуючи очищенням, контролем якості й антикорозійним захистом готових виливків. Метою процесу є отримання шести якісних чавунних виливків у кожній формі з мінімальними витратами матеріалів, енергії та трудових ресурсів [2–5].

Виготовлення форм здійснюється на автоматичній формувальній лінії ІЛ225 у парних опоках розміром  $600 \times 900 \times 200/200$  мм. На модельній плиті розташовано шість моделей корпусу, що дозволяє істотно підвищити продуктивність і знизити питомі витрати металу на ливниково-живильну систему. Формувальна суміш ущільнюється методом струшування з подальшим пресуванням, що забезпечує високу та рівномірну щільність форми [3, 4].

Внутрішні порожнини виливка утворюються трьома окремими стержнями, виготовленими на піскодувній машині 4747. Після формування стержні сушать у камерній шафі типу СНОЛ за температури  $200\text{--}250$  °С, очищують від задирок і покривають протипригарною фарбою для зменшення шорсткості поверхні та поліпшення якості внутрішніх поверхонь виливка [4].

Після виготовлення напівформ у нижню півформу встановлюють стержні, а потім виконують складання форми. Півформи центрують за допомогою напрямних штифтів, закривають і скріплюють замками або скобами. Готові форми транспортують на заливальну ділянку, де їх заповнюють рідким чавуном СЧ20 температурою  $1380\text{--}1420$  °С [1, 3].

Після заливання форми витримують до повного затвердіння та охолодження металу. Далі форми надходять на вибивку на вібраційній решітці,

де відпрацьована формувальна суміш відокремлюється від виливків і направляється на регенерацію [3].

Ливникову систему видаляють на абразивно-відрізній машині 8Б240. Поверхню виливків очищують у дробеметній установці 42214, після чого виконують остаточне галтування в барабані 32314. Очищені виливки проходять технічний контроль, перевірку твердості та геометричних розмірів [2, 4].

Придатні виливки покривають антикорозійною грунтовкою маркують і передають на склад готової продукції або в механічний цех для подальшої обробки. Виявлений брак повертають у шихту як металевий зворот [4, 5].

Таким чином, розроблений технологічний процес забезпечує серійне виготовлення шести виливків за один цикл формування, високу продуктивність автоматизованої лінії, стабільну якість литва та економічну ефективність виробництва [1–5].

### **5.1 Вибір формувальної та стержневої суміші**

Якість виливків значною мірою визначається властивостями формувальних і стержневих сумішей. Вони повинні забезпечувати достатню міцність форми та стержнів, високу газопроникність, піддатливість, термостійкість і легкість вибивки після затвердіння металу [2–5]. Для виготовлення виливка, який відливають у піщано-глинисті форми на автоматичній формувальній лінії ІІ225, доцільно використовувати вологі кварцово-глинисті суміші для форм та піщано-смоляні суміші для стержнів.

Для машинного формування чавунних виливків середніх розмірів застосовується єдина формувальна суміш на основі кварцового піску, бентонітової глини, кам'яновугільного пилу та води. Така суміш забезпечує достатню міцність, пластичність і протипригарні властивості [3, 4].

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формувальну суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості стержневої та формувальної суміші приведені у табл. 5.1, 5.2.

Таблиця 5.1 - Склад і фізико-механічні властивості єдиної формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Одиниці	Числове значення
Оборотна суміш	%	96
Пісок кварцовий K02, K016	%	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	одиниць	80

Для виготовлення стержнів використовується піщано-смоляна суміш, яка забезпечує високу міцність після термічного твердіння та легке руйнування після охолодження виливка [3].

Таблиця 5.2 - Склад стержневої суміші і її фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Одиниці	Числове значення
Пісок кварцовий	%	95,24
Смола СФ	%	3,54
Каталізатори МІ	%	0,7
Гас	%	0,52
Газопроникність	одиниць	80

Міцність на стиснення у сирому стані	МПа	0,005 - 0,01
Вологість	%	1,8 - 2,8

## 5.2. Формовка

Ливарні форми для відливка Корпус НП90.4-003 одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції - ущільнення, видалення моделі з форми. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким шляхом:

1. формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною;
2. порожні опоки подаються за допомогою рольгангів;
3. нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах;
4. потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера;
5. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми;
6. Потім напівформи транспортують на збирання.

## 5.3.Збирання форм

Точність збирання форми дійсно має велике значення для забезпечення високої якості геометричних розмірів відливка. Операції збирання форми включають в себе наступні етапи:

1. збирання форм. Це процес поєднання верхньої та нижньої половин форми для створення повної форми. Цей процес вимагає точного вирівнювання та кріплення обох половин форми, щоб уникнути деформацій або відхилень у геометричних розмірах виливка;
2. спарювання верхньої та нижньої опок. Після збирання форми верхня та нижня опоки повинні бути спаровані між собою. Це означає, що їх поверхні повинні бути вирівняні та точно прилягати одна до одної без зазорів або перекосів. Спарювання допомагає уникнути витікання розплавленого металу під час заливки та забезпечує однорідність стінок

виливка.

Точність збирання форми та спарювання опок допомагає забезпечити однорідність та точність геометричних розмірів вилівка, що є критичним для його подальшого використання.

#### **5.4.Заливання форм**

Заливання металу у форми - це процес, який вимагає точності та координації для забезпечення потрапляння рідкого металу в ливарні форми. основними складовими процесу заливання форм є:

1. підготовка ковша для заливки. Перед заливкою важливо видалити шлак та інші домішки з розливного ковша, щоб уникнути забруднення відливка;
2. заливка металу. Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Метал потрібно швидко та рівномірно заливати в ливникову чашу. Це допомагає уникнути утворення порожнин та нерівномірностей у виготовленому виробі;
3. контроль за заливкою: Важливо виконувати заливку безперервно та контролювати рівень металу у ливниковій чаші;
4. утилізація залишків металу: Після заливки важливо забезпечити правильне відведення залишків металу у спеціальні форми, щоб уникнути їх непотрібного накопичення.

#### **5.5. Вибивання і обрубка**

Процеси вибивки ливарних форм і обрубки ливникової системи є комплексними і містять декілька етапів виробництва вилівоків, а саме:

1. вибивка ливарних форм. Охолоджені форми по конвеєру подаються під пристрій для видавлювання кому суміші, після чого видавлений ком потрапляє на вибивну решітку, на якій безпосередньо проходить процес вибивки;
2. відділення ливникової системи. Вибиті вилівки по пластинчатому

конвеєру подаються в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система. Цей етап є важливим для підготовки виробів до наступних операцій;

3. очистка виливків і зачищення їх від залишків ливниково-живильної системи. Цей процес дозволяє відокремити пригар та видалити інші недоліки, які можуть виникнути під час формування та заливки форм;

4. контроль якості. Проміжний та кінцевий контроль відіграють важливу роль у забезпеченні високої якості виготовлених виробів. Вони включають перевірку хімічного складу, структури, геометричних розмірів та визначення поверхневих дефектів;

5. візуальна перевірка. Перевірка виливок на наявність поверхневих дефектів виконується візуально.

В цілому, ці процеси забезпечує виготовлення високоякісних відливків, які відповідають усім вимогам якості та стандартам.

## 6.Опис процесу проектування ливарної оснастки

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Процес виготовлення металевих моделей для виливок Корпус включає:

- 1 виготовлення промоделей. Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку - 3,5 мм із з сірого чавуну марки СЧ 20 та урахуванням усадки сплаву. Обробка промоделей відбувається вручну;
- 2 монтаж моделей на промодельні плити. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі необхідно враховувати розміри опок, забезпечуючи відстань від напівмоделей до країв форми;
- 3 монтаж ливникової системи. Ливникова система монтується відповідно до креслення ливникової системи;
- 4 кріплення моделей і ливникової системи: Моделі і ливникова система кріпляться гвинтами;
- 5 використання монтажного шаблону. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, який виготовлений з листової сталі товщиною від 2 до 5 мм [16].
- 6 Модельні плити виготовляються із чавуну, що дозволяє забезпечити їх міцність та стійкість до навантажень під час процесу формовки виливків. Чавунні плити формуються за допомогою лиття в спеціальних формах. Товщина плит зазвичай складає 50 мм, щоб забезпечити їх міцність. Робоча поверхня плит обробляється для забезпечення рівності та гладкості, що допомагає у точному розміщенні моделей.
- 7 На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, за яким встановлюються напівмоделі. Вони функціонують як кондуктори під час свердління отворів. Напівмоделі кріпляться до плит гвинтами.
- 8 Після всіх перехованих операцій модельні плити кріпляться на формувальній машині за допомогою болтів. Це забезпечує їх стійкість та надійність під час процесу формовки відливків.

9 Для виготовлення стержнів на піскострільній машині застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям. Розглянемо процес виготовлення моделі ящика крок за кроком, враховуючи усі необхідні параметри. При виготовленні моделі необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25%. Це означає, що розміри моделі повинні бути збільшені на 1,25% для компенсації усадки. Також необхідно врахувати припуск на механічну обробку ящика, який складає 0,4 мм [16]. Цей припуск враховується при розрахунку розмірів моделі. Габаритні розміри ящика визначаються відповідно до конкретних вимог і заданих параметрів виробу.

Товщина стінок ящика визначається з використанням номограми, враховуючи матеріал (алюмінієвий сплав) та габаритні розміри. Зазвичай для алюмінієвих стержневих ящиків товщина стінок складає 10 мм [16]. Використовуючи відповідні таблиці, визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей для забезпечення необхідної міцності та стійкості ящика. Половини ящика відливаються окремо відповідно до розмірів та форми, після чого їх з'єднують за допомогою штирів. Площина роз'єму ящика шліфується для забезпечення якісного прилягання обох половин.

Для видалення повітря з ящика при виготовленні стержня застосовують вентиляційні отвори, які дозволяють повітрю виходити під час його наповнення та уникнути утворення повітряних кишень у виробі. Розрахунок кількості та розмірів вентиляційних отворів зазвичай виконується з урахуванням декількох факторів, таких як об'єм ящика, тиск і швидкість повітря, температура, середній розмір частинок піску та інші.

## Заключення

В бакалаврській роботі розроблено процес виготовлення виливка Корпус литтям у піщано-глинисту форму.

Виконано аналіз конструкції деталі Корпус СОУ 00.105 технологічних умов на вилівок, припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розмірів стержнів та стержневих знаків, вибрано і описано обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів, технологічний процес виготовлення виливка і процес проектування ливарної оснастки.

Розраховано ливниково-живильну систему, правильна конфігурація якої дозволяє отримати якісні виливки. Отримані площі перерізів каналів ливникової системи забезпечують заповнення ливарної форми металом з оптимальною швидкістю, що виключає утворення у виливках недоливів пов'язаних з наявністю неметалічних включень, дефектів усадкового характеру в період затвердіння виливків.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 8833:2019 «Чавун із пластинчастим графітом. Технічні умови».
2. [ДСТУ 9051:2020 «Виливки з чавуну та сталі. Припуски на механічну обробку, допуски розмірів і маси»](#).
3. Абрамов Г. Г. Справочник молодого литейщика. Київ: [НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»](#), 2020. 496 с.
4. Жуковський С. С., Шинський О. Й. Технологія ливарного виробництва: підручник. Київ: [НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»](#), 2019. 612 с.
5. Шинський О. Й., Гнатуш В. А. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів. Київ: [НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»](#), 2018. 540 с.
6. Болдін А. М., Давидов Н. І., Жуковський С. С. Ливарне виробництво: довідник технолога. Київ: [НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»](#), 2017. 768 с.
7. Левченко В. П. Формувальні матеріали та суміші. Київ: [Національний університет біоресурсів і природокористування України](#), 2016. 320 с.
8. Ткаченко В. І. Стержньові суміші та технологія виготовлення стержнів. Харків: [Національний технічний університет «ХПІ»](#), 2015. 286 с.
9. [ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання»](#).
10. [ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення»](#).
11. Рибалко О. І. Контроль якості виливків. Дніпро: [Український державний університет науки і технологій](#), 2018. 214 с.
12. Коваленко В. М. Технологічне оснащення ливарного виробництва. Запоріжжя: [Національний університет «Запорізька політехніка»](#), 2019. 348 с.
13. [Inductotherm Group](#) — виробник індукційних плавильних печей.
14. [Rosler Oberflächentechnik GmbH](#) — виробник галтувального та дробеметного обладнання.
15. [Wheelabrator Group](#) — виробник дробеметних установок.

16. Хричиков В. Е., Меньяло О. В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
17. Власенко А. М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Власенко. – К.: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
18. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. – Введ. 2020–01–01. – К.: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. – 10 с.
19. ДСТУ 8981:2020. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. – Введ. 2021–01–05. – К.: Технічний комітет стандартизації «Ливарне виробництво» (ТК 177), 2020. – 7 с.
20. Конструкційні матеріали і технології : навчальний посібник / Будяк Р. В., Посвятенко Е. К., Швець Л. В., Жученко Г. А. - Вінниця : ФОП Т. П. Барановська, 2020. - 240 с.
21. <https://on-v.com.ua/predpriyatiya/proizvoditeli-oborudovaniya/otto-junker-gmbh/>
22. В.П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
23. Гущин О. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 – Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» / О. В. Гущин. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – 159 с.
24. Іванова Л. Х. Литникові системи та їх розрахунки: Навч. посібник з грифом МОНУ/ Л. Х. Іванова, В. Є. Хричиков. – Дніпропетровськ: «Дніпро-VAL», 2011.–504 с
25. Афтандіянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Іванова О. В.

Технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник в 2-х книгах.

Книга 1. - К.: НУБіП, 2016. - с. 511.

# Д О Д А Т К И