

**Криворізький національний університет**

(повне найменування інститут, факультет)

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**

**до роботи бакалавра**

**бакалавр**

(ступінь вищої освіти)

на тему: Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 60000 тон  
виливків на рік з розвісом лиття до 500 кг

Виконав студент 3 курсу, групи МТ-22ск  
напряму підготовки (спеціальності)

136 - Металургія

(шифр і назва)

Присяжнюк О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

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

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

на тему: Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 60000 тон виливків  
на рік з розвісом лиття до 500 кг

Виконав: студент групи МТ-22ск  
Керівник випускної роботи  
Н.контроль  
Завідувач кафедри

Присяжнюк О.В.  
Саїтгарєєв Л.Н.  
Саїтгарєєв Л.Н.  
Савельєв С.Г.

Кривий Ріг  
2025р

# КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет:** гірничо-металургійний

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

**Освітньо-кваліфікаційний рівень:** бакалавр

**Спеціальність:** 136 Металургія

Затверджую  
Зав. кафедрою \_\_\_\_\_ Савельєв С.Г.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### на випускн атестаційну роботу бакалавра

- 
1. **Тема роботи:** Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 60000 тон виливків на рік з розвісом лиття до 500 кг.
  2. **керівник роботи:** к.т.н., доцент Саїтгарєєв Л.Н.  
затверджено наказом по КНУ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р. № 204с
  2. Строк подання роботи студентом « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.
  3. Вихідні дані до роботи:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
1.  
2.  
3.
  5. Перелік графічного матеріалу:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Номер етапу | Назва етапів виконання бакалаврської роботи | Термін виконання етапів |
|-------------|---------------------------------------------|-------------------------|
| 1           |                                             |                         |
| 2           |                                             |                         |
| 3           |                                             |                         |
| 4           |                                             |                         |
| 5           |                                             |                         |

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

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Присяжнюк О.В.

Керівник випускної  
кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Саїтгарєєв Л.Н.

## **РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка на кваліфікаційну роботу бакалавра: «Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 60000 тон виливків на рік з розвісом лиття до 500 кг»: с., рисунків, таблиць, літературних джерел.

В роботі описується проектування плавильного відділення та виготовлення ливарних форм. Також описується виготовлення стрижнів.

1 У загальній частині описується призначення проектного відділення, виготовлення ливарних форм та проектні рішення щодо компонування цеху.

2 У технологічній частині пояснюється конструювання виливки «Футерування» та моделей ЛЖС.

3 У спеціальній частині описано процес моделювання заливання виливки «Футерування» з використанням сучасних прогнних комплексів

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВИЛИВОК, ФОРМА, МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, ОБЛАДНАННЯ, ФУТЕРУВАННЯ

# ЗМІСТ

## Вступ

### 1 Загальна частина

- 1.1 Техніко-економічне обґрунтування проекту
- 1.2 Характеристика проектного цеху
- 1.3 Обґрунтування і вибір режиму роботи цеху
- 1.4 Фонди часу роботи устаткування і робітників
- 1.5 Обґрунтування виробничої програми цеху
- 1.6 Плавильне відділення
  - 1.6.1 Розробка програми відділення
  - 1.6.2 Характеристика сплавів
  - 1.6.3 Обґрунтування і вибір плавильних агрегатів
  - 1.6.4 Розрахунок кількості плавильних агрегатів
  - 1.6.5 Розрахунок шихти і потреби в шихтових і вогнетривких матеріалах
  - 1.6.6 Технологія плавки
  - 1.6.7 Ковшова ділянка
- 1.7 Формувально-заливне відділення
  - 1.7.1 Програма відділення
  - 1.7.2 Організація технологічних потоків
  - 1.7.3 Розрахунок потрібної кількості технологічного устаткування
- 1.8 Стрижневе відділення
  - 1.8.1 Програма стрижневого відділення
  - 1.8.2 Розробка схеми технологічного процесу виготовлення стрижнів
  - 1.8.3 Розрахунок необхідної кількості технологічного устаткування
- 1.9 Сумішоприготувальне відділення
  - 1.9.1 Програма сумішоприготувального відділення
  - 1.9.2 Розробка схеми технологічного процесу
    - 1.9.2.1 Підготовка початкових формувальних матеріалів
    - 1.9.2.2 Приготування формувальних і стрижневих сумішей
  - 1.9.3 Розрахунок потрібної кількості технологічного і підйомно - транспортного устаткування
- 1.10 Відділення фінішних операцій
  - 1.10.1 Розробка програми і схеми технологічного процесу
  - 1.10.2 Розрахунок кількості устаткування
- 1.11 Розрахунок площі шихтового відділення

### 2 Технологічна частина

- 2.1. Аналіз замовлення. Загальна характеристика виливки
- 2.2 Аналіз технологічності конструкції литої деталі

- 2.3. Обґрунтування й вибір способу виготовлення виливки
- 2.4. Визначення положення виливки у формі при заливанні
- 2.5. Визначення областей поверхні виливки, що виконуються стрижнями
- 2.6. Вибір матеріалу для виготовлення модельного комплекту
- 2.7. Конструкція й розміри модельного комплекту
- 2.8. Фарбування і маркування модельного комплекту
- 2.9. Визначення розмірів і конструкції опок
- 2.10. Проектування й розрахунок ливникової системи
- 2.11. Розрахунок надливів
- 2.12. Розрахунок випору
- 2.13. Температурні режими заливання
- 2.14. Витримка сталі в ковші
- 2.15. Визначення часу витримки сталевих фасонних виливків у формі після заливання
- 2.16. визначення маси вантажу (виштовхуючої сили)

### 3 Спеціальна частина

- 3.1 Передумови моделювання процесу заповнення порожнини форми рідким металом з використанням комп'ютерних технологій
- 3.4. Моделювання процесів заповнення рідким металом форми та кристалізація виливки «Футеровка », масою 442 кг

исновки

Список джерел

## ВСТУП

Україна є одним з лідерів країн-виробників чорних металів в світі і займає 12 місце за об'ємом виробництва сталі і 3 місце – за об'ємом експорту

металопродукції. Частина продукції, що виробляється металургійними підприємствами складає 42% від загальних об'ємів експорту України. Понад 80% металопродукції експортується в країни Європи, Азії, Близького Сходу, Південної Америки.

В даний час ливарне виробництво України поступово повертає собі статус однієї з провідних галузей промисловості. У цій ситуації дуже важливо на всіх рівнях організації галузі одержати ясне уявлення про те, що повинне бути зроблене на ливарних підприємствах для адаптації їх діяльності до вимог зовнішнього середовища і економіки.

Значення ливарного виробництва для машинобудування надзвичайно велике. Ливарне виробництво – основна заготовча база, що визначає можливості подальшого розвитку галузей машинобудування. Литі деталі з різних сплавів для більшості машин складають до 50-80% їх загальної маси. В окремих галузях важкого машинобудування частка таких деталей складає близько 80% і більше.

Литво – універсальний і один з найпоширеніших процесів отримання заготовок – виливків, що максимально наближаються по об'ємній конфігурації до готової деталі. В даний час ливарні цехи переважно знаходяться в структурі машинобудівних і металургійних підприємств і виготовляють відливки для власних потреб.

У проектованому цеху плановано випускати продукцію, яка необхідна для ремонтів металургійного устаткування; устаткування, що використовується на гірничозбагачувальних комбінатах, в шахтах, що доцільно в даному регіоні.

## **1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА**

### **1.1 Техніко-економічне обґрунтування проекту**

У зв'язку із значною концентрацією родовищ залізної руди в досліджуваному регіоні і високим розвитком гірничої і металургійної промисловості, вважаємо за доцільне вибрати Криворізький район для споруди нового ливарного цеху.

Після аналізу замовлень, виявлено, що, не дивлячись на значну кількість ливарних цехів в даному регіоні, об'єми виробництва дрібного литва не задовольняють попит на нього.

Ливарні цехи, що є на території Кривого Рогу, використовують застаріле устаткування, на якому складно виготовити високоякісну продукцію, що відповідає світовим стандартам. Деякі цехи складно реконструювати і з економічної точки зору вигідніше, закупивши сучасне устаткування, побудувати новий цех, в якому будуть використовувати нові технології, які дозволять поліпшити якість продукції, збільшити продуктивність і знизити використання ручної праці.

У вибраному регіоні служби водо-, газо-, тепло- і енергопостачання мають вільні потужності, що гарантує забезпечення підприємства необхідними ресурсами.

Цех розміщений з урахуванням найраціональнішого використання земель.

Розташування, вибраного для споруди цеху, майданчика забезпечує:

- найкоротші під'їзні залізничні шляхи і автодороги;
- мінімальні витрати на електропостачання, водопровід, каналізацію і інші мережі і комунікації;
- видалення шкідливих виділень в напрямі від житлового масиву, бо цех розташований з навітряного боку для вітрів переважаючого напрямку, оскільки технологічні процеси супроводжуються виділенням виробничих шкідливостей (газ, дим, пил, кіптява і неприємні стійкі запахи);
- мінімально допустима із забезпеченням санітарно-захисної зони відстань до житлового масиву.

Всі об'єкти будівництва цеху розміщені на ділянці, яка забезпечує найкращу аерацію промислового майданчика, з урахуванням чіткого зонування за технологічними, виробничими, транспортними ознаками і ступені шкідливості.

Всі об'єкти ливарного виробництва розташовані в одній зоні з таким розрахунком, щоб заводські внутрішньомайданчикові залізничні шляхи не перетиналися з людськими потоками.

Об'єкти підсобного виробничого призначення: базисний склад шихти і формувальних матеріалів; склади будматеріалів, кріпильників, литва, паровозне депо розташовані в місці найбільшого розвитку залізничних шляхів за зоною ливарних цехів.

Об'єкти, не пов'язані з залізничним транспортом менш шкідливі за своїми виробничими ознаками, розташовані в зоні, що примикає до головного входу.

У передцеховій зоні розташовані інженерний корпус, цехова їдальня і стоянка автомоботвелотранспорта.

Для компактнішого розташування будівель проведене блокування служб, що допускають це по своїй технологічній спрямованості, з дотриманням оптимальних меж блокування будівель, без збитку умовам праці, забезпечуючи можливості провітрювання цеху і озеленення території навколо нього. Побутові приміщення виконані окремо, з теплими переходами в цех.

У Кривому Розі підприємства не стикаються з проблемою браку кадрів, у зв'язку з тим, що ВУЗи міста готують кваліфікованих фахівців промислових професій.

## **1.2 Характеристика проектного цеху**

Проектований цех характеризується такими параметрами:

Потужність – 60000 т виливків на рік.

Розвіс : 100 - 250 кг, від 250 – 500 кг.

Сплав – високолегована та вуглецева сталь.

Серійність – масове і серійне виробництво.

Призначення виливків – загального та особливого призначення.

Цех складається з певних відділень, що наведені в таблиці 1.1.

Склади зв'язуючих розташовуємо в окремих приміщеннях (поза цехом) для зберігання вогнебезпечних матеріалів. Цехові служби механіка і енергетика забезпечують тільки міжремонтне обслуговування і огляд (профілактику) устаткування. Капітальний і малі ремонти виконуються загальнозаводськими ремонтно-механічними і електроремонтними цехами.

## **1.3 Обґрунтування і вибір режиму роботи цеху**

Режим роботи ливарного цеху - це розподіл в часі і на площах цеху всіх робіт, які виконуються при виготовленні виливків. Режим роботи цеху встановлюється на підставі аналізу номенклатури і характеру виробництва виливків. Оптимальний для відповідних умов режим роботи залежить від таких чинників:

- масштабу виробництва;
- розвісу литва;
- роду сплаву і типу плавильних печей;
- прийнятої схеми технологічного процесу.

Для швидшої окупності цеху використовуємо тризмінний режим роботи.

Таблиця 1.1 – Склад ливарного цеху

|                                                                                                                  |                                                                                              |                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Виробниче відділення                                                                                             | Допоміжне відділення                                                                         | Склад                                            |
| Плавильне з навішуванням шихти                                                                                   | Підготовка шихти<br>Плавка шихти                                                             | Шихти і флюсів<br>Палива                         |
| Формувально-заливальне                                                                                           | Підготовка виробництва                                                                       | Модельно – опочної оснастки                      |
| Стрижневе зі складом і сушилами                                                                                  | Приготування фарби для стрижнів                                                              | Стрижневих ящиків                                |
| Сумішоприготувальне                                                                                              | Регенерація сумішей                                                                          | -                                                |
| Фінішних операцій (включаючи охолодження виливків, видалення стрижнів, виправлення дефектів і гідровипробування) | Ремонтні служби<br>Трансформаторні<br>Насосна станція<br>Вентиляційні і пилоочисні установки | Готових виливків<br>Комори допоміжних матеріалів |
| Ділянка ґрунтовки                                                                                                | Пульти управління<br>Інструментальна<br>Цехові лабораторії                                   |                                                  |

#### 1.4 Фонди часу роботи устаткування і робітників

Фонди часу визначаються з урахуванням режиму роботи цеху, існуючих законодавчих документів про робочі, вихідні і святкові дні, про тривалість робочого дня і тривалості відпусток. Розрізняють календарний ( $\Phi_k$ ), номінальний ( $\Phi_n$ ) і дійсний ( $\Phi_d$ ) фонди часу.

$$\Phi_k = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год}$$

$\Phi_n$  - час в годинах, протягом якого може виконуватися робота по прийнятому режимі без урахування неминучих втрат, тобто за вирахуванням з календарного фонду вихідних і святкових днів.

$\Phi_d$  - визначаємо як різницю між номінальним фондом і неминучими (плановими) втратами часу.  $\Phi_d$  розраховуємо виходячи з нормованих або планових втрат.

Дійсний річний фонд часу роботи устаткування представлений в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Дійсний річний фонд часу роботи устаткування

|              |                               |                             |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Устаткування | Втрати від номінального фонду | Дійсний річний фонд часу, ч |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|

|                                                     | часу, % |      |
|-----------------------------------------------------|---------|------|
| Автоматизовані формувальні і стрижньові лінії       | 14      | 5340 |
| Дугові електропечі для плавки сталі, 3-6 т.         | 10      | 5840 |
| Печі термічні з коротким циклом роботи механізовані | 10      | 7710 |
| Печі сушильні (камерні)                             | 6       | 5840 |
| Зварювальне устаткування                            | 7       | 5775 |
| Металоріжуче і деревообробне обладнання             | 4       | 5960 |

Дійсний (розрахунковий) річний фонд часу робітників для безперервного виробництва:

|                                                           |          |
|-----------------------------------------------------------|----------|
| Тривалість робочого тижня, годин                          | 41       |
| Тривалість відпустки, днів                                | 24,36,48 |
| Номінальний річний фонд робочого часу, годин              | 6210     |
| Втрати від номінального фонду часу, % .                   | 12       |
| Дійсний (розрахунковий) річний фонд часу робітника, годин | 5465     |

### 1.5 Обґрунтування виробничої програми цеху

При формуванні загального об'єму виробництва виливків в проектованому цеху беремо до уваги номенклатуру цеху-аналога, потребу у відливках в регіоні і галузі з урахуванням перспективи розвитку, можливості спеціалізації.

Рівень браку встановлений нижче, ніж в цеху-аналогу, чому сприяє використання прогресивних технологій і нових матеріалів, механізація і автоматизація виробничих процесів, організація поточного і профілактичного ремонту модельно-опочного оснащення, вдосконалення організації праці.

Відповідно до характеру виробництва розробляємо програму виробництва виливків в цеху по співвідношенню вагових груп (табл. 1.3). Для цього визначаємо:

- долю литва по вагових групах в процентному співвідношенні від загального випуску виливків в цеху;
- середню масу однієї відливки для кожної групи;
- розподіл виливків по марках сплавів;
- виливок-представник.

### 1.6 Плавильне відділення

#### 1.6.1 Розробка програми відділення

Розробка програми плавильного відділення зводиться до складання відомості балансу металу і шихти по цеху в цілому і окремо по видах сплавів, передбачених до виплавки в проектованому цеху (табл.1.3.).

Таблиця 1.3 – Відомість балансу металу і шихти

| Статті балансу                                            | Всього |       | Зокрема по марках сплавів |       |         |       |
|-----------------------------------------------------------|--------|-------|---------------------------|-------|---------|-------|
|                                                           | т/рік  | %     | 35Л                       |       | 110Г13Л |       |
|                                                           |        |       | т/рік                     | %     | т/рік   | %     |
| 1. Придатне литво                                         | 60000  | 78    | 24000                     | 78    | 36000   | 78    |
| 2. Лбтники, надливи, сливи та ін., повернення виробництва | 12215  | 15,88 | 4871                      | 15,83 | 7342    | 15,91 |
| 3. Брак литва                                             | 864    | 1,12  | 360                       | 1,17  | 504     | 1,09  |
| 4. Разом рідкого металу                                   | 73076  | 95    | 29230                     | 95    | 43846   | 95    |
| 5. Чад і безповоротні втрати                              | 3847   | 5     | 1539                      | 5     | 2307    | 5     |
| 6. Металлозавалка                                         | 76923  | 100   | 30769                     | 100   | 46153   | 100   |

Таблиця 1.4 – Програма по співвідношенню вагових груп

| Група<br>випливів<br>за масою,<br>кг. | Найменування<br>відливки<br>представника | Середня<br>маса<br>однієї<br>випливи<br>, кг | Заданна програма<br>виробництва<br>випливок |              |               | Втрати<br>від<br>браку,<br>% | Придатне<br>виробництво<br>випливок з<br>урахуванням браку |               | Марка сплаву |
|---------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------|---------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------|--------------|
|                                       |                                          |                                              | %                                           | тн           | шт            |                              | тн                                                         | шт            |              |
| 100-250                               | Шкив                                     | 150                                          | 15                                          | 9000         | 60000         | 1.5                          | 9135                                                       | 60900         | 35Л          |
|                                       | Блок                                     | 175                                          | 10                                          | 6000         | 34286         | 1.5                          | 6090                                                       | 34800         | 35Л          |
|                                       | Рама                                     | 240                                          | 15                                          | 9000         | 37500         | 1.5                          | 9135                                                       | 38062         | 35Л          |
| Итого по 1 потоку                     |                                          |                                              | 40                                          | 24000        | 131786        |                              | 24360                                                      | 133762        |              |
| 250-500                               | Бронь поясу                              | 280                                          | 20                                          | 12000        | 42858         | 1.4                          | 12168                                                      | 43458         | 110Г13Л      |
|                                       | Конусна<br>бронь                         | 490                                          | 10                                          | 6000         | 12245         | 1.4                          | 6084                                                       | 12416         | 110Г13Л      |
|                                       | Футерівка                                | 442                                          | 30                                          | 18000        | 40724         | 1.4                          | 18252                                                      | 41294         | 110Г13Л      |
| Итого по 2 потоку                     |                                          |                                              | 60                                          | 36000        | 95827         |                              | 36504                                                      | 97168         |              |
| <b>Итого по 2 потокам</b>             |                                          |                                              | <b>100</b>                                  | <b>60000</b> | <b>227613</b> |                              | <b>60864</b>                                               | <b>230930</b> |              |

## 1.6.2 Характеристика сплавів

Технічні вимоги і характеристика сплавів, що виплавляються в проєктованому цеху, представлені в таблицях 1.5, 1.6.

Таблиця 1.5 – Технічні вимоги до сплавів

| Марка сплаву | ГОСТ                                   | Механічні властивості |                   |              |           |     |       |       |                                        |                                       |                        |                        |                  |
|--------------|----------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|-----------|-----|-------|-------|----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|
|              |                                        | C                     | Mn                | Si           | Не більше |     |       |       | Межа тiкучості,<br>кгс/мм <sup>2</sup> | Межа мiцності,<br>кгс/мм <sup>2</sup> | Вiдносне<br>подовження | Вiдносне<br>звуження % | Ударна в'язкiсть |
|              |                                        |                       |                   |              | Cr        | Ni  | P     | S     |                                        |                                       |                        |                        |                  |
| 35Л*         | 977-75                                 | 0,32<br>-0,4          | 0,4 -<br>0,9      | 0,2-<br>0,52 | 0,5       | 0,5 | <0,06 | <0,06 | 28                                     | 50                                    | 15                     | 25                     | 3,5              |
|              | Прийнято<br>для<br>розрахунку<br>шихти | 0,35                  | 0,65              | 0,35         | 0,5       | 0,5 | 0,05  | 0,05  | 28                                     | 50                                    | 15                     | 25                     | 3,5              |
| 110Г13Л**    | 2176-77                                | 0,9-<br>1,4           | 11,5<br>-<br>14,5 | 0,3-<br>1    | 0,5       | 0,5 | 0,12  | 0,05  | 48                                     | 79                                    | 30                     | 25                     | 5                |
|              | Прийнято<br>для<br>розрахунку<br>шихти | 1,2                   | 13                | 0,7          | 0,5       | 0,5 | 0,1   | 0,03  | 48                                     | 79                                    | 30                     | 25                     | 5                |

Таблиця 1.6 – Характеристика і область застосування сплавів

| Марка сплаву | Характеристика                                                                                                                      | Область застосування                                                                                  |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сталь 35Л    | Корозійна стійкість низька, рідкотекучість задовільна, не схильна до утворення холодних і гарячих тріщин, добре зварюється          | Для шестерень, шайб, коліс і інших деталей, що працюють при вібраційному і ударному навантаженні      |
| Сталь 10Г13Л | Важконавантажені деталі, що працюють під дією статичних і високих динамічних навантажень і від яких потрібна висока зносостійкість. | Корпуса вихрових і кульових млинів, щоки й конуса дробарок, поясні броні, залізничні хрестовини та ін |

## 1.6.3 Обґрунтування і вибір плавильних агрегатів

Проектований цех розрахований на виплавку високолегованих та вуглецевих сталей.

Основним плавильним агрегатом для виробництва фасонного сталевих лиття є дугова електропеч.

В електродуговій печі легко регулювати тепловий процес, змінюючи параметри струму; можна створювати окисну, відновну, нейтральну атмосферу або вакуум, легше легувати сталь легкоокислюючимися елементами. Електросталь містить мінімальну кількість сірки й фосфору, неметалічних включень, добре раскислена й по якості перевершує киснево-конвертерну й мартенівську сталь. У дугових печах виплавляють найбільш якісні конструкційні, високолеговані, нержавіючі, жароміцні й інші сталі.

На підставі даних про хімічний склад сплавів, необхідних властивостях, з урахуванням потреби в рідкому металі, максимальної одиничної маси виливків приймається рішення встановити в цеху дугові електропечі постійного струму місткістю 6 т.

Дугові печі постійного струму відрізняються значно більше високими техніко-економічними показниками - по витраті електроенергії, графітизованих електродів і більше низькому вигару металу.

Метал у дугових печах постійного струму виходить рівним за температурою і хімічному складу всього об'єму ванни, не відзначено локальних перегрівів металу й насичення сплавів вуглецем. Поліпшується якість виплавлюваного металу. Значно знижується кількість поверхневих дефектів.

Використання дугових печей постійного струму різко знижує рівень пилогазовибросів, шуму, до 80 % коливань електричної потужності.

Техніко-економічні розрахунки показують, що строк окупності робіт з модернізації і перекладу на живлення постійним струмом залежно від об'єму печі становить 0,5-1,5 року.

Футеровка печі кисла, тому що кислий процес має ряд переваг у порівнянні з основним:

1. Нагрівання металу в кислій печі відбувається більш швидко, тому що теплопровідність кислих вогнетривних матеріалів нижче, ніж основних, а електричні дуги коротше. Це сприяє кращій передачі тепла металу.
- 2 Тривалість плавки менше.
- 3 Вартість кислих заправних матеріалів нижче.
- 4 Стійкість стін і зводів кислих печей у кілька разів вище основних.

При потоковому виробництві необхідно видавати метал безупинно за графіком, тому непотрібно встановлювати великі агрегати. Приймаємо рішення встановити дугові сталеплавильні печі місткістю 6 т.

#### **1.6.4 Розрахунок кількості плавильних агрегатів**

Для забезпечення цеху рідким металом вибрані електродугові печі, тому число плавильних агрегатів визначаємо за формулою

$$П = \frac{М \cdot K_n \cdot Ц}{E \cdot \Phi_\delta} ,$$

де  $\Pi$  - число плавильних печей для виплавки сплаву;

$M$  - річна кількість шихти даного складу, т;

$\zeta$  - тривалість циклу однієї плавки, включаючи час на завантаження печі і на випуск рідкого металу, г;

$\Phi_d$  - дійсний річний фонд часу роботи печі, г;

$E$  - місткість печі (садіння), т.

$$\dot{I}_{110\hat{A}13\hat{E}} = \frac{\dot{I} \cdot \hat{E}_i \cdot \ddot{O}}{\hat{A} \cdot \hat{O}_{\hat{A}}} = \frac{46153 \cdot 1,1 \cdot 3,5}{12 \cdot 5775} = 2,56 \text{ - приймаємо до установки ДСП – 12 - 3шт.}$$

$$\dot{I}_{35\hat{E}} = \frac{\dot{I} \cdot \hat{E}_i \cdot \ddot{O}}{\hat{A} \cdot \hat{O}_{\hat{A}}} = \frac{30768 \cdot 1,3 \cdot 2,8}{6 \cdot 5840} = 3,19 \text{ - приймаємо до установки ДСП – 6 – 4 шт}$$

Одержаний результат збільшуємо і приймаємо до установки в цеху відповідну кількість плавильних агрегатів. Визначаємо коефіцієнт завантаження устаткування за формулою:

$$K_3 = \frac{\Pi}{\Pi_1},$$

де  $\Pi$  - розрахункова кількість плавильних печей;

$\Pi_1$  - прийнята кількість плавильних печей.

$$\hat{E}_{110\hat{A}13\hat{E}} = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_1} = \frac{2,56}{3} = 0,85 \quad K_3 \text{ має бути в межах } 0,7 \dots 0,85.$$

$$\hat{E}_{35\hat{E}} = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_1} = \frac{3,19}{4} = 0,8$$

Отже, приймаємо до установки 4-ДСП – 6 та 3-ДСП – 12.

### 1.6.5 Розрахунок шихти і потреби в шихтових і вогнетривких матеріалах

Розрахунок потреби в шихтових матеріалах виконаний на підставі середніх норм витрати на 1 т металозавалки або придатних виливків, використовуючи метод послідовного наближення.

Хімічний склад і механічні властивості сталі регламентуються ДСТ 977-88

1. Сталевий лом вуглецевий марки 2А-1 ДСТУ 2787-75. Сталевий вуглецевий лом заводського виробництва (технологічні відходи ливарного виробництва, цеху металоконструкцій, ковальсько-пресового цеху та ін.)

Розміри шматків лома й відходів повинні бути не більше 600x350x250 мм.

2. повернення - технологічні відходи й брак повинні бути очищені від пригару, формувальних матеріалів, які затрудняють плавлення шихти й формування шлаків і мають стандартний габарит 600x350x250 мм відповідно до ДСТУ 2787-75.

При розрахунку шихти використані наступні формули:

$$\mathcal{E}_{\text{ш}} = \mathcal{E}_{\text{ж}} = \frac{100}{100 - y} ; \quad K_{\text{э}} = \frac{A \times \mathcal{E}_{\text{к}}}{100} ; \quad A = \frac{K_{\text{э}} \times 100}{\mathcal{E}_{\text{к}}}$$

де  $\mathcal{E}_{\text{ш}}$  - кількість елемента в шихті;

$\mathcal{E}_{\text{ж}}$  - кількість елементів у рідкому металі;

$K_{\text{э}}$  - кількість елемента, внесеного даним компонентом шихти;

$\mathcal{E}_{\text{к}}$  - кількість елемента в даному компоненті шихти;

A - кількість даного компонента в складі шихти;

y - пригар даного елемента.

Приймаємо пригар елементів при плавці С - 5%, Mn із шихти - 20 %, з феромарганцю - FeMn - 10%, Si, S, P - не змінюються - 0 %.

### **Розрахунок шихти й потреби в шихтових і вогнетривких матеріалах для сталі 35Л**

Застосовувані матеріали:

#### **Металева шихта**

|                                                       |               |
|-------------------------------------------------------|---------------|
| Сталевий вуглецевий лом марки 2А                      | ДСТУ 2787-86; |
| Сталевий марганцовистий лом марки Б-22                | ДСТУ 2787-86; |
| Технологічні відходи ливарного виробництва сталі 35Л. |               |

#### **Феросплави, розкиснювачі**

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Феромарганець ФМн 78АА  | ДСТУ 4755-91 |
| Ферросилицій ФС 75(Л)-3 | ДСТУ 1415-78 |
| Алюміній АВ-87          | ДСТУ 295-79  |

#### **Шлакоутворюючі, окиснювачі**

- |    |                                            |                |
|----|--------------------------------------------|----------------|
| 1. | Флюсовий вапняк марки С-1                  | ТУ 48-5-64-83  |
| 2. | Плавиловий шпат марки ФК 85                | ДСТУ 7618-83   |
| 3. | Шамотний бій, боксити та ін. алюмосилікати |                |
| 4. | Залізорудні катуні                         | ТУ 14-9-151-81 |

#### **Вогнетривкі матеріали**

- |    |                        |              |
|----|------------------------|--------------|
| 1. | Цегла магнезитова      |              |
| 2. | Цегла хромомагнезитова |              |
| 3. | Порошок магнезитовий   |              |
| 4. | Глина вогнетривка      | ДСТУ 3266-93 |
| 5. | Кварцовий пісок        | ОСТ 3055     |
| 6. | Шамот мелений          |              |

У сталі використовується 25 % повернення (литники, надливи, брак), що має середній склад даної сталі. Кількість повернення на завалку становить:

$$1000 \times 17\% = 170 \text{ кг}$$

Визначаємо кількість елементів, внесених цим компонентом шихти.

Визначаємо орієнтовно необхідну кількість передільного чавуну по формулі:

$$X_2 = (Z - X_{\text{возврат}}) \times \frac{C_{\text{завалки}} - C_{\text{лома}}}{C_{\text{чугуна}} - C_{\text{лома}}}$$

де Z - завалка, 1000 кг;

X возврат - кількість возврату, кг;

Із завалки, Z лома, Із чавуну – зміст вуглецю, відповідно в завалці, ломі й чавуні.

Визначаємо зміст вуглецю в шихті по формулі:

$$C_{\text{ш}} = C_{\text{ж}} \times \frac{100}{100 - 5} = 0.35 \times \frac{100}{95} = 0.37$$

Кількість чавуну на тонну метало завалки становить:

$$X_{\text{чуг}} = (1000 - 170) \times \frac{0.37 - 0.25}{4.05 - 0.25} = 26.2$$

Розраховуємо необхідну кількість лома:

$$X_{\text{лома}} = 1000 - 170 - 26.2 = 803.8 \text{ кг}$$

В 1 т сталі повинно бути Mn - 0,65% (6,5 кг), а переходить у метал у наслідок вигару тільки 3,6 кг, тому необхідно додатково вводити 2,9 кг марганцю. При засвоєнні з феросплаву 90 % марганцю й при вмісті у феромарганці 78 % Mn необхідна кількість FeMn складе:

$$\frac{2.9}{0.78 \times 0.9} = 4.13 \text{ кг}$$

Аналогічно розраховуємо кремній. Необхідно:

$$\frac{1000}{100} 0.35 = 3.5$$

Вноситься із шихтою 2,4 кг, необхідно додати 1,1 кг.

$$\frac{1.1}{0.75} = 1.47 \text{ кг}$$

Розрахункові дані зведені в табл.1.7, 1.8

Таблиця 1.7. Розрахунок річної потреби в металевій шихті для виплавки стали 35Л

| Найменування      | Марка          | Кг на 1 т<br>метало завалки | Річна потреба, т |
|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------|
| Лом сталевий      | 2А, 4А         | 803,8                       | 24732            |
| Повернення        |                | 170                         | 5230             |
| Чавун передільний | М <sub>3</sub> | 26,2                        | 806              |
| Феромарганець     | ФМн78          | 4,13                        | 127              |
| Ферросиліцій      | ФС75           | 1,47                        | 45,2             |
| Разом:            |                | 1005,6                      | 30940,2          |

Таблиця 1.8. Потреба у вогнетривких матеріалах і флюсах на 1 т рідкого металу

| Найменування                                               | ДСТУ, ТУ             | Потреба, кг/т | Річна потреба, т |
|------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|------------------|
| Плавииковий шпат                                           | 29220-91             | 9,07          | 265,1            |
| Залізорудні окатиші                                        | ТУ 14 – 9 – 151 – 81 | 25            | 730,8            |
| Флюсовий вапняк марки 3-1                                  | ТУ 48-5-64-89        | 25            | 730,8            |
| Вогнетривкі матеріали:                                     |                      |               |                  |
| Цегла магнезитова                                          |                      | 18            | 526,1            |
| Цегла хромомagneзитова                                     |                      | 18,7          | 546,6            |
| Глина вогнетривка                                          | ДСТУ 3226-93         | 10            | 292,3            |
| Шамот мелений                                              |                      | 4             | 116,9            |
| Порошок магнезитовий                                       |                      | 20            | 584,6            |
| Вогнетривкі динасові вироби марки ЕД1 або ЕД, у тому числі | ДСТУ 2343-94         | 10,14         | 296,3            |
| цегла прямий вир.№ 2                                       |                      | 2,56          | 74,8             |
| клин торцевий двусторонн. вир.№ 5                          |                      | 3,12          | 91,2             |
| клин перехідний двустор. вир.№7                            |                      | 2,48          | 72,4             |
| клин пірамідальний двох- сторнний вир. № 9                 |                      | 1,98          | 57,8             |
| Стопорний припас, у т.ч.                                   | 5500-75              |               |                  |
| стопорна трубка марки ШСП № 2                              |                      | 2,68          | 78,3             |
| пробка марки ШСП-37 № 10                                   |                      | 0,3           | 8,7              |
| сталеразливочный стакан ШСП-34 № 15-35                     |                      | 0,11          | 3,2              |
| сталеразливочный стакан ШСП-34 № 15-40                     |                      | 0,004         | 0,11             |
| гніздова цегла ШСП-32 № 38                                 |                      | 0,02          | 0,58             |
| Вироби шамотні для футеровки ковшів ШКУ-39                 | 5341-69              | 14,25         | 416,5            |
| №1                                                         |                      | 1,57          | 45,8             |
| №3                                                         |                      | 2,07          | 60,5             |
| №10                                                        |                      | 5,22          | 152,5            |
| №11                                                        |                      | 1,3           | 37,9             |
| №39                                                        |                      | 4,090         | 119,5            |

|                                           |              |      |       |
|-------------------------------------------|--------------|------|-------|
| Вироби вогнетривкі загального призначення | 8691-73      | 1,41 | 41,2  |
| ША-1 № 1                                  |              | 1,26 | 36,8  |
| ША-1 № 45                                 |              | 0,15 | 4,3   |
| Електроди графітізованые діаметром 300 мм | 2-034-231-88 | 8,3  | 242,6 |

### Розрахунок шихти й потреби в шихтових та вогнетривких матеріалах для сталі 110Г13Л

Застосовувані матеріали:

Металева шихта:

- сталевий вуглецевий лом марки 2А ДСТУ 2787-86;
- сталевий марганцовистий лом марки Б22 ДСТУ 2787-86;
- технологічні відходи ливарного виробництва марганцовистої сталі.

Феросплави, раскиснювачі:

- ферросиліцій марки ФС75 ДСТУ 1415-78;
- феромарганець марки Фмн78АА ДСТУ 4755-80;
- металевий марганець марки Мр2 Д ДСТУ 6008-82;
- феррованадій марки ФВД 50 ТУ 27130-86Е;
- силікомарганець марки СМН17А ДСТУ 4756-77;
- бескремниста лігатура АКЦе ТУ 95-1410-85 ;
- алюміній марки АВ-86 ДСТУ 295-79.

Шлакоутворюючі:

- Флюсовий вапняк марки С-1 ТУ 48-5-64-73;
- шамотний бій, боксити й ін. алюмосилікати;
- плавииковий шпат ФК85 ДСТУ 7618-83;
- відвальний шлак виробництва металевого марганцю ТУ 14-144-25-83.

Окислювачі: - залізорудні катуні ТУ 14-9-151-81.

Заправні матеріали

- порошок магнезитовий марки ППЭ-88 ДСТУ 24862-81;
- допускається підсипання порога й ушкодженої подини доломітом;

- рідке скло заводського виробництва щільністю 1,47...1...1,52г/див<sup>3</sup> .

Допускається використання замість рідкого скла лигносульфоната лугу;

У сталі використовується 17 % повернення, що має середній склад даної сталі. Кількість повернення на завалку становить:

$$1000 \times 0,17 = 170 \text{ кг}$$

Визначаємо кількість елементів, внесених цим компонентом шихти.

Зміст вуглецю в шихті розраховано:

$$C_{\text{ш}} = C_{\text{ж}} \times \frac{100}{100 - 4} = 1,1 \times \frac{100}{96} = 1.15$$

Розраховано необхідну кількість лома:

$$X_{\text{лома}} = 1000 - 210 = 790 \text{ кг}$$

Використаємо вуглецевий і марганцовистий сталевий лом. Прийнято: 387 кг вуглецевого сталевих лома й 443 кг марганцовистого сталевих лома.

В 1 т сталі повинне бути Mn -13% (130 кг), а переходить у метал у наслідок вигару тільки 65 кг, тому необхідно додатково вводити 65 кг марганцю. При засвоєнні з феросплаву 90 % марганцю й при вмісті у феромарганці 78 % Mn необхідна кількість FeMn по формулі становить:

$$\frac{65}{0.78 \times 0.9} = 92,6 \text{ кг}$$

Аналогічно розраховуємо кремній. Необхідно:

$$\frac{1000}{100} 0.7 = 7 \text{ кг}$$

Вноситься із шихтою 5,06 кг, необхідно додати 1,94 кг.

$$\frac{194}{0.75} = 2,59 \text{ кг}$$

Розрахункові дані зведені в табл. 1.9 й 1.10.

Таблиця 1.9 Розрахунок річної потреби в металевій шихті для виплавки сталі 110Г13Л

| Найменування       | Марка  | Кг на 1 т металозавалки | Річна потреба, т |
|--------------------|--------|-------------------------|------------------|
| Повернення         |        | 170                     | 7846,01          |
| Лом сталевий       | 2А, 4А | 387                     | 17861,21         |
| Лом марганцовистий | 22Б    | 443                     | 20445,78         |
| Феромарганець      | ФМн78  | 92,6                    | 4273,768         |
| Ферросилицій       | ФС75   | 2,6                     | 119,9978         |
| Разом:             |        | 1095,2                  | 50546,77         |

Таблиця 1.10. Потреба у вогнетривких матеріалах і флюсах на 1 т рідкого металу

| Найменування              | ДСТУ, ТУ       | Потреба, кг/т | Річна потреба, т |
|---------------------------|----------------|---------------|------------------|
| Плавиковий шпат           | 29220-91       | 6,5           | 284,9            |
| Залізорудні катуни        | ТУ 14-9-151-81 | 15            | 657,6            |
| Флюсовий вапняк марки 3-1 |                | 32            | 1403             |
| Вогнетривкі матеріали:    |                |               |                  |
| Цегла магнезитова         |                | 18,5          | 811,1            |
| Цегла хромомагнезитова    |                | 18,9          | 828,6            |
| Глина вогнетривка         | ДСТУ 3226-93   | 10            | 438,4            |
| Шамот мелений             |                | 4             | 175,3            |
| Порошок магнезитовий      |                | 30            | 1315,3           |

|                                                                  |              |       |       |
|------------------------------------------------------------------|--------------|-------|-------|
| Вогнетривкі динасові<br>вироби марки ЕД1 або<br>ЕД, у тому числі | ДСТУ 2343-94 | 10,14 | 444,5 |
| цегла пряма вир.№ 2                                              |              | 2,56  | 112   |
| клин торцевий<br>двухсторонн. вир.№ 5                            |              | 3,12  | 136,7 |
| клин перехідний<br>двухстор. вир.№ 7                             |              | 2,48  | 108,7 |
| клин пірамідальний двох-<br>сторонній вир. № 9                   |              | 1,98  | 86,8  |
| Стопорний припас, у т.ч.                                         | 5500-75      |       |       |
| стопорна трубка марки<br>ШСП № 2                                 |              | 2,68  | 117,5 |
| пробка марки ШСП-37 №<br>10                                      |              | 0,3   | 13    |
| сталерозливочний стакан<br>ШСП-34 № 15-35                        |              | 0,11  | 4,8   |
| сталеразливочний стакан<br>ШСП-34 № 15-40                        |              | 0,004 | 0,17  |
| гніздова цегла ШСП-32<br>№ 38                                    |              | 0,02  | 0,87  |
| Вироби шамотні для<br>футеровки ковшів ШКУ-<br>39                | 5341-69      | 14,25 | 624,8 |
| №1                                                               |              | 1,57  | 68,8  |
| №3                                                               |              | 2,07  | 90,7  |
| №10                                                              |              | 5,22  | 228,8 |
| №11                                                              |              | 1,3   | 56,9  |
| №39                                                              |              | 4,090 | 179,3 |
| Вироби вогнетривкі<br>загального призначення                     | 8691-73      | 1,41  | 61,8  |
| ША-1 № 1                                                         |              | 1,26  | 55,6  |
| ША-1 № 45                                                        |              | 0,15  | 6,5   |
| Електроди графітізовані<br>діаметром 300 мм                      | 2-034-231-88 | 8,3   | 363,9 |

### 1.6.6 Технологія плавки

#### Методи виплавки

Виплавка сталі здійснюється наступними методами:

- методом окислювання на вуглецевій шихті;

- методом переплаву на сталевому марганцовистому ломі Б22 і технологічних відходах ливарного виробництва марганцовистих сталей з використанням відвального шлаків виробництва металевого марганцю.

Технологія плавки й видача стали 110Г13Л

### **Підготовка печі до плавки**

Заправлення печі виробляється відразу ж після випуску в мінімально короткий час, щоб уникнути охолодження футеровки печі. Після випуску плавки подина й укуси ретельно очищаються від залишків металу й шлаків. Наявність залишків металу на подині неприпустимо, особливо при переході на виплавку сталі іншої марки. Заправлення електропечі відбувається вручну або торкретмашиною. У першу чергу заправляються поглиблення і ями на подині сухим магнезитовим порошком, потім заправляються укуси магнезитовим порошком на водяному розчині рідкого скла. Забезпечується пологий укіс у випускного отвору. Робоча площадка біля ринви повинна бути футерована шамотною цеглою навколо ринви не повинно бути екрана.

### **Завалка**

Завалка шихти в піч відбувається негайно після заправлення, перед цим на подину задаються залізорудні катуні й вапняк у кількості 2...3% від металозавалки в співвідношенні 1:3.

При завантаженні шихти слід дотримуватися наступного порядку: на низ укласти дрібні шматки шихти, потім великі й середні, під електроди - дрібні.

Відношення між шматками окремих груп в % по масі:

|         |       |
|---------|-------|
| Великі  | - 40% |
| Середні | - 40% |
| Дрібні  | - 20% |

Дотримання зазначеного співвідношення забезпечує одержання об'ємної маси шихти 3...4...4 т/м<sup>3</sup>. Перед ввімкненням струму сталевар зобов'язаний перевірити стан системи охолодження, справність механізмів печі, електродів. Електроди не повинні мати тріщин і тонких кінців. Струмоведучі частини печі, звід, кожух - обдувається стисненим повітрям. Після огляду електропечі, якщо відсутні неполадки в устаткуванні й при наявності 80% зібраних готових до заливання форм, піч включається.

### **Плавлення шихти**

Плавлення шихти ведеться на повній потужності трансформатора до розплавлювання 70...80% всієї шихти. По розплавлюванню 70...80% всієї шихти на холодному металі відбувається скачування шлаку з метою видалення окислів фосфору й у піч задається нова порція шлакоутворюючих 1,5...2% від ваги металозавалки вапняку шамотного бою для розрідження шлаків. Після повного розплавлювання шихти метал ретельно перемішується й відбирається проба для визначення вмісту вуглецю, хрому, нікелю, фосфору, сірки, а для легованих сталей додатково на молібден, ванадій, титан.

## **Окисний період.**

Окиснювання металу виробляється залізорудними катунами при наявності необхідної температури й рідкорухомого основних шлаків. Початком окисного процесу вважається момент початку присадки в метал залізорудних катунів або початок кипіння металу при заданні залізорудних катунів у завалку. Вапняк й катуні в співвідношенні 3:1, задають у піч рівномірними порціями, підтримуючи енергійне кипіння металу протягом усього окисного періоду. Шлак протягом усього окисного періоду повинен бути пінистим, основним, рідкорухомим і самопливом сходити через поріг робочого вікна (для ефективного видалення фосфору). Протягом окисного періоду окислити 0,3...0,4 % вуглецю при швидкості окислювання 0,6...0,7 % у годину. Тривалість окисного періоду 30...50 хвилин. Перед скачуванням окисних шлаків метал нагрівають приблизно на випуску. Після затихання кипіння метал перемішують і відбирають пробу на вуглець, фосфор, хром, сірку, нікель.

У випадку появи на стосі магнезіальних шлаків, що свідчить про зрив магнезитового набивання подини й укосів печі, шлаки необхідно розрідити піском або боєм магнезиту, скачати до дзеркала металу й навести новий.

Доведення металу провести при зниженій температурі й прискорити випуск плавки. Найбільший ступінь дефосфорації досягається при співвідношенні Сао : Feo в шлаку рівної 3:1 і збільшується з підвищенням основності шлаків. Зі зниженням Сао в шлаку процес дефосфорації сповільнюється й не дає ефекту.

Введення в метал більших порцій катунів може викликати охолодження металу й кипіння буде слабким, а надлишок у ванні не прореагованих катунів при наступному підвищенні температури може викликати бурхливе окиснювання вуглецю з утворенням великої кількості газів, створенню великого позитивного тиску в печі, що може привести до викиду металу й шлаків, підйому й обвалу зводу, тобто створенню аварійної ситуації.

Перед скачуванням окисних шлаків метал нагріти на 20 –30°C вище температури металу на випуску (1540...1550°C).

Вміст вуглецю в металі до моменту скачування шлаків не повинне перевищувати 0,1%, фосфору не більше 0,015%.

При вмісті вуглецю в сталі 0,1% (про що свідчить хімічний аналіз сталі по ходу плавки) припинити присадку катунів у метал і зробити витримку до затихання стос.

Скачивання окисних шлаків до дзеркала металу сухими дерев'яними шкребками.

## **Рафінування**

Після скачування окисних шлаків метал раскислити силикомарганцем у кількості 40 кг/т і навести новий з вапна й плавикового шпату в кількості 1...1,5% від маси металу й приступитися до легування сталі феромарганцем марки Фмн78А, феромарганець задавати у два прийоми через 10 хв.

Після кожної присадки феромарганцю в піч задавати жужільну суміш, що складається з вапна, меленого коксу й меленого 75% ферросиліцію в співвідношенні 5:2:1 у кількості 5...6кг/т.

Після присадки чергової порції феромарганцю метал перемішати металевими гребками. Протягом усього періоду рафінування шлаки раскисляти розкиснювальною сумішшю, що складається з меленого 75% ферросиліцію й меленого коксу в співвідношенні 1:2 по масі в кількості 6...8 кг/т.

У результаті розкиснення шлак повинен на повітрі розсипатися в білий або сірий порошок і мати зміст  $FeO < 1,5\%$ ,  $Mn < 3\%$ . Потім зробити витримку під білими шлаками 20...30 хв.

Модифікування й розкиснення сталі титаном відбувається за допомогою титанової губки. Допускається заміна титанової губки ферротитаном. Ферротитан присадити за 5...10 хв. До випуску плавки в нагрітій до температури випуску й раскиснений метал. Шлак повинен бути високоосновний, рідкотекучий, розкиснений. Витрата ферротитана при вмісті в ньому титана 33% становить 4кг/т рідкої сталі. Засвоюваність титана з ферротитана становить 50...60%. При перегрітому металі, низько-основному й погано раскисненому шлаках засвоюваність титана складе 25...30%. За 15 хвилин до випуску шлаки розріджують плавиковим шпатом і корегують хімічний склад металу по хрому й нікелю, по марганці й кремнію за 5 хвилин до випуску, а також роблять вимір температури металу.

### **Випуск плавки**

Випуск плавки відбувається при наявності рідкотекучого шлаку нагрітого до температури металу й одержанням заданого хімічного складу.

Затримка готової плавки в печі більше 15 хв. забороняється.

При випуску металу з печі ринва повинен бути справним, сухого й чистим від піску й сміття.

Ківш подавати в піч чистий і підігрітий до температури 600...700°C за 5...10 хв до випуску.

Обробляється випускний отвір, відключається піч й відбувається випуск плавки в ківш. Випуск відбувається коротким і компактним струменем. На ділянці заливання форм проводиться вимір температур.

Тривалість періодів плавки:

|                         |          |
|-------------------------|----------|
| заправлення             | - 10 хв. |
| завалка                 | - 10 хв. |
| плавлення               | - 70 хв. |
| окислювання             | - 30 хв. |
| легування й рафінування | - 70 хв. |
| випуск                  | - 10 хв. |

Разом: 3 години 20 хв.

### **1.6.7 Ковшова ділянка**

Для розливання сталі використовуємо стопорні ковші.  
Інвентарний парк ковшів  $K_{\text{и}}$  для кожного визначаємо за формулою:

$$K_{\text{и}} = K_{\text{роб}} + K_{\text{рем}} + K_{\text{рез}},$$

де  $K_{\text{роб}}$ ,  $K_{\text{рем}}$ ,  $K_{\text{рез}}$  – кількість ковшів, які одночасно працюють, у ремонті і в резерві, відповідно.

Кількість одночасно працюючих ковшів визначаємо за формулою:

$$K_{\text{раб}} = \frac{N \cdot Z}{60 \cdot n \cdot S \cdot t},$$

де  $N$  – кількість форм, які підлягають заливці протягом доби, шт.,  
 $Z$  – тривалість одного циклу, мін.,  
 $n$  – кількість форм, що заливаються з одного ковша за один цикл, шт.,  
 $S$  – кількість робочих змін в добу, шт  
 $t$  – тривалість однієї зміни в годинах.

Виходячи з того, що у формувальному відділенні встановлені автоматичні лінії, які постійно вимагають рідкого металу для заповнення форм, передбачається:

- для першого технологічного потоку кількість одночасно працюючих ковшів приймаємо 2, і відповідно 1 ремонтний й 1 резервний;
- для другого технологічного потоку приймаємо 2 працюючі ковші, і відповідно 1 ремонтний й 1 резервний.

Інвентарний парк ковшів цеху становить 4 працюючі ковші, 2 ремонтних й 2 резервних ковші місткістю 6 тон.

## **1.7 Формувально-заливне відділення**

### **1.7.1 Програма відділення**

Програму формуально-заливного відділення (табл. 1.9.) розробляємо на підставі даних програми виробництва виливків у цеху. Річну кількість виливків приймаємо з урахуванням покриття браку.

### **1.7.2 Організація технологічних потоків**

Для визначення переліку технологічних і підйомно-транспортних операцій, шляхів їх реалізації і взаємозв'язку, на підставі аналізу програми відділення групуємо відливки в певні технологічні потоки (за масою, єдиним технологічним процесом).

Таблиця 1.11 – Зведені дані розрахунку програми формувально-заливного відділення

| Група за масою, кг | Наймен-ня виливків | Річний випуск виливків шт | Маса однієї відливк и кг | Кіл-сть виливкі в в формі, шт | Річна кількість форм, шт | Брак форм | форм на річну програму |
|--------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------|------------------------|
|                    |                    |                           |                          |                               |                          | %         |                        |
| 100-250            | Шкив               | 60900                     | 150                      | 6                             | 10150                    | 3         | 10455                  |
|                    | Блок               | 34903                     | 175                      | 6                             | 5818                     | 3         | 5993                   |
|                    | Рама               | 38062                     | 240                      | 4                             | 9516                     | 3         | 9802                   |
| Разом по 1 потоку  |                    | 133762                    |                          |                               | 25484                    |           | 26250                  |
| 250-500            | Бронь поясу        | 43458                     | 280                      | 4                             | 10865                    | 3         | 11191                  |
|                    | Футеровк а         | 41294                     | 442                      | 2                             | 20647                    | 3         | 21267                  |
|                    | Конусна бронь      | 12416                     | 490                      | 2                             | 6208                     | 3         | 6395                   |
| Разом по 2 потоку  |                    | 97168                     |                          |                               | 37720                    |           | 38853                  |
| Разом по цеху      |                    | 230930                    |                          |                               | 63204                    |           | 65503                  |

### Організація технологічних потоків

Для визначення переліку технологічних і підємно - транспортних операцій, шляхів їхньої реалізації й взаємозв'язку необхідно на підставі аналізу програми відділення згрупувати всі виливки в певні технологічні потоки, спеціалізованому по детальній ознаці або єдиному технологічному процесі (з урахуванням марок сплавів).

Відповідно до рекомендацій, у перший потік потрапляють виливки масою 100-250 кг, а в другий потік 250-500 кг. Розміри й середню металоємність форми для групових потоків визначаємо згідно табл. 1.11:

При цьому, визначаючи металоємність форм урахуємо, незважаючи на те що в першому потоці виготовляються виливки масою 100-250 кг, а в другому потоці 250-500 кг, їхня металоємність буде однакова, це обумовлено кількістю виливків у формі.

Для потоку I – розмір опоки у світлі 2000×1600; середня висота форми 1200мм; коефіцієнт використання обсягу форми  $\eta'_\phi = 0,18$ ; середня маса придатних виливків у формі  $q = 1200$ кг.

Для потоку II – розмір опоки у світлі 2000×1600; середня висота форми 1200 мм; коефіцієнт використання обсягу форми  $\eta'_\phi = 0,18$ ; середня маса придатних виливків у формі  $q = 1200$  кг.

Річне число форм й їхні розміри, середня й максимальна металоємність є основними вихідними даними проекту ливарного цеху в цілому. Програму випуску виливків по групових потоках оформлюємо у вигляді таблиці 1.12.

Приймаємо для першого потоку лінію Л665, для другого потоку 2 лінії Л665

При виборі технологічного устаткування для формувально - заливального відділення враховані наступні фактори: розмір, висота опок, продуктивність (циклова), потужність цеху, габаритні розміри й маса виливків.

Аналізом роботи цехів з використанням аналогічного устаткування встановлено, що дані лінії досить надійні в роботі й ремонтно - здатні, тому що побудовані по блочно-модульному принципі. Кожен модуль оснащений мікропроцесорною технікою для автоматичної діагностики невідправностей.

Таблиця 1.12 – Розподіл формувально-заливних робіт за груповими технологічними потоками

| № потока<br>група<br>виливок за<br>масою | Річний<br>випуск<br>виливо<br>к, шт. | Середн<br>я масса<br>одної<br>виливк<br>и, кг. | Средне число<br>виливок в<br>формі, шт.<br>(її<br>металоємність,<br>кг.) | Годово<br>е<br>количе<br>ство<br>форм,<br>шт. | Размеры<br>опок:<br>длина,<br>ширина,<br>высота<br>верх/низ | Тип<br>формово<br>чных<br>агрегатов<br>, линий |
|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| I                                        |                                      |                                                |                                                                          |                                               |                                                             |                                                |
| Шкив                                     | 60900                                | 150                                            | 6<br>(1200)                                                              | 10150                                         | 2000×<br>1600×600<br>×600                                   | Л665                                           |
| Блок                                     | 34903                                | 175                                            | 6<br>(1200)                                                              | 5818                                          |                                                             |                                                |
| Рама                                     | 38062                                | 240                                            | 4<br>(1200)                                                              | 9516                                          |                                                             |                                                |
| II                                       |                                      |                                                |                                                                          |                                               |                                                             |                                                |
| Бронь<br>пояса                           | 43458                                | 280                                            | (1200)                                                                   | 10865                                         | 2000×<br>1600×600<br>×600                                   | Л665                                           |
| Футеровка<br>шаровой<br>мельницы         | 41294                                | 442                                            | (1200)                                                                   | 20647                                         |                                                             |                                                |
| Конусная<br>бронь                        | 12416                                | 490                                            | 2<br>(1200)                                                              | 6208                                          |                                                             |                                                |

### 1.7.3 Розрахунок потрібної кількості технологічного устаткування

Беручи до уваги технологічний процес, необхідний розмір опок, продуктивність залежно від маси, об'єму і серійності виробництва, проаналізувавши перелік устаткування, що випускається, і враховуючи його

параметри, ухвалюємо рішення встановити для 1-го потоку лінію Л665, для 2-го потоку – Л665.

Кількість поточкових ліній визначаємо за формулою:

$$P_{\text{л}} = \frac{N \cdot K_{\text{н}}}{n \cdot \Phi_{\text{д}}};$$

$$K_{\text{з}} = \frac{P_{\text{л}}}{P_{\text{у}}}$$

де  $P_{\text{л}}$  і  $P_{\text{у}}$  – кількість ліній за розрахунком і прийнятих до установки, шт.;

$N$  – річна кількість форм даного потоку, шт.;

$n$  – продуктивність лінії, форм / ч.;

$\Phi_{\text{д}}$  – дійсний річний фонд часу, ч.;

$K_{\text{н}}$  – коефіцієнт нерівномірності роботи формувальної лінії, який приймаємо 1,1 - 1,2;

$K_{\text{з}}$  – коефіцієнт завантаження формувальної лінії, повинен бути в межах 0,7-0,8.

Визначаємо кількість поточкових ліній:

$$D_{\text{е}} = \frac{63204}{8 \cdot 5340} = 1,48$$

$$\hat{E}_{\zeta} = \frac{1,48}{2} = 0,74 - 2 \text{ поточные линии Л665.}$$

За технологічною необхідністю встановлюємо 4 крани, які необхідні для транспортування масивних частин модельно - опочного оснащення, великих стрижнів, доставки металу й т.п.

### Технічна характеристика й технологічний цикл лінії Л665

Лінія Л665 призначена для виготовлення виливків у формах з рідких сумішей, що самотвердіють (РСС) в опоках з розмірами у світлі 2000×1600 мм.

Таблиця 1.13 - Технічна характеристика лінії:

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| Річний випуск виливків                                   | 20000     |
| Розмір опок, мм:у світлі                                 | 2000×1600 |
| висота                                                   | 600       |
| Продуктивність (циклова), форм/ч                         | 8         |
| Металоємність форми, кг.                                 | 1200      |
| Середня маса виливків, кг                                | 1200      |
| Найбільша маса форми, кг                                 | 6000      |
| Кількість робітників, що обслуговують лінію в одну зміну | 5         |

|                                                |                  |
|------------------------------------------------|------------------|
| Метод ущільнення суміші                        | наливом          |
| Витрата формувальної суміші, м <sup>3</sup> /ч | 30               |
| Час охолодження форм, хв.                      | 120              |
| Установлена потужність, кВт                    | 130,5            |
| Габарит, мм                                    | 41600x15500x6450 |
| Маса, т                                        | 156              |

Технологічний цикл лінії Л665:

- підготовка модельних комплектів й установка порожніх опок;
- заливання РСС й ущільнення вібрацією;
- попереднє отвердіння суміші;
- витяжка моделей;
- установка напівформ на піддони;
- продувка CO<sub>2</sub>;
- проставляння стрижнів;
- зборка, заливання й охолодження форм;
- видавлювання грудки й роз'єднання комплекту опок;
- передача брикетів на вибивку й відділення виливків від суміші;
- очищення внутрішніх поверхонь опок від залишків суміші;
- кантування нижніх опок і подачу опок на формування.

У лінії передбачена ділянка повернення модельного оснащення.

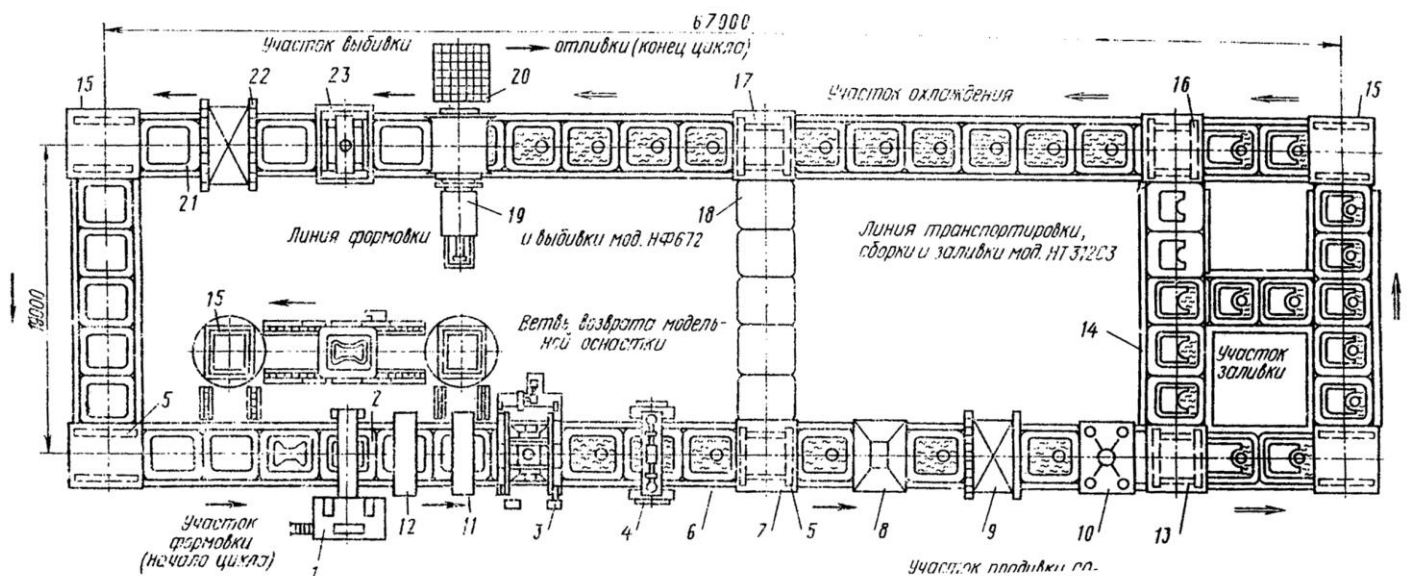


Рис. 1.1 Модель Л665

Таблиця 1.14 – Найменування устаткування

| Позиція | Найменування устаткування                             | Кількість |
|---------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 1       | Установка РСС                                         | 1         |
| 2       | Вібростіл                                             | 1         |
| 3       | Кантувач                                              | 1         |
| 4       | Механізм зрізання надлишків суміші                    | 1         |
| 5       | Рольганг                                              | 13        |
| 6       | Рольганг                                              | 58        |
| 7       | Механізм установки напівформ на піддони               | 1         |
| 8       | Камера продувки CO <sub>2</sub> і сушіння напівформ   | 1         |
| 9       | Кантувач верхніх напівформ                            | 1         |
| 10      | Збирач форм                                           | 1         |
| 11      | Пристрій витяжки                                      | 1         |
| 12      | Пристрій продувки CO <sub>2</sub>                     | 1         |
| 13      | Укладальник вантажів                                  | 1         |
| 14      | Естакада для передачі вантажів                        | 1         |
| 15      | Піднімальний стіл                                     | 13        |
| 16      | Механізм знімання вантажів                            | 1         |
| 17      | Механізм знімання форм із піддона й очищення піддонів | 1         |
| 18      | Естакада передачі піддонів                            | 1         |
| 19      | Установка вибивна                                     | 1         |
| 20      | Віброгрозіт                                           | 1         |
| 21      | Механізм очищення опок                                | 1         |
| 22      | Кантувач нижніх опок                                  | 1         |
| 23      | Розпаровщик                                           | 1         |

## 1.8 Стрижневе відділення

### 1.8.1 Програма стрижневого відділення

Розробка програми стрижневого відділення виконується для умов дрібносерійного виробництва.

Брак стрижнів приймаємо 10%. Кількість стрижнів, в відповідних об'ємах і мас, визначаємо за усередненими даними потреби стрижнів на 1 тонну придатних виливок.

Для визначення оптимальних технологічних процесів виготовлення стрижнів і відповідних виробничих потоків проводимо комплексний аналіз початкових даних і ситуативних передумов. В першу чергу, на підставі програми відділення, оцінюємо можливість угруповання стрижнів різних мас і розмірів в однотипні виробничі потоки (табл. 1.15).

Таблиця 1.15 – Розрахункові дані кількості стрижнів на програму цеха

| № групи | Група стрижнів за масою,кг за об'ємом, дм³ | Кількість стрижнів для груп виливків (шт/дм³) |                                 |              |                                 | Разом по групах стрижнів, шт/м³ | Разом з урахуванням браку 10 % |
|---------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|         |                                            | До 100 кг                                     |                                 | 101-200 кг   |                                 |                                 |                                |
|         |                                            | Норма на 1 тн                                 | На 24360 т виливків по програмі | Норма на 1 т | На 36504 т виливків по програмі |                                 |                                |
| 1.      | <u>0,5</u>                                 | <u>5,0</u>                                    | <u>121800</u>                   | <u>4,3</u>   | <u>156967</u>                   | <u>278767</u>                   | <u>306644</u>                  |
|         | 0,3                                        | 1,5                                           | 36540                           | 1,3          | 47455                           | 83995                           | 92,395                         |
| 2.      | <u>1,75</u>                                | <u>4,5</u>                                    | <u>109620</u>                   | <u>3,5</u>   | <u>127764</u>                   | <u>237384</u>                   | <u>261122</u>                  |
|         | 1,05                                       | 4,7                                           | 114492                          | 3,7          | 135065                          | 249557                          | 274,513                        |
| 3.      | <u>4,25</u>                                | <u>3,7</u>                                    | <u>90132</u>                    | <u>2,0</u>   | <u>73008</u>                    | <u>163140</u>                   | <u>179454</u>                  |
|         | 2,5                                        | 9,5                                           | 231420                          | 5,1          | 186170                          | 417590                          | 459,349                        |
| 4.      | <u>8,0</u>                                 | <u>4,3</u>                                    | <u>104748</u>                   | <u>3,3</u>   | <u>120463</u>                   | <u>225211</u>                   | <u>247732</u>                  |
|         | 4,75                                       | 20,0                                          | 487200                          | 16,0         | 584064                          | 1071264                         | 1178,390                       |
| 5.      | <u>13,35</u>                               | <u>2,7</u>                                    | <u>65772</u>                    | <u>1,9</u>   | <u>69358</u>                    | <u>135133</u>                   | <u>148646</u>                  |
|         | 8,0                                        | 21,6                                          | 526176                          | 15,2         | 554861                          | 1081037                         | 1189,140                       |
| 6.      | <u>20,85</u>                               | <u>1,5</u>                                    | <u>36540</u>                    | <u>2,2</u>   | <u>80309</u>                    | <u>116849</u>                   | <u>128534</u>                  |
|         | 12,5                                       | 18,8                                          | 457968                          | 27,5         | 1003860                         | 1461828                         | 1608,011                       |
| 7.      | <u>32,5</u>                                | <u>2,7</u>                                    | <u>65772</u>                    | <u>1,4</u>   | <u>51106</u>                    | <u>116878</u>                   | <u>128566</u>                  |
|         | 19,5                                       | 52,6                                          | 1281336                         | 27,3         | 996559                          | 2277895                         | 2505,685                       |
| 8.      | <u>50,0</u>                                | <u>2,1</u>                                    | <u>51156</u>                    | <u>1,8</u>   | <u>65707</u>                    | <u>116863</u>                   | <u>128549</u>                  |
|         | 30,0                                       | 62,0                                          | 1510320                         | 54,0         | 1971216                         | 3481536                         | 3829,690                       |
| 9.      | <u>80</u>                                  | <u>1,5</u>                                    | <u>36540</u>                    | <u>2,2</u>   | <u>80309</u>                    | <u>116849</u>                   | <u>128534</u>                  |
|         | 48                                         | 72,0                                          | 1753920                         | 106,0        | 3869424                         | 5623344                         | 6185,678                       |
| 10.     | <u>175</u>                                 | <u>0,5</u>                                    | <u>12180</u>                    | <u>1,2</u>   | <u>43805</u>                    | <u>55985</u>                    | <u>61584</u>                   |
|         | 105                                        | 52,5                                          | 1278900                         | 126          | 4599504                         | 5878404                         | 6466,244                       |
| 11.     | <u>425</u>                                 | <u>0,1</u>                                    | <u>2436</u>                     | <u>0,4</u>   | <u>14602</u>                    | <u>17038</u>                    | <u>18742</u>                   |
|         | 255                                        | 25,5                                          | 621180                          | 102,0        | 3723408                         | 4344588                         | 4779,047                       |
| 12.     | <u>800</u>                                 | -                                             | -                               | <u>0,2</u>   | <u>7301</u>                     | <u>7301</u>                     | <u>8031</u>                    |
|         | 480                                        | -                                             | -                               | 96,0         | 3504384                         | 3504384                         | 3854,822                       |
| 13.     | <u>1355</u>                                | -                                             | -                               | <u>0,1</u>   | <u>3650</u>                     | <u>3650</u>                     | <u>4015</u>                    |
|         | 800                                        | -                                             | -                               | 80           | 2920320                         | 2920320                         | 3212,352                       |

### 1.8.2 Розробка схеми технологічного процесу виготовлення стрижнів

Виготовлення стрижнів відбувається на автоматичних лініях. Стрижні масою до 16 кг виготовляються на лінії Л16Ж; стрижні масою від 16 до 100 кг виготовляються на лінії Л100Ж; стрижні масою від 100 кг виготовляються на лінії Л600Ж.

Автоматизовані стрижневі лінії на базі змішувача безперервної дії з застосуванням рідкоскляних суміщей (РСС) для виготовлення стрижнів. Лінії призначені для освоєння в різносерійному виробництві.

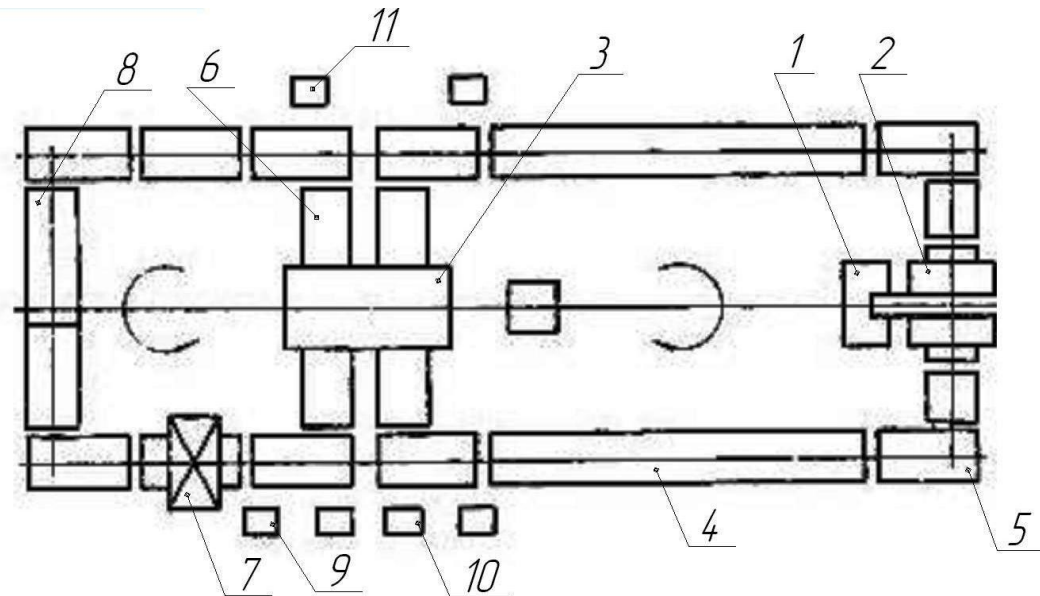


Рис. 1.2 Автоматична стрижньова лінія Л16Ж:

- змішувач безперервної дії для приготування РСС.
- стіл вібраційний
- машина стрижньова поворотно витяжна
- система роликів конвеєрів
- роликів конвеєр з під'ємним столом
- роликів конвеєр – досілач
- камера очистки плит
- роликів конвеєр з під'ємно- поворотним столом
- пневмошафа
- електрообладнання
- пульт управління

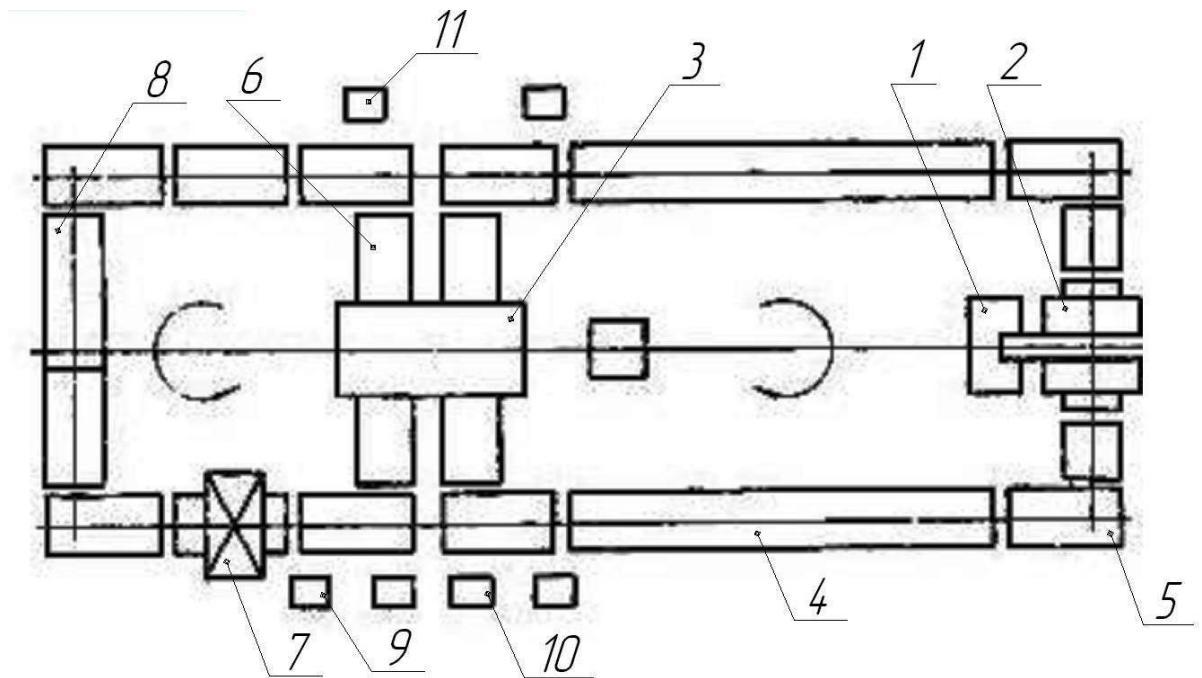


Рис. 1.3. Автоматична стрижньова лінія Л100Ж:

- змішувач безперервної дії для приготування РСС.
- стіл вібраційний
- машина стрижньова поворотно витяжна
- система роликів конвеєрів
- роликів конвеєр з під'ємним столом
- роликів конвеєр – досілач
- камера очистки плит
- роликів конвеєр з під'ємно- поворотним столом
- пневмошафа
- електрообладнання
- пульт управління

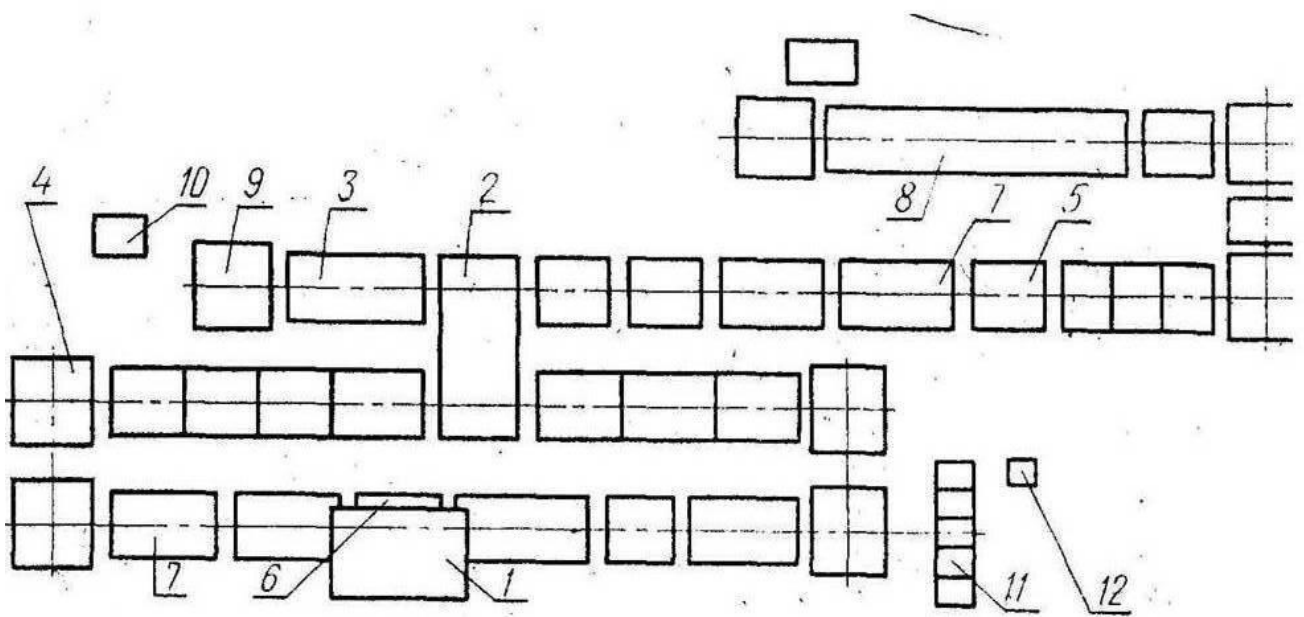


Рис. 1.4 Автоматична стрижньова лінія Л600Ж:

- змішувач періодичної дії для приготування РСС з установкою періодичної дії для приготування рідкої композиції;
- машина стрижньова поворотно витяжна;
- система роликів конвеєрів;
- роликів конвеєр з під'ємним мостиком;
- роликів конвеєр з під'ємно- поворотним столом;
- роликів конвеєр з вібростолом;
- роликів конвеєр вісікателями;
- конвеєр пластинчастий;
- вкладач плит;
- контейнер;
- електрообладнання;
- пульт управління.

### 1.8.3 Розрахунок необхідної кількості технологічного устаткування

Розрахунок потрібної кількості технологічного і підйомно-транспортного устаткування.

Кількість поточкових ліній для першого потоку:

$$D_N = \frac{A \cdot \hat{E}_i}{\hat{O}_A \cdot n} = \frac{503916 \cdot 1}{30 \cdot 5340} = 3.14$$

$$\hat{E}_c = \frac{D_N}{D_o} = \frac{3.14}{4} = 0.78$$

де  $P_c$  і  $P_y$  – кількість устаткування з розрахунку й прийняте до установки, шт.;

$A$  - річна кількість съёмов по даному потоці (ділянці), шт.;

$K_n = 1$  – коефіцієнт нерівномірності споживання стрижнів, приймають 1,0-1,3 залежно від серійності виробництва;

$\Phi_d = 5340$  – дійсний річний фонд часу роботи устаткування, ч;

$n = 30$  - розрахункова продуктивність устаткування, знімач / ч;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження встаткування (повинен бути в межах 0,7-0,85, але не більше  $K_3$  формувального встаткування).

Для другого потоку:

$$D_N = \frac{\dot{A} \cdot \hat{E}_I}{\hat{O}_A \cdot n} = \frac{353500 \cdot 1}{30 \cdot 5340} = 2.2$$

$$\hat{E}_\zeta = \frac{D_N}{D_0} = \frac{2.2}{3} = 0.74$$

Для третього потоку:

$$D_N = \frac{\dot{A} \cdot \hat{E}_I}{\hat{O}_A \cdot n} = \frac{36811 \cdot 1}{8 \cdot 5340} = 0.85$$

$$\hat{E}_\zeta = \frac{D_N}{D_0} = \frac{0.85}{1} = 0.85$$

## 1.9 Сумішоприготувальне відділення

### 1.9.1 Програма сумішеприготувального відділення

Програма сумішоприготувального відділення включає розрахунок витрат відповідних видів формувальних і стрижневих сумішей, а також їх компонентів кожного технологічного потоку і цеху у цілому. Також врахована потрібна кількість пісків і вогнетривкої глини для ремонту розливних ковшів, плавильних, сушильних і термічних печей, оскільки транспортні і навантажувально-розвантажувальні операції виконують на складах формувальних матеріалів.

Для проектного цеху річну витрату формувальних сумішей визначаємо розрахунком, виходячи з розмірів і числа форм, що виготовляються.

Оскільки проектований цех – цех серійного виробництва, то розрахунок потрібної кількості формувальних сумішей виконують за середніми нормами їх витрати залежно від групи виливків за масою.

Потребу у стрижневих сумішах визначаємо за питомою витратою суміші на 1т виливків для кожної вагової групи стрижнів, з урахуванням розподілу їх за груповими технологічними потоками і прийнятого виду суміші відповідного потоку (табл. 1.16).

Таблиця 1.16а. – Розрахункова відомість витрати формувальних сумішей

| Група виливків за масою, кг                                             | Річний випуск придатного литва, тон. | Витрата суміші, тон. |                  |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------------|
|                                                                         |                                      | на 1 т виливків      | на річний випуск |
| 100-250                                                                 | 24360                                | $K_1=8,88$           | 216316           |
| 250-500                                                                 | 36504                                | 8,88                 | 324156           |
| Разом по розрахунку                                                     | 60864                                | 8,88                 | 540472           |
| Разом з урахуванням браку виливків та форм(6%) и розсипи(10%), $K=1,16$ |                                      |                      | 626947           |

Таблица 1.166. розрахункова відомість витрати стрижньових сумішей

| Группа стержней по<br>массе, кг     | Вид смеси | Расход смеси |                |
|-------------------------------------|-----------|--------------|----------------|
|                                     |           | тн           | м <sup>3</sup> |
| До16кг                              | ЖСС       | 4311         | 3193           |
| 16-100                              |           | 19074        | 14129          |
| Свыше 100                           |           | 24721        | 18312          |
| Итого с учетом<br>просыпи<br>K=1,14 |           | 54841        | 40624          |

Для кожного виду сумішей визначаємо рецептуру і на підставі їх потреби розраховуємо кількість необхідних компонентів на річну програму випуску виливків (табл. 1.17).

### 1.9.2 Розробка схеми технологічного процесу

Основні принципи розробки технологічного процесу у сумішоприготувальному відділенні викладені у регламенті виконання проекту (п. 1.9.1). У даному розділі, використовую дані про потребу всіх видів сумішей і початкових матеріалів для їх приготування, обгрунтовано вибираємо оптимальні варіанти виконання основних технологічних і транспортних операцій, і чітко пов'язуємо їх в єдину систему.

Беремо до уваги, що від стабільності роботи сумішоприготувального відділення залежить нормальне функціонування всього ливарного цеху. Тому будь-які упущення і помилки при проектуванні, які дуже важко усувати після здійснення будівельно-монтажних робіт, неминуче знайдуть віддзеркалення у процесі виробництва виливків. Акцентуємо увагу ще на одну обставину. Важливо забезпечити не тільки суворе дотримання рецептури сумішей і необхідні якісні показники, але і стабільність властивостей протягом всього виробничого циклу.

У загальному вигляді технологічна схема сумішоприготувального відділення є єдиною системою, яка об'єднує транспортними магістралями три виробничі потоки:

- 1 - підготовка початкових формувальних матеріалів;
- 2 - приготування формувальних і стрижневих сумішей;
- 3 - доведення сумішей до необхідної якості.

Таблица 1.17 – Рецептура сумішей і річна потреба формувальних матеріалів

| Наименование смеси                                    | Годовой расход смеси, т | Состав и расход компонентов смесей |       |           |    |                    |   |                  |    |               |   |        |     |     |      |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------|-----------|----|--------------------|---|------------------|----|---------------|---|--------|-----|-----|------|
|                                                       |                         | Кварцевый песок                    |       | Регенерат |    | феррохромовый шлак |   | Пылевидный кварц |    | жидкое стекло |   | Дс-РАС |     | НЧК |      |
|                                                       |                         | т                                  | %     | т         | %  | т                  | % | т                | %  | т             | % | т      | %   | т   | %    |
| Формовочная ЖСС                                       | 626947                  | 311906                             | 49,75 | 188084    | 30 | 31347              | 5 | 94042            | 15 | 43886         | 7 | 1253   | 0,2 | 313 | 0,05 |
| Стержневая ЖСС                                        | 54841                   | 27283                              | 49,75 | 16452     | 30 | 2742               | 5 | 8226             | 15 | 3839          | 7 | 110    | 0,2 | 27  | 0,05 |
| ИТОГО                                                 | 681788                  | 339189                             | 49,75 | 204536    | 30 | 34089              | 5 | 102268           | 15 | 47725         | 7 | 1363   | 0,2 | 340 | 0,5  |
| Всего с учетом потребности для ремонта печей и ковшей |                         | 376500                             | 49,75 | 204536    | 30 | 34089              | 5 | 102268           | 15 | 47725         | 7 | 1363   | 0,2 | 340 | 0,5  |

### **1.9.2.1 Підготовка початкових формувальних матеріалів**

У циклі підготовки пісків виконуємо дві основні операції: сушку і просіювання..

Підготовка зворотньої суміші включає такі операції: роздавлювання грудок, витягання і видалення металевих включень, просіювання для видалення дрібних грудок і охолодження для стабілізації температури і вогкості.

Сирі грудки руйнуються в процесі просіювання у полігональних і вібраційних ситах, які використовують на ділянці.

При виготовленні середніх і крупних виливків у сухих і підсушених формах, коли час обороту суміші перевищує 8 г, як у нашому випадку, спеціальне устаткування для її охолодження не потрібне, як і при співвідношенні маси суміші до маси металу, що заливається, у сирі форми більше 6. Процес регенерації (відновлення) відпрацьованої суміші дозволяє видалити з неї залишки связуючого і дрібну фракцію.

Сушку піску проводимо у горизонтальному барабанному сушилі, перевага якого полягає у виключенні пережога матеріалів.

Відпрацьована формувальна суміш, вибита з опок, перед повторним використанням повинна бути заздалегідь перероблена. У механізованих цехах відпрацьована суміш подається з-під вибивних ґрат стрічковим транспортером у сумішопідготовче відділення.

Дуже важливими операціями при виготовленні формувальних і стрижневих сумішей є зволоження і перемішування. Ретельне перемішування суміші необхідне для рівномірного розподілу її складових. При перемішуванні глина і связуюче обволікає зерна піску, грудки окремих складових руйнуються і рівномірно розподіляється волога. Добре перемішана суміш володіє максимальною міцністю і газопроникністю. Для перемішування суміші застосовують чашечні змішувачі з вертикально-обертальними катками.

### **1.9.2.2 Приготування формувальних і стрижневих сумішей**

При розробці схеми технологічного процесу приготування сумішей враховуємо дві обставини.

По-перше, визначаємо об'єкт монтажу устаткування.

По-друге, визначаємо точність дозування формуваних матеріалів, тому що для стабільності роботи устаткування дуже важливо не допустити навіть незначні відхилення від заданого складу і фізико-механічних властивостей суміші.

Процес виготовлення піщаної суміші зводиться до таких операцій: дозування всіх компонентів, завантаження їх в певній послідовності і перемішування для забезпечення однорідності і заданих властивостей суміші.

Для відмірювання крупних порцій матеріалу (500-2000 кг) придатні компактні і достатньо точні (відхилення 4-5 %) стрічкові дозатори. Найвищу точність дозування забезпечують вагові бункерні дозатори. Рідкі складові сумішей (воду, связуючі, суспензії і ін.) відмірюємо об'ємними дозаторами, хоча для цього використовують переважно вагові. Пилоподібні добавки вводимо у

вигляді суспензії із співвідношенням твердого до рідкого 1:3. Але при цьому перевіряємо розрахунком вогкість готової суміші з урахуванням вологи, яка міститься у зворотній суміші. У разі перевищення заданої вогкості суспензію замінюємо сухими компонентами.

Приготування формувальної суміші проводимо в автоматичній системі сумішеприготування у складі лінії Л665

Приготування стрижньової РСС суміші проводимо в автоматичній системі сумішеприготування у складі ліній: Л16Ж; Л100Ж; Л600Ж.

Якість формувальних і стрижневих сумішей залежить від рівномірності розподілу вологи і суцільності плівки зв'язуючого на кожному зерні піску. Це досягається вилежуванням готової суміші у бункерах-відстійниках не менше 30 хв. Їх встановлюють на шляху від змішувача до споживача. Окрім основної функції ці буферні місткості одночасно виконують роль компенсаторів, які зменшують нерівномірність споживання суміші. Бункери обладнують живильниками різних типів пристроями, які запобігають зависанню суміші.

Місткість бункерів-відстійників приймають рівною витраті ділянки за 0,5-2 ч, а місткість бункерів для зворотньої суміші повинна бути рівною об'єму всієї суміші, що знаходиться у системі приготування, використання і на трасах транспортування.

Для розпушування суміші після виходу з бункерів-відстійників встановлюють аератори над стрічкою або у місцях пересипання.

Доведення суміші дозволяє підвищити її міцність і текучість, а зрештою попередити багато дефектів виливків.

### **1.9.3 Розрахунок потрібної кількості технологічного і підйомно-транспортного устаткування**

Розрахунок кількості технологічного устаткування розраховують за формулами:

$$N = \frac{Q \cdot K_3}{\Phi_d \cdot P};$$

$$N = \frac{Q \cdot K_3}{\Phi_d \cdot q},$$

де N - кількість одиниць устаткування;

Q - річна потреба суміші даного вигляду або компоненту, т;

$\Phi_d$  — дійсний річний фонд часу, ч.;

P - продуктивність устаткування, т/ч,

g - те ж, але в м<sup>3</sup>/ч неущільненої суміші,

K<sub>н</sub> - коефіцієнт нерівномірності споживання суміші, K<sub>н</sub>=1,3

Результати розрахунків всіх видів устаткування зводимо у таблицю 1.18.

Кількість мостових кранів на складі формувальних матеріалів приймаємо 1 кран на 30 м обслуговуваної ділянки.

Таблиця 1.18 – Розрахункова відомість технологічного устаткування сумішоприготувального відділення

| Технологічна операція         | Річна витрата суміші або матеріалів |                | Найменування устаткування                                  | Модель (тип) | Годинна продуктивність | Кількість устаткування |          | Коеф. завант-ня |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------|--------------|------------------------|------------------------|----------|-----------------|
|                               | т                                   | м <sup>3</sup> |                                                            |              |                        | розрахункова           | прийнята |                 |
| Сушка піску                   | 376500                              | 251000         | Барабанне сушило                                           | ПБ1-60       | 60 м <sup>3</sup> /год | 0,72                   | 1        | 0,72            |
| Просів піску                  | 376500                              | 251000         | Полігональне сито                                          | 176М         | 60 м <sup>3</sup> /год | 0,72                   | 1        | 0,72            |
| Приготування формувальної РСС | 626947                              | 464406         | Автоматична система сумішеприготування у складі лінії Л665 |              |                        |                        |          |                 |
| Приготування стрижневої РСС   | 54841                               | 40623          | Входить в систему ліній Л16Ж; Л100Ж; Л600Ж                 |              |                        |                        |          |                 |
| Регенерація                   | 204536                              | 163629         | Система мехрегенерації                                     | 14316        | 60 т/год               | 0,85                   | 1        | 0,85            |

## **1.10 Відділення фінішних операцій**

До числа фінішних операцій потрібно віднести:

- вибивку виливків з форм;
- охолодження виливків до нормальної температури;
- відділення від виливків елементів литниково-живлячої системи;
- видалення стрижнів і каркасів з внутрішніх порожнин;
- обрубкування і зачистку виливків;
- очищення виливків від пригару і окалини;
- виправлення дефектів з подальшим очищенням;
- проміжний (для виявлення дефектних і бракованих виливків) і завершальний (приймальний) контроль якості литих деталей;
- передачу виливків на склад або у механічні цехи.

Перелік операцій і засобів контролю для конкретних умов визначається шляхом аналізу технологічних карт на відливки.

### **1.10.1 Розробка програми і схеми технологічного процесу**

У технологічних картах на відливки відображені всі опрацювання, засновані на прогресивних методах доведення литих деталей до необхідної якості і товарного вигляду. При проектуванні цеху схема технологічного процесу розробляється в узагальнено-стадійній формі і зводиться до визначення переліку і послідовності завершальних операцій для їх виконання. При проектуванні відділення фінішних операцій розрахунок програми і розробку схеми технологічного процесу проводиться паралельно, оскільки, і об'єм виконаних робіт, і число операцій відрізняються для різних груп виливків, навіть близьких за масою і конфігурацією. Деякі операції можуть повторюватися.

На підставі аналізу програми виробництва виливків у цеху, ухвалених рішень його проектування, технологічної схеми формуально-заливного відділення і технічних характеристик устаткування для виконання завершальних операцій відливки різних мас і розмірів групують в однотипні виробничі потоки за принципом технологічної сумісності. Розподіл за потоками виконують на підставі подетальних розрахунків або за укрупненими показниками для окремих груп виливків. При масовому і великосерійному виробництві ланцюг потокової лінії потрібно вписати у безперервний цикл фінішних операцій із застосуванням устаткування безперервної дії.

Технологічний процес доводочних робіт має деякі особливості, зумовлені специфікою формування структури матеріалу виливків і його фізико-механічними властивостями у різних температурних інтервалах. Зокрема, при виробництві сталевих виливків, необхідна операція відрізки надливу. Причому, від виливків з середньовуглецевих сталей цю операцію виконують до термообробки. Об'єм післяопераційних робіт кожного потоку, у тому числі і на виправлення дефектів, оцінюють кількістю виливків (тонн, штук), що підлягають обробці у даному потоці.

Відносно ремонтних робіт необхідно зробити деякі уточнення. Число дефектних чавунних і сталевих виливків, які підлягають виправленню, потрібно приймати у частках від річного випуску ливарного цеху. Розрахунок кількості виливків, які підлягають виправленню, приведені у табл. 1.19.

Таблиця 1.19– Розрахунок кількості виливків, що підлягають виправленню

| Група виливків по масі, кг | Річний випуск виливків |        | Дефектні виливки |       |       |
|----------------------------|------------------------|--------|------------------|-------|-------|
|                            | т                      | шт     | норма            | т     | шт.   |
| 100-250                    | 24000                  | 131786 | 18               | 4320  | 23721 |
| 250-500                    | 36000                  | 95827  | 16               | 5760  | 15332 |
| Разом                      | 60000                  | 227613 |                  | 10080 | 39053 |

Розрахункові дані розподілу фінішних операцій і завантаженню відділення оформлюють у вигляді табл. 1.20. У цю ж таблицю рекомендується включити і розрахункову відомість технологічного устаткування відділення.

### Розрахунок кількості устаткування

Довжину конвеєрів (пластинчастих, підвісних) або площі ділянок для природного охолодження виливків розраховують на підставі норм часу, встановлених залежно від їх маси і виду сплаву. Результати розрахунку зводять у таблицю 1.20 .

Для розрахунку потрібної кількості технологічного і підйомного устаткування використовують дані про післяопераційне завантаження відділення і розрахункову продуктивність установок або агрегатів.

Розрахунок кількості устаткування виконують за формулою:

$$P_o = \frac{A \cdot K}{\Phi_d \cdot \Pi},$$

де  $P_o$  – кількість одиниць устаткування, шт.;

$A$  – маса (т) або кількість (шт.) виливків, які піддаються обробці на даному устаткуванні;

$K$  – коефіцієнт нерівномірності роботи устаткування;

$\Phi_d$  – дійсний фонд часу роботи устаткування, г;

$\Pi$  – продуктивність устаткування т/г або шт/г

Таблиця 1.20 - Розрахунок кількості устаткування

| Найменування операцій                        | Кількість виливок |        | Обладнання, од                                                                                           |                        |            |          | Коефіцієнт завантаження |
|----------------------------------------------|-------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|----------|-------------------------|
|                                              | т                 | шт     | Найменування і модель                                                                                    | Годинна продуктивність | розрахунок | прийнята |                         |
| Вибивка виливок І потоку                     | 24360             | 133762 | Передбачена в системі формувальної лінії Л665                                                            |                        |            |          |                         |
| Вибивка виливок ІІ потоку                    | 36504             | 97168  | Передбачена в системі формувальної лінії Л665                                                            |                        |            |          |                         |
| Очистка виливок і вибивка стрижнів І потоку  | 24360             | 133762 | Камера очисна дробеметна безперервної дії з обертливими підвісками і безперервно рухомих конвеєром 42733 | 35 шт./год.            | 0,79       | 1        | 0,79                    |
| Очистка виливок і вибивка стрижнів ІІ потоку | 36504             | 97168  | Установка електрогідравлічна конвеєрна безперервної дії 36414                                            | 8 т/год.               | 0,79       | 1        | 0,79                    |
| Відрізка ливників та надливів І потоку       | 24000             | 131786 | Абразивно – відрізний станок 82Л60                                                                       |                        |            | 2        |                         |

### Продовження таблиці 1.20

|                                                 |                 |        |                                                                        |           |      |   |      |
|-------------------------------------------------|-----------------|--------|------------------------------------------------------------------------|-----------|------|---|------|
| Відрізка<br>ливників та<br>надливів II<br>поток | 36000           | 95827  | Абразивно<br>– відрізний<br>станок<br>82Л90                            |           |      | 2 |      |
| Зачистка<br>виливоч І<br>поток                  | 24000           | 131786 | Механізо-<br>ваний<br>комплекс<br>для<br>зачистки<br>виливоч<br>99910  | 50кг/год. |      | 1 |      |
| Зачистка<br>виливоч II<br>поток                 | 36000           | 95827  | Механізо-<br>ваний<br>комплекс<br>для<br>зачистки<br>виливоч<br>99911М | 50кг/год. |      | 1 |      |
| Термообробк<br>а виливоч із<br>сталі<br>110Г13Л | 36000           | 95827  | Термопіч з<br>викотним<br>подом                                        | 4т/год.   | 1,5  | 2 | 0,78 |
| Термообробк<br>а виливоч із<br>сталі 35Л        | 24000           | 131786 | Термопіч з<br>викотним<br>подом                                        | 4т/год.   | 0,77 | 1 | 0,77 |
| Виправлення<br>дефектів                         | Ділянка заварки |        |                                                                        |           |      |   |      |

### Розрахунок площі шихтового відділення

Площа для зберігання шихтових і формувальних матеріалів визначається за формулою:

$$S = \frac{M \cdot t}{D_p \cdot H^*},$$

де М – річна потреба у даному матеріалі, т;

t – час зберігання на складі, дні;

D<sub>p</sub> – число робочих днів у році;

H – допустима висота зберігання,

м – об'ємна маса матеріалу, т/м<sup>3</sup>.

Розрахункові дані зводимо у таблицю 1.21.

| Матеріал                   | Річна потреба<br>, т | Об'ємна маса,<br>т/м³ | Запас на складі              |      | Місце зберігання | Висота зберігання, м | Площа зберігання, з урахуванням проходів та проїздів м² |
|----------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|------|------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|
|                            |                      |                       | діб                          | т    |                  |                      |                                                         |
| Плави́ковий шпат           | 550                  | 1,7                   | 20                           | 30   | площадка         | 2                    | 13                                                      |
| Залізорудні катуні         | 1389                 | 1,7                   | 20                           | 76   | бункер           | 2                    | 27                                                      |
| Флюсовий вапняк С-1        | 2134                 | 1,7                   | 20                           | 117  | площадка         | 2                    | 39                                                      |
| Цегла магнезитова          | 1337                 | 1,8                   | 30                           | 110  | штабеля          | 3                    | 25                                                      |
| Цегла хромомагнезитова     | 1375                 | 1,8                   | 30                           | 113  | штабеля          | 3                    | 25                                                      |
| Шамот молотий              | 292                  | 1,5                   | 20                           | 16   | закрома          | 2                    | 10                                                      |
| Порошок магнезитовий       | 1899                 | 1,5                   | 20                           | 104  | закрома          | 2                    | 39                                                      |
| Електроди графітовані      | 607                  | 0,7                   | 20                           | 33   | площадка         | 2                    | 28                                                      |
| Інші вогнетривкі матеріали | 1739                 | 1,7                   | 20                           | 95   | площадка         | 2                    | 32                                                      |
| Лом сталевий               | 42593                | 1,6                   | 15                           | 1750 | закрома          | 5                    | 223                                                     |
| Лом марганцовистий         | 20446                | 1,6                   | 15                           | 840  | закрома          | 5                    | 109                                                     |
| повернення                 | 13076                | 1,8                   | 5                            | 179  | площадка         | 2                    | 54                                                      |
| Чавун передільний          | 806                  | 3,5                   | 20                           | 44   | площадка         | 2                    | 10                                                      |
| Феромарганець              | 4401                 | 1,7                   | 20                           | 241  | бункер           | 2                    | 75                                                      |
| Феросиліцій                | 164                  | 1,7                   | 20                           | 9    | бункер           | 2                    | 7                                                       |
| Пісок                      | 376500               | 1,7                   | Пісок зберігається в силосах |      |                  |                      |                                                         |
| Ферохромовий шлак          | 34089                | 1,05                  | 15                           | 1401 | бункер           | 5                    | 270                                                     |
| Пиловидний кварц           | 102268               | 1,1                   | 15                           | 4203 | бункер           | 5                    | 768                                                     |
| Рідке скло                 | 47725                | 1,5                   | 15                           | 1961 | площадка         | 2                    | 658                                                     |
| Разом                      |                      |                       |                              |      |                  |                      | 2412                                                    |

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Аналіз замовлення. Загальна характеристика виливки.

Розробка технологічного процесу виготовлення виливки «Футеровка №6».

При розробці ливарної технології дуже важливий обґрунтований вибір найбільш раціональних прийомів, що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості литих деталей і високі техніко-економічні показники виробництва:

- одержання якісних виливків при мінімальній їхній вартості;
- висока продуктивність;
- економія металу в результаті зменшення припуску на механічну обробку;
- економія палива, електроенергії й допоміжних матеріалів;
- максимальне використання наявного устаткування й оснащення;

Необхідно приймати в увагу правила підтверджені багаторічним досвідом і практикою.

Використання засобів механізації й автоматизації виробничих процесів, що передбачають при розробці технології, повинне сполучатися з технічними рішеннями, що повністю відповідають вимогам виготовлення виливків високої якості.

Матеріал: сталь 110Г13Л;  
Маса: 442кг;  
Габарити: 1003×548×533;  
Товщина основних стінок: 60мм.

Виливок можна виготовити в умовах проектного цеху у пісчані форми. Виливок особливо відповідального призначення, тому що працює в умовах динамічних і знакозмінних навантажень.

Маса виливки 442 кг її відносимо до середнього по масі, а у зв'язку з масовим виробництвом визначаємо річний випуск 40274шт

Визначаємо групу складності по прейскуранту 25-01-91.

Таблиця 2.1 - Група складності по прейскуранту

| Ознаки                                                                 | Група складності |   |    |   |  |   |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|---|----|---|--|---|
|                                                                        |                  | I | II | V |  | I |
| 1. конфігурація литих поверхонь виливки                                |                  |   |    |   |  |   |
| 2. Маса                                                                |                  |   |    |   |  |   |
| 3. Максимальний розмір                                                 |                  |   |    |   |  |   |
| 4. Товщина основних стінок                                             |                  |   |    |   |  |   |
| 5. характеристика виступів, поглиблень, ребер, литих отворів порожнин. |                  |   |    |   |  |   |
| 6. Кількість стрижнів на один виливок.                                 |                  |   |    |   |  |   |

|                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| 7. Характер механічної обробки литий деталі і наявність вимог по шорсткості механічно оброблених поверхонь за ДСТ 2789-73. |  |  |  |  |  |  |
| 8. відповідальність призначення                                                                                            |  |  |  |  |  |  |
| 9. особливі технічні вимоги                                                                                                |  |  |  |  |  |  |

Відповідно до класифікаційних вимог виливок відносяться до II групи складності.

## 2.2. Аналіз технологічності конструкції литої деталі

Даний виливок є досить компактний та має раціональну форму, що зводить до мінімуму утворення недоливів, спаїв, пісчаних раковин. Мінімальна товщина стінок виливки 60 мм, що дозволяє виготовляти даний виливок у пісчаних формах. Геометрична форма виливок простий, що дозволяє знизити загальну трудоємність процесу лиття, підвищує точність виливки.

Виливок має два сквозних простих за конфігурацією отвори, що зменшує небезпеку утворення газових, шлакових, пісчаних раковин. Виливка не має від'ємних частин. Так як виливка із сталі 110Г13Л та враховуючи правила багаторічного досвіду та практики приймаємо рішення виготовляти даний виливок без механічної обробки. Проектом передбачена автоматизація технологічних операцій, що дозволить підвищити якість виливка та його точність, покращить умови контролю. Простота конфігурації виливка та розміщення базової поверхні виливка в нижній полу- формі, що дозволить підвищити точність виготовлення виливки. Однакова товщина основних стінок виливки та встановлення галтелей дозволить зменшити внутрішні напруги і небезпеку утворення тріщин, жолоблення, усадочної пористості в масивних вузлах, підвищить точність виливки. Встановлення відвідного надливу та випору знизить небезпеку утворення мікротріщин при відрізанні ливникової системи. Так як виливка виготовляється без механічної обробки, то встановлення сітки розгару на поверхні виливки знизить можливість утворення пригару формувальної суміші до тіла виливки.

## 2.3. Обґрунтування й вибір способу виготовлення виливка

З огляду на загальну характеристику виливка й специфічність його певних елементів (округлостей, ливарних ухилів і т.д.) застосовуємо лиття в пісчані форми. Це найпоширеніший спосіб лиття, крім того, економічно вигідний і відносно простий. При виготовленні даного виливка потрібно враховувати, що форма повинна бути суха, необхідно зробити наколи для гарної газопроникності, застосовувана суміш - єдина РСС

## 2.4. Визначення положення виливка у формі при заливанні

Беручи до уваги правила багаторічної практики й з огляду на особливості виливки, останню будемо розташовувати практично повністю в нижній полуформі, з метою виключення перекосів, дозволить скоротити відсоток браку відносно дефектів по сипучості суміші й заповнюваності форми, і одержати більш точний виліток, що приведе до підвищення виходу придатного. Роз'єм форми та моделі горизонтальний, що дає змогу вільного вилучення моделі з форми. Враховуючи масове виробництво приймаємо рішення виготовляти по два виливки в одній формі, що дасть змогу підвищити металоємність форми

## **2.5. Визначення областей поверхні виливка виконуваних стрижнями**

Даний виліток має 2 наскрізні отвори, з огляду на товщину стінок виливки й діаметру отворів приходимо до рішення виконання останніх за допомогою стрижнів.

Два стрижні циліндричної форми діаметрами 60 мм. І довжиною 108,1 мм залежно від довжини й висоти стрижнів, висоти верхніх вертикальних знаків приймаємо 40 мм, нижніх - 20 мм.

Для запобігання ушкодження форми при добуванні моделі з форми, а також при зборці знакові частини моделі виконуються з ухилами. Відповідно до ДСТУ 3606-88 формувальні ухили знакових частин стрижня залежно від висоти знака приймаємо  $\alpha = 0,7^\circ$ ,  $\beta = 1,0^\circ$ .

Відповідно до ДСТУ 3606-88 зазори між знаковими поверхнями форм і стрижнів, залежно від висоти знака й типу модельного комплекту, приймаємо  $S_1 = 0,4$  мм. Зазори  $S_3$  в 1,5 рази більше тобто  $S_3 = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6$  мм.

Вибрана конструкція стрижневих знаків дозволить зменшити ймовірність «спливання» стрижнів і поліпшить газовідвід при заливанні металом.

Даний виліток має два ребра з отвором еліпсоїдальної форми довжиною 100 мм та шириною 58 мм. Враховуючи багаторічний досвід та практику приймаємо рішення виконувати дані отвори за допомогою стрижнів, розташованих горизонтально до лінії роз'єму форми. Залежно від довжини й висоти стрижнів, висоти верхніх вертикальних знаків приймаємо 20 мм, нижніх - 20 мм.

## **2.6. Вибір матеріалу для виготовлення модельного комплекту**

З огляду на масовість виробництва й число з'ємів 80548, а також відношення орієнтовної вартості модельних комплектів з дерева, алюмінієвих сплавів, чавуну й сталі (1:8:12:15 відповідно), доцільно використати модельний комплект із сталі.

## **2.7. Конструкція й розміри модельних комплектів.**

Точність виливки 9Т - 13 - 3 - 0, тобто виліток 9Т - го класу точності розмірів, 13 - го класу точності маси, 3 - го класу ступеня жолобління, 0 - класу припусків на механічну обробку.

Згідно з даними й ДСТУ 26645-85 максимальний розмір виливки 1003 мм повинен мати відхилення не більше 3,6 мм, ширина (548 мм) не більше 2,8 мм, товщина основних стінок 60 мм - не більше 1,6 мм.

По масі виливок не повинна відхилятися більш ніж на 8кг.

Ливарна усадка стали 110Г13Л для виливки даної конфігурації складе 2,5%. Формувальні ухили  $\beta$  (відповідно до ДСТУ 3212-80) модельних комплектів для одержання виливки в піщаних формах становить  $\beta = 2^\circ$ . Ухил стінок стрижневого ящика дорівнює  $6^\circ$ .

Товщина стінки моделі дорівнює 12 мм, товщина борта - 17 мм, ширина борта 48 мм, відстань між ребрами жорсткості моделі 400мм. Відхилення від номінальних розмірів убік збільшення становлять 1,5 - 3,0 мм, убік зменшення 0,5 - 2,0 мм.

Товщина стінок стрижневих ящиків - 8 мм, товщина борта 14 мм, ширина борта - 60 мм. Виготовлення стрижнів виробляється в гарячих ящиках, що нагрівають вбудованими електричними нагрівачами. Модельна плита однобічна, для опочного формування.

## **2.8. Фарбування і маркування модельного комплекту**

Для запобігання прилипання формувальних та стрижньових сумішей до моделей та стрижньових ящиків, останні потрібно фарбувати. Поверхню моделі та стрижньового ящика фарбуємо у сірий колір, так як відповідні поверхні виливки не підлягають обробці різанням. Поверхні стрижньових знаків фарбуємо у чорний колір. Поверхні елементів ливникової системи, надливів та випорів наносимо чорну полосу на місці сполучення даних елементів з тілом моделі. На місцях виконання галтелей наносимо полосу з чорної фарби. Маркування моделі та стрижньового ящика виконуємо.

## **2.9. Визначення розмірів і конструкції опок.**

Виливок масою 442 кг

Товщина шару формувальної суміші:

- від верху моделі до верху опоки 250 мм
- від низу моделі до низу опоки 335 мм
- від моделі до стінки опоки 230 мм
- між моделлю й шлаковловлювачем 200 мм
- між моделями - 150 мм.

Отримані дані дозволяють визначити мінімальні розміри опок, які остаточно уточнюють за ДСТУ 2133 - 75 при цьому розрахункові значення збільшують до найближчого регламентованого розміру. Цей же ДСТУ установлює відстань між осями центрувальних отворів і середні розміри опок з різних матеріалів.

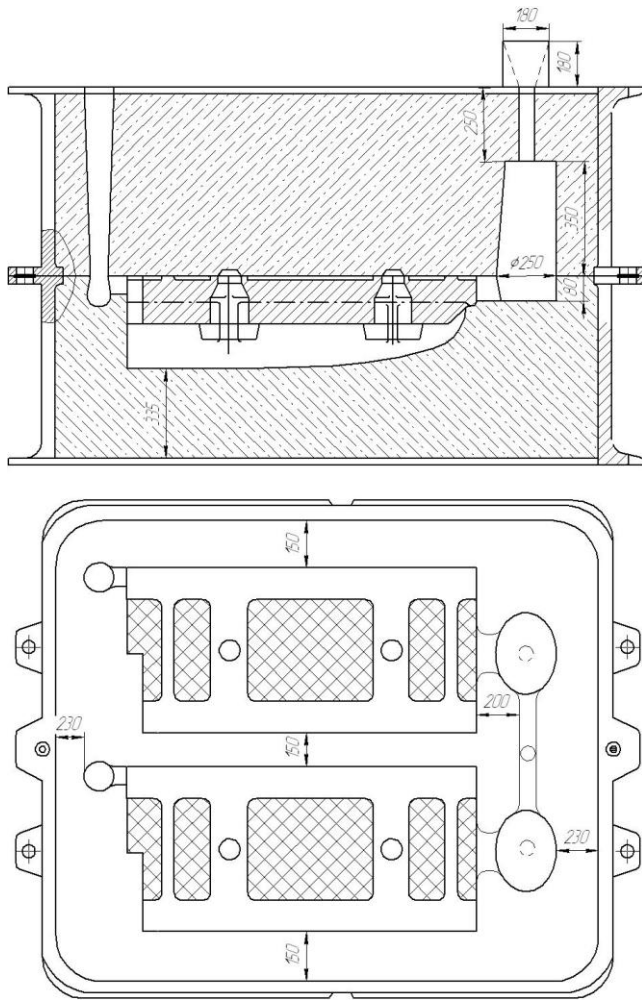


Рис 2.1. Схема розташування моделей у ливарній формі

З огляду на габарити виливки 1003×548×533 приймаємо рішення формувати по 2 виливки на одній модельній плиті.

Розмір опоки у світлі: довжина - 2000 мм; ширина - 1600 мм; висота - 600 мм;

## 2.10. Проектування й розрахунок ливникової системи

Заливання даної виливки будемо виконувати зі стопорного ковша.

$\Sigma Fn = G / (k_y \tau L)$ , де  $k_y$  – питома швидкість заливання (див. табл. 2.1),

залежить від об'ємного коефіцієнта  $k_v = G/V_0$ , тут  $V_0$  – умовний об'єм виливки (взятий по крайніх точках виливки),  $\text{дм}^3$ ,

$L$  - поправочний коефіцієнт на рідкотекучість сталі, для сталі 110Г13Л -  $L = 0,8$ .

Час заливання визначається по формулі:

$$\tau = \sqrt{1.24G} = \sqrt{1.24 \cdot 625 \cdot 2} = 39.4 \text{ с}$$

$$V_0 = a \cdot b \cdot c = 10.03 \cdot 5.48 \cdot 5.33 = 292.6 \text{ дм}^3 \cdot 2 = 585,92 \text{ дм}^3$$

$$k_v = 625 * 2 / 585.92 = 2.13$$

По табл. 2.2 приймаємо  $k_y = 0.7$ .

Таблиця 2.2 - Розрахунок ливникової системи

| $k_v$ | Маса виливки, кг |      |      |      |       |
|-------|------------------|------|------|------|-------|
|       | 100              | 500  | 1000 | 5000 | 50000 |
| 1     | 0,30             | 0,44 | 0,60 | 0,65 | 0,70  |
| 2     | 0,60             | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80  |
| 3     | 0,65             | 0,70 | 0,75 | 0,81 | 0,90  |
| 4     | 0,70             | 0,75 | 0,82 | 0,90 | 1,00  |
| 5     | 0,75             | 0,82 | 0,93 | 1,00 | 1,15  |
| 6     | 0,80             | 0,90 | 1,00 | 1,15 | 1,20  |

Знаходимо сумарну площу живильників:

$$\Sigma F_n = G / (k_y \tau L) = 625 * 2 / (0.7 * 39.4 * 0.8) = 1250 / 22.064 = 56.7 \text{ см}^2$$

Сумарну площу перетинів ливникового ходу й стояка приймають зі співвідношення:  $\Sigma F_n : \Sigma F_{л.х.} : \Sigma F_{ст.} = 1 : 1,1 : 1,2$

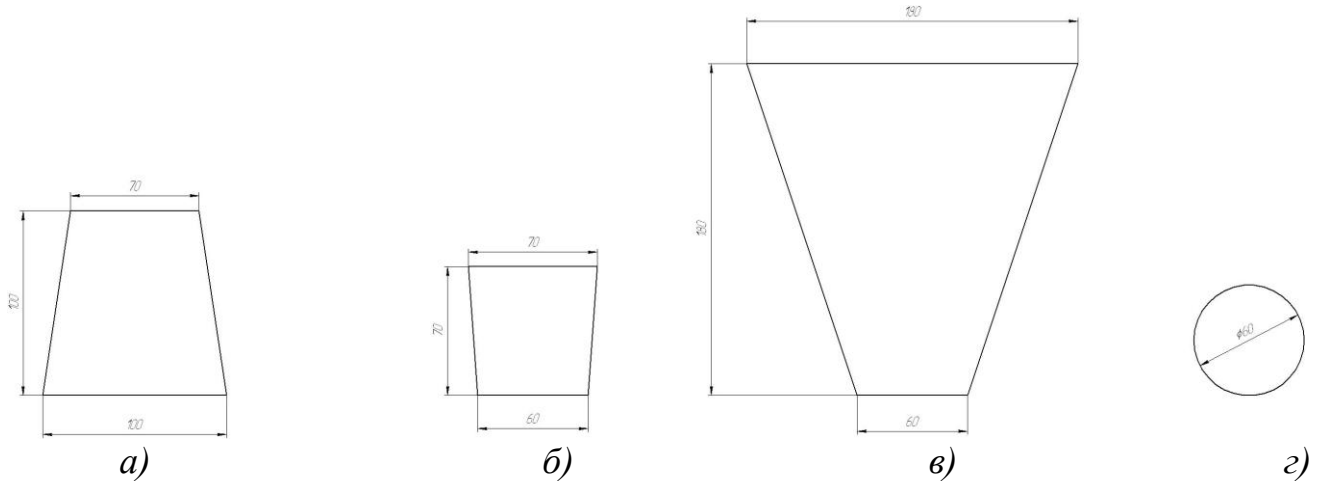


Рис 2.2 Схема зображення елементів ливникової системи.

*а - ливниковий хід; б - живильник; в - вирва; г - стояк*

$$\text{Приймаємо } \Sigma F_{л.х.} = 56.6 * 1,1 = 62.3; \Sigma F_{ст.} = 56,6 * 1,2 = 67.9$$

Враховуючи, те що даний виливок заливатиметься через один живильник та враховуючи багаторічний досвід та практику приймаємо рішення встановити живильник з розмірами:  $a = 70$  мм,  $b = 60$  мм,  $h = 70$  мм. Розмір ливникового ходу:  $a = h = 100$  мм,  $b = 70$  мм,

$$\text{Знаходимо діаметр стояка: } d_c = \sqrt{\frac{4F_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 67.9}{3.14}} = 30 * 2 = 60 \text{ мм}$$

Для заливання використаємо вирву діаметром верхньої частини 180мм, і висотою 180 мм.

### 2.11. Розрахунок надливів

Для попередження утворення усадочних раковин у виливках застосовують спеціальні приливи - надливи. Діаметр надливу визначають залежно від характеру виливки.

$$Dn = (0,4 \div 0,45) \sqrt{V_y} + \delta, \text{ де}$$

$V_y$  – вага рідкого металу, м<sup>3</sup>;

$\delta$  - товщина стінки виливки.

$$Dn = 0,4 \cdot \sqrt{89,3} + 0,6 = 2,37 \text{ дм} = 237 \cdot 1,25 = 300 \text{ мм}$$

При визначенні діаметра надливу приймаємо наступні умови:

- Обсяг усадочної раковини дорівнює (0,03-0,04) Vж.м. і виражений як  $\frac{\pi d^3}{6}$ , де d – діаметр кулі, дорівнює обсягу усадочної раковини.

$$V = 0,035 \cdot 89,3 = 2,91 \text{ дм}^3$$

$$2,91 = \frac{\pi d^3}{6}, \quad d = \sqrt[3]{\frac{2,91 \cdot 6}{\pi}} = 1,3 \text{ дм}$$

- Для компенсації впливу різних факторів на обсяг усадочної раковини уведений коефіцієнт запасу 1,25;

- Питома вага рідкого металу  $\gamma$  прийнятий рівним 7,0 кг/ дм<sup>3</sup>;

- Швидкості кристалізації металу у виливку й надливу рівні, тобто якщо виливок з товщиною тіла 60 мм затвердіє, то в надливу з кожної сторони утвориться шар твердого металу, рівний 30 мм;

- Для визначення кількості рідкого металу, необхідного для виготовлення виливки, вихід придатного орієнтовно приймаємо 70 %, тоді при масі виливки в 442кг, можна визначити масу рідкого металу  $P = q/0,7 = 442/0,7 = 625$  кг, тоді обсяг рідкого металу дорівнює Vж.м. =  $P/\gamma = 625/7 = 89,3$ , дм<sup>3</sup>.

### 2.12. Розрахунок випору

Для виливки даної конфігурації й з огляду на марку стали 110Г13Л приймаємо рішення установки циліндричних відводних випорів

$$Dn = (0,4 \div 0,45) \sqrt{V_y} + \delta$$

Площа сумарного перетину всіх установлених на виливок випорів визначається по формулі:

$$\Sigma F_v = 1,3 \sqrt{F_c} = 1,3 \cdot \sqrt{67,9} = 33 \text{ дм}$$

$R = \sqrt{S/\pi} = 330/3,14 = 105/2 = 52 \text{ мм}$  - встановлюємо по 2 випора R52 мм на виливок.

### 2.13. Температурні режими заливання.

Температурний режим заливання форм впливає на швидкість і спрямованість процесів кристалізації в ливарній формі. Визначення температури заливання полягає у визначенні інтервалу температури сплаву від якого може змінюватись якість виливків.

При виборі температури заливання сталі 110Г13Л потрібно враховувати:

- а. При підвищенні температури сталі зростає її рідкоплинність, що має практичне значення при заливанні виливків.
- б. Чим вище температура заливання металу, тим краще концентрується усадочна раковина, і пористість у надливу, зменшуються газові й металеві включення, що забезпечує більш високі механічні властивості виливків.

с. При знижених температурах знижується обсяг усадочної раковини й зменшується пригар. Це може бути використане при створенні таких умов заливання, коли метал у надливу буде мати більше високу температуру чим сам виливок.

Практично це досягається доливкою надливів гарячим металом, засипанням відкритої поверхні надливу мало теплопровідним матеріалом, застосуванням екзотермічних надливів і т.д. Таким чином, при виборі температури заливання сталі треба в кожному випадку шукати оптимальне рішення. Замір температури сталі проводиться термопарою занурення перед випуском і після випуску з печі.

На дні ковша й у стінок метал охолоджується швидше, ніж у середині, внаслідок чого в перший момент після відкриття стопора у форму надходить найбільш холодний метал. Тому при стопорному заливанні рекомендуються тонкостінні складні виливки або форми, виготовлені на хромомagneзиті й хромистому залізняку, заливати в середині заливання.

Температури заливання сталі наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Температура сталі при заливанні в піщані форми.

| Групи виливків                                                  | Товщина стінок виливки, мм | Маса виливки, кг | Стали вуглецеві | Сталь 110Г13 Л |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|----------------|
| Складні тонкостінні, у тому числі схильні до тріщин             | 6-20                       | До 100           | 1580-1540       | 1450-1430      |
| Складні тонкостінні, у тому числі схильні до тріщин             | 12-25                      | До 500           | 1550-1520       | 1440-1420      |
| Складні тонкостінні, у тому числі схильні до тріщин             | 20-30                      | До 3000          | 1540-1520       | 1440-1420      |
| Фасонні середнього розважування, у тому числі схильні до тріщин | 30-75                      | До 5000          | 1550-1520       | 1440-1420      |

Приймаємо температуру випуску сталі з печі рівної 1460 °С  
По таблиці 2.3 приймаємо температуру заливання для сталі 110Г13Л рівної 1440-1420°С.

#### 2.14. Витримка сталі в ковші

Після випуску з печі сталь витримується в ковші 10 - 15 хв.

Під час витримки металу в ковші відбувається спливання неметалічних включень, виділення значної кількості розчинених газів, вирівнювання температури по обсязі ковша. Середня швидкість охолодження сталі в ковшах різної ємності наведена в табл.2.4.

Таблиця 2.4 - Середня швидкість охолодження сталі

| Ємність ковша, т | Середня швидкість охолодження металу, град/хв. |
|------------------|------------------------------------------------|
| 0,15             | 25-60                                          |
| 0,5              | 12-25                                          |
| 0,7              | 9-25                                           |
| 1,0              | 7-20                                           |
| 3,0              | 5-15                                           |
| 4,5              | 5-12                                           |
| 6,0              | 5-10                                           |
| 12,0             | 3-6                                            |
| 15,0             | 2-4                                            |

Заливання форм робимо з 6т стопорного ковша, по таблиці 2.3. приймаємо середню швидкість охолодження металу 5-10 град/хв.

#### 2.15. Визначення часу витримки виливків у формах після заливання

При визначенні витримки виливків у формах за основу приймають температуру, починаючи з якої виливок можна проохолоджувати на повітрі без побоювання одержати холодні тріщини й інші дефекти, викликані зміною умов охолодження. Швидкість і рівномірність охолодження виливки залежать об температури повітря, наявності протягів і тепло фізичних властивостей сплаву.

На підставі розрахункових даних і виробничого досвіду Уралмашзаводом розроблені графіки для визначення оптимального часу витримки виливків у формах залежно від маси, марки сталі й переважної товщини стінки виливки (рис.. 2.2.). Діаграма для виливків з вуглецевих і легованих сталей (110Г13Л).

Для виливків з рівномірною товщиною стінки час витримки приймається на 10-20% більше зазначеного в діаграмі.

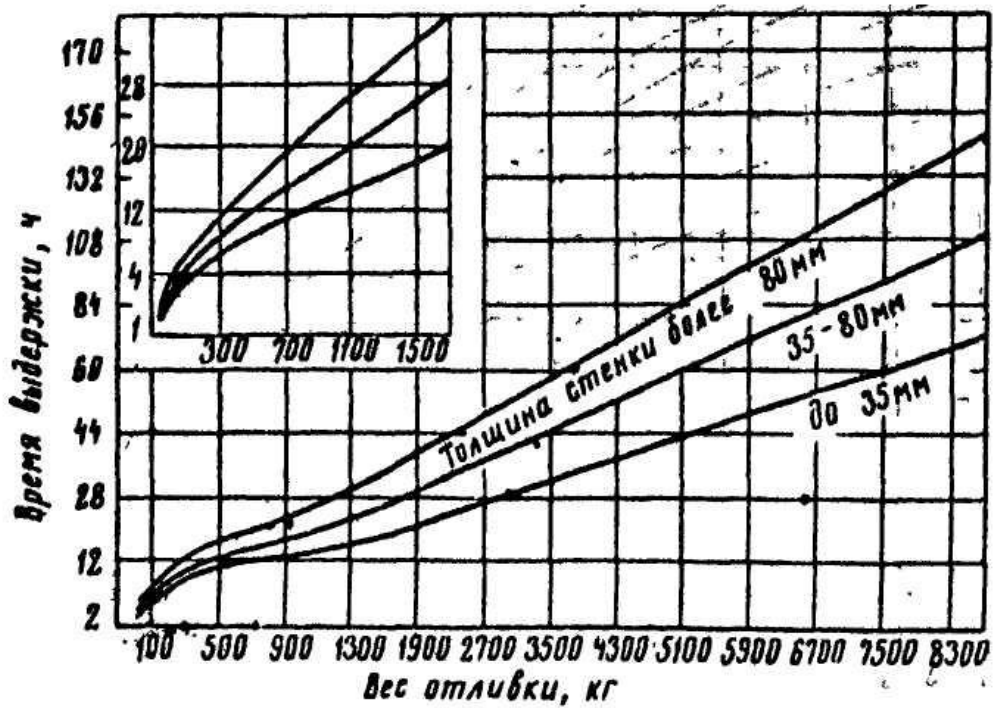


Рис 2.3. Діаграма витримки у формах виливків з легованих сталей.

По рис. 2.3 приймаємо час витримки виливки у формі 14 годин.

## 2.16. Визначення маси вантажу (виштовхуючої сили)

Вага вантажу повинна в 3-5 разів перевищувати вагу виливки. Візьмемо вантаж масою  $1800 \cdot 2 = 3600 \text{ кг}$ .

У верхній частині виливки й на надливі розташовані выпора, через які необхідно спостерігати за процесом заливання щоб уникнути гідравлічного удару.

### 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Передумови моделювання процесу заповнення порожнини форми рідким металом з використанням комп'ютерних технологій

Найбільше застосування на підприємствах України з всіх програм одержала програма LVMFlow тому вона використовується в даній роботі для моделювання процесів заповнення рідким металом форми й кристалізації виливка «Футеровка», масою 442 кг.

LVMFlow- це третє покоління металургійних систем моделювання 3D затвердіння, розроблене фахівцями в математичному моделюванні, металургами й ливарниками. Він поєднує звичайні теплові розрахунки з розглядом плинну металу при затвердінні.

LVMFlow - це професійна система комп'ютерного 3D моделювання ливарних процесів що дозволяє автоматизувати робоче місце технолога - ливарника й знизити витрати часу й засобів на підготовку нових виробів. Програмний комплекс LVMFlow став результатом подальших досліджень і розробок в області комп'ютерного моделювання ливарних процесів. В основі його лежить уже відомий програмний продукт LVM3d, але значно розширений і перероблений.

Зміни в щільності сплаву й зміни на кристалографічному рівні при затвердінні також прийняті в розрахунок. Ці розрахунки звичайно не включаються в стандартні системи моделювання, але вони життєво необхідні для досягнення точних результатів і досить важливі для пророкування місця появи усадки і її розміру. Об'ємні зміни при затвердінні чавунних сплавів, де виділяється евтектичний графіт, також узяті в розрахунок.

LVMFlow - містить всі істотні функції, необхідні для одержання щирого й точного моделювання процесу затвердіння.

Швидкість важлива, щоб зробити моделювання корисним у ливарному виробництві.

LVMFlow - поєднує швидкість і точність. Він використовує спеціально розроблені алгоритми для рішення диференціальних рівнянь в інтервалі часу звичайно використовуваному для рішення. Моделювання часто може бути виконане за 30 хвилин, що дозволяє ливареві взаємодіяти із програмою для випробування різних ливникових і надливових систем для знаходження оптимальних умов.

У програмному комплексі LVMFlow реалізована фізико-математична модель, що включає в себе:

- рівняння теплопровідності в неоднорідному середовищі, що складається з розплаву й формотворних матеріалів, теплофізичні властивості яких залежать від температури. Властивості багатокомпонентного розплаву задаються рівнянням стану, що відповідає ефективній бінарній діаграмі стану (надалі планується перехід на опис у рамках трикомпонентної системи). Крім того, ураховуються зовнішні впливи: горіння екзотермічних матеріалів, робота каналів нагрівання-охолодження, теплоелектронагрівачів, циклічні технології;

- рівняння Нав'є-Стокса для ламінарного плин у нестисненої рідини. Рівняння зважуються на кубічній сітці методом кінцевого об'єму (МКО). Для розрахунку руху вільної поверхні розплаву в процесі заповнення форми використовується модифікований метод VOF (volume of fluid);

- термогравітаційну модель дефектів усадочного походження, пов'язану з аналізом поводження локалізованих рідких областей.

Зворотні методи дозволяють реалізувати високошвидкісні обчислювальні алгоритми, для них характерна гарна кореляція результатів з експериментальними даними.

Програмний комплекс LVMFlow може бути використаний для моделювання таких способів лиття, як лиття по виплавленим моделям, лиття в землю, у кокіль, в виливницю, лиття під тиском. З додаткових елементів оснащення, застосовуваних у ливарній технології, в LVMFlow розглядаються теплоелектронагрівачі, канали з теплоносіями, фільтри, протипригарні покриття. Також передбачене моделювання багаторазового використання форми.

У співробітництві зі шведською фірмою NOVACAST AB система доведена до рівня вимог світового ринку. Достовірні результати моделювання, їхнє наочне подання, широкі можливості, зручний інтерфейс і розумна ціна забезпечили комерційний успіх системи за рубежом (з 1993 року зроблено більше 100 інсталяцій у США, Канаді, Бразилії, Швеції, Норвегії, Австралії, Туреччині). На закордонному ринку LVMFlow поширюється під торговельними марками NovaSolid й NovaFlow.

Область застосування пакета по способах лиття містить у собі лиття по виплавленим моделям, як опочне, так і безопочне, лиття в землю, у кокіль, у виливницю, лиття під тиском. Для безопочного лиття, лиття в кокіль й виливницю необхідно задати зовнішні умови: це може бути кристалізація у вакуумі, із природною конвекцією на повітрі, із примусовим обдувом або охолодженням водою.

Включена нова підсистема моделювання затвердіння чавунів, поява якої розцінюється, як величезний крок уперед.

На наш погляд, пакет програм є простим, зручним і зрозумілим, тому навчання для роботи із програмним засобом практично не потрібно. Такий

набір засобів зможе значно знизити витрати і прискорити дослідницьку роботу й проектування виливків. Моделювання в пакеті LVMFlow виконується з більшою швидкістю, чим у більшості програм існуючих на ринку. При цьому зберігається гарна точність результатів розрахунку й збіг їх з експериментальними даними.

LVMFlow - пропонує вичерпні інструменти для спостереження за результатами. Візуалізація й можливість аналізу плин рідини принесе нові підходи в інженерні методи. Ливарні дефекти такі як включення шлаків, холоднісхлопування, вжимини, ерозія, пухирці газу, поверхневі дефекти, варіації твердості - всі їх можна уникнути шляхом оптимізації проектування ливникової системи.

LVMFlow - є також чудовим інструментом для освітніх цілей й є важливим компонентом для підготовки кваліфікованого персоналу для ливарних

виробництв. Економічна вигода часто перекидає вкладення в програмний продукт через кілька місяців.

Попередня версія пакета LVMFlow відома за назвою LVMSolid пройшла ґрунтовне тестування й перевірку не тільки на російські але й на закордонних підприємствах. Вона неодноразово експонувалася на міжнародних виставках і конгресах ливарників.

Для зв'язку із системами геометричного моделювання розроблений конвертор що дозволяє перетворювати файли форматів DXF, STL (стереолітографії) у внутрішній формат LVMFlow. Можливе використання будь-якої системи геометричного моделювання, що видає вихідні файли з геометрією у форматі STL. У цьому випадку немає необхідності користуватися внутрішньою системою геометричного моделювання LVMFlow. Є можливість вибору одиниць виміру (перейти від дюймів до міліметрів). З допомогою команди ADD STL реалізована можливість зборки вилівка з декількох файлів у форматі STL. Обертання вилівка для орієнтації в гравітаційному ливарному напрямку легко виконується за допомогою миші.

У програмі є можливість завдання граничних умов поза боксом форми, щоб повідомити програмі є випромінювання на цій чи поверхні ні.

Можна також задати більше 100 термопар для спостереження за температурою в процесі моделювання.

Для завдання місця входу металу у форму задається в потрібному місці ливникову крапку.

Щоб описати умови, у яких буде кристалізуватися вилівок, задаються температура розплаву, що заливається, і температура форми.

Температура у формі необов'язково повинна бути однорідної. Неоднорідність температури або задається різними значеннями для різних матеріалів, або моделюється прогрів форми.

Для того, щоб організувати різнорідний прогрів форми й управляти процесом відведення тепла від вилівка проводиться імітація роботи Тенів і каналів з рідинами і газами.

Різні матеріали легко вибираються з Баз даних. Кілька певних сплавів і матеріалів форми поставляється разом із програмою. Між різними матеріалами можна застосовувати протипригарні покриття.

У системі організований банк теплофізичних властивостей матеріалів, а також діаграм стану сплавів.

У банк матеріалів занесені найбільш часто застосовувані формувальні матеріали, вогнетриви, ізоляційні матеріали й метали. Інформація зі сплавів класифікується в такий спосіб: вуглецеві сталі, леговані сталі, чавуни; силуміни, бронзи, нікелеві сплави.

Банк властивостей відкритий для користувача й дозволяє його поповнити властивостями тих сплавів з якими працюють на даному підприємстві. - База даних LVMFlow унікальна в тім, що використовує хімічний склад для кожного матеріалу.

Параметри програми ґрунтуються на діаграмах стану які використовують хімічний склад для розрахунку теплових параметрів, використовуваних під час затвердіння. Всі теплові дані визначені як функції від температури.

У ході моделювання затвердіння виливка технолог спостерігає динаміку процесу по всіх характеристиках моделі й у будь-якому, що цікавить його перетині виливка. Можливий перегляд полів швидкості, векторів швидкості й тиску, температури, пористості й фазового состава затверділого виливка.

Система також надає користувачеві сумарні поля дефектів по трьох проекціях. Крім цього організована імітація роботи термопар, установлених дослідником у довільних крапках розрахункової області, і зняття термічних і кінетичних кривих.

Різні поля можна спостерігати як в 2D, 3D так і прозоре 3D. Легко розрізати виливок в X, Y, або Z напрямках і спостерігати як 2D або 3D.

При моделюванні в 2D є можливість одержання інформації про температуру, рідку фазу, швидкість і тиск в кожній крапці виливка.

Виливок можна масштабувати в 2D або 3D і також можливо продовжити моделювання в масштабному режимі. В 3D виливок можна вільно обертати в просторі для кращого вивчення результатів..

### **3.2. Моделювання процесів заповнення рідким металом форми та кристалізація виливки «Футеровка », масою 442 кг**

Для виконання моделювання необхідно виконати наступні три основних кроки:  
**ПОБУДОВА ГЕОМЕТРІЇ**

Завантажити тверду модель в LVMFlow і додати стрижні, надливи й елементи ливникової системи

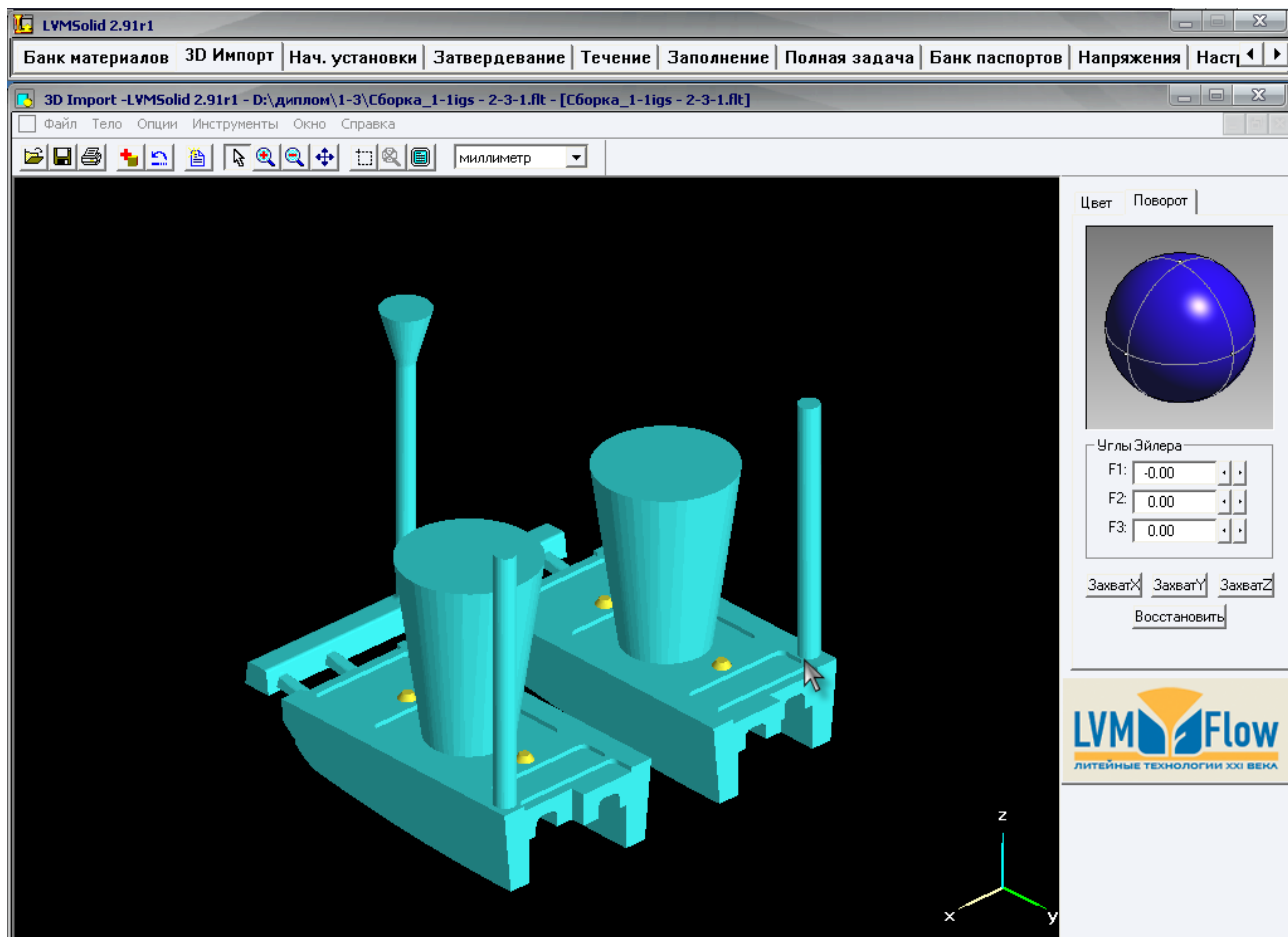


Рис. 3.1. - Геометрія виливка як 3D тверда модель

### ПОЧАТКОВІ УМОВИ

Визначити розбивку виливка й форми. Визначити сплав і використовувані матеріали форми. Визначити початкові температури і як зберігати екранні знімки моделювання.

### МОДЕЛЮВАННЯ

Вибрати, у якому виді вивчати моделювання - Температура, Рідка фаза, Усадка й так далі і якщо в певному перетині, то в 2D або в 3D.

Почати моделювання й стежити за процесом на екрані.

Коли моделювання закінчене, результат можна переглянути як послідовність екранних знімків у модулі Перегляд.

Послідовність роботи з пакетом пояснюється схемою зображеної на рис 3.1.

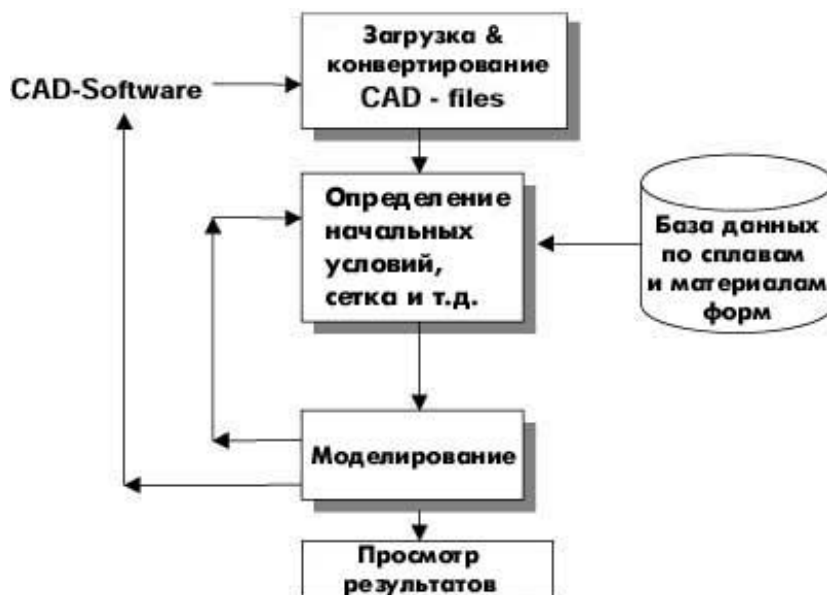


Рис. 3.1

## ПОБУДОВА ГЕОМЕТРІЇ

Для початку роботи з LVMFlow потрібно завантажити геометрію виливка, натиснувши на *3D Import* коли буде висвітлений початковий екран.

### Завантаження 3D файли

Завантажити тіло натиснувши на *Файл* у верхньому меню, потім натиснути на *Відкрити*. У середині екрана відкриється вікно, що показує доступні STL файли. Натиснути на потрібний файл і потім на кнопку *Відкрити*. Тіло буде висвітлено на екрані.

### Розташування тіла

Орієнтація виливка в цей момент може бути неправильною. Виправляємо її так, щоб її положення на екрані відповідало положенню, що вилівок буде мати при заливанні й затвердінні, тобто так щоб Z- напрямок представляв напрямок гравітації.

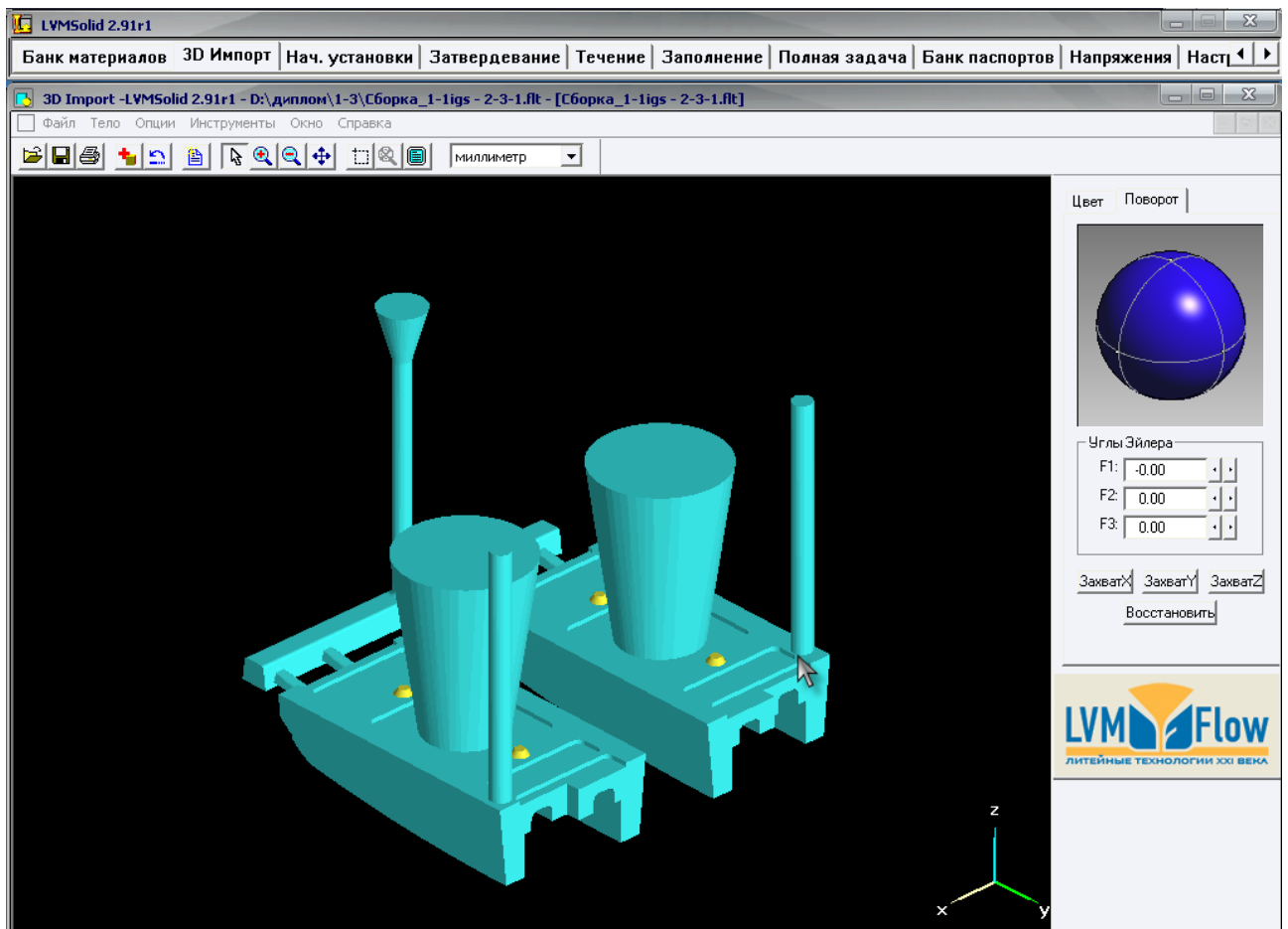


Рис.3.2 - Розташування тіла

Якщо це є неможливим у зв'язку з неправильним виконанням зв'язків або система в якій ви проектували вашу 3D - модель не працює з файлами типу STL (стереолітографії), наприклад, для виконання моделі виливка складної конфігурації яка вимагає виконання отворів за допомогою стрижнів, додавання холодильників, виконання ливникової системи керамікою або за допомогою сифонних трубок вам необхідно поокремо спроектувати всі елементи форми, а потім зібрати всі елементи ливарної форми в зборку. Це можна зробити в будь-якій конструкторській програмі типу КОМПАС - 3D , Solidworks тощо.

Solid збереже вашу зборку як послідовність деталей вашої ливарної форми. Далі при завантаженні 3D моделі в LVMFlow перший файл ви завантажуєте як це було описано вище, а для всіх наступних файлів виберіть у командному рядку кнопку «Додати тіло» і додайте всі наступні файли (не більше 8 для демо версії) у програму.

Збереження тіла як FLT файлу

Конвертуйте тіло у файл моделювання. Кликніть на символ дискета у верхньому лівому куті. Відкриється Вікно. Ви можете тепер записати нове ім'я для файлу або використати ім'я за замовчуванням і просто нажати на кнопку Конвертувати.

ПОЧАТКОВІ УМОВИ

Завантаження FLT/DEM файлу

Натисніть на Initial settings (Початкові установки) у таблиці меню. Потім завантажите приготовлене тіло натиснувши на символ папки з файлами ліворуч у верхньому рядку меню (або натисніть на Файл і Відкрити).

Виберіть той же файл, з яким ми працювали й натисніть на кнопку Відкрити для завантаження файлу. У повній версії, завантажте замість цього FLT файл.

#### Створення сітки

Ми тепер розділимо виливок і форму на маленькі кубічні елементи. Кожен елемент буде містити значення функцій під час обчислень теплопереноса. Натисніть на Сітка в рядку верхнього меню. Виберіть Новий і потім Кубічний. Відкриється вікно, у якому ви можете вибрати розмір осередку або кількість осередків. Коли зміна зроблена, ви можете негайно побачити його значення щодо того, який обсяг пам'яті потрібно. Ми прийнемо установки за замовчуванням. Просто натисніть на кнопку ОК.

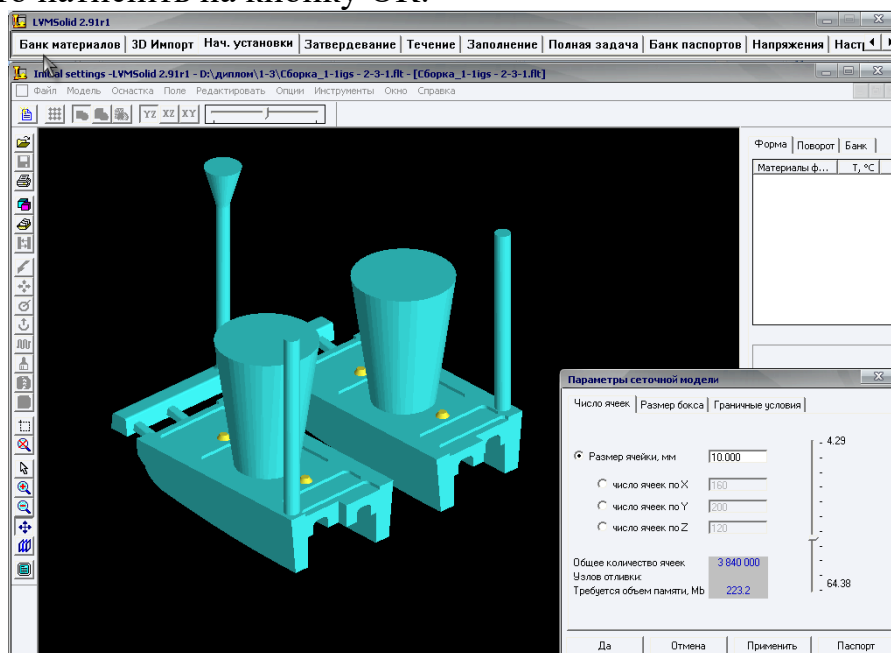


Рис. 3.3 - Створення сітки

Екран тепер покаже форму й частину тіла. Натисніть на зображення виливка. Він при цьому зміниться в плоску фігуру. Рухайте курсор і ви тепер побачите як змінюється перетин.

Рухайте перетин доти поки ви не побачите підходящий поперечний переріз виливка. У цьому місці натисніть на праву кнопку миші. Картинка потім з'явиться знову.

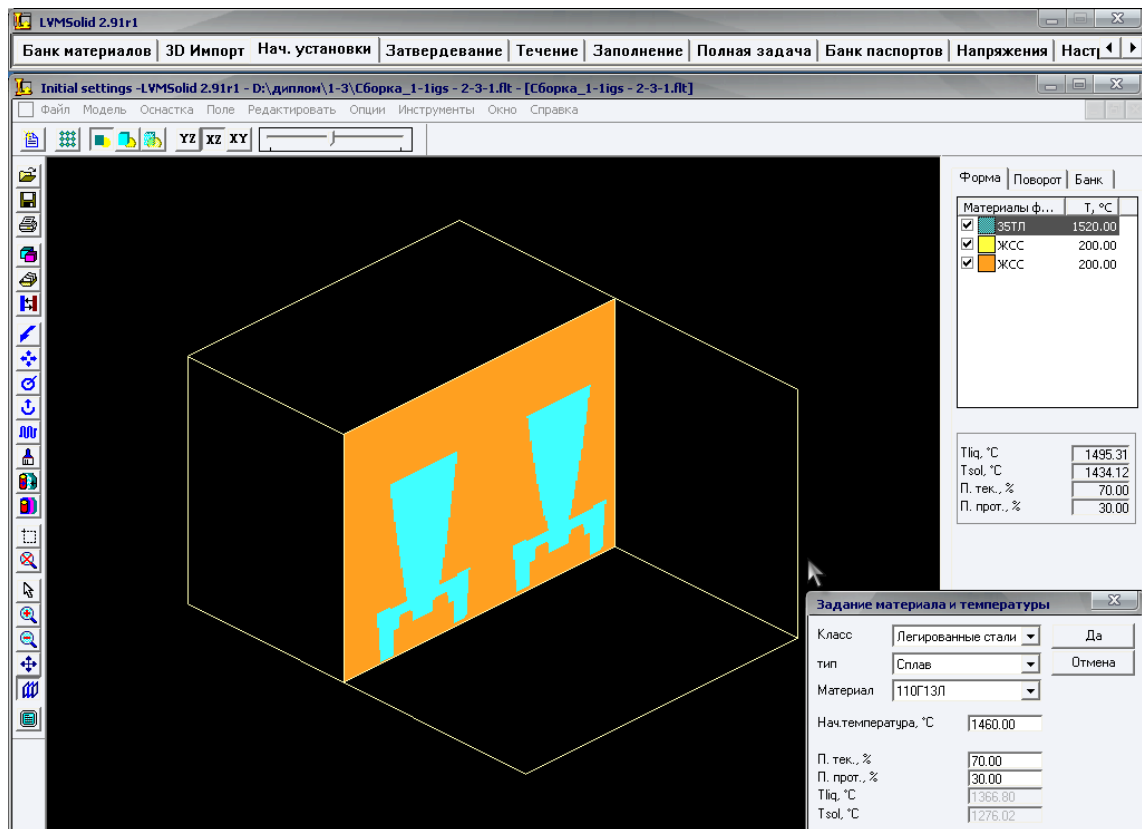


Рис. 3.25 – перетин форми

### Сплав і матеріал форми

Ми тепер визначимо сплав і матеріал форми. Натисніть на База даних у верхній лінійці меню. Натисніть на Змінити матеріал і з'явиться вікно, що показує матеріал, використаний у цей час і його початкову температуру коли починається моделювання.

Сплав повинен бути легована сталь 110Г13Л с температурою 1460 градусів. Маска визначає матеріал. Нульова маска зарезервована для металу.

Натисніть на ОК для прийняття.

Праворуч екрана є вікно, що створює матеріали.

Двічі натисніть коричневий матеріал. З'явиться вікно. Натисніть на Матеріали й рухайтесь вниз до *РСС* і виберіть його як матеріал форми. Уведіть 20 як температуру форми й натисніть на ОК. Відзначимо, що значення маски дорівнює 1.

### Визначення літників і термопар

Тепер ми визначимо положення літників і положення термопар. «Літник» у цьому випадку визначений, як крапка де ми маємо доступ до живлення металом. У цьому випадку це у верхній частині заливальної воронки.

Виберіть Оснащення й потім Літник. Буде висвітлене вікно, де можна буде ввести координати для літника. Однак у цьому випадку ми натиснемо кнопку *Shift* і клацнемо лівою кнопкою миші в місці виливка, де ми хочемо помістити літник. Координати обраного положення з'являться у вікні.

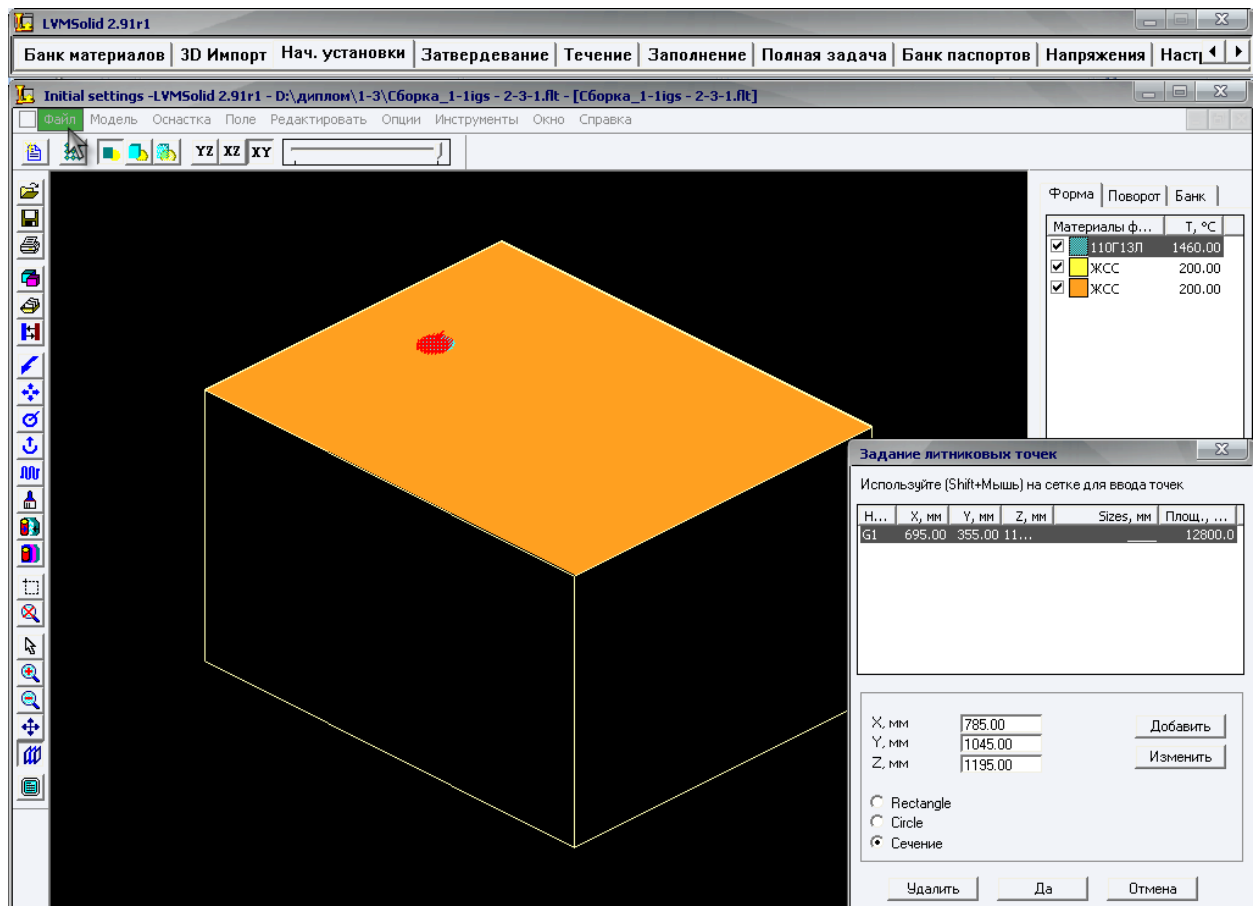


Рис. 3.5 - Визначення літників і термопар

Використайте курсор миші щоб знайти перетин де буде стояк. Потім клацніть правою кнопкою миші. Виберіть Оснащення потім Літник і відзначте крапку у верху стояка. Натисніть на ОК.

Тепер можете вставити термопару в будь-яке місце у виливку або у формі використовуючи цей метод.

Тепер збережемо уведені умови моделювання нажавши на іконку дискети й уведемо ім'я або приймемо ім'я за замовчуванням і натиснемо на кнопку *Зберегти*. Тепер ми готові для моделювання!

## МОДЕЛЮВАННЯ

Початкові умови підготовлені. Далі є можливість вибрати підсистему для подальшого моделювання залежно від побажань (*Затвердіння, заповнення й повна задача*).

**Затвердівання** - модуль розрахунку процесу затвердіння виливка. Уважається що заповнення форми металом було миттєвим.

**Заповнення** - модуль розрахунку процесу заповнення форми металом. У цьому модулі заповнення моделюється без обліку температури.

Процес моделювання закінчується по закінченні заповнення форми металом. Подальші розрахунки можна продовжити модулем Solidification.

*Повна задача*- модуль розрахунку процесу заповнення форми металом з урахуванням переносу температури й подальший розрахунок процесу затвердіння.

Натисніть на «повна задача» Натисніть на меню *Файл* і завантажте попередньо збережений файл.

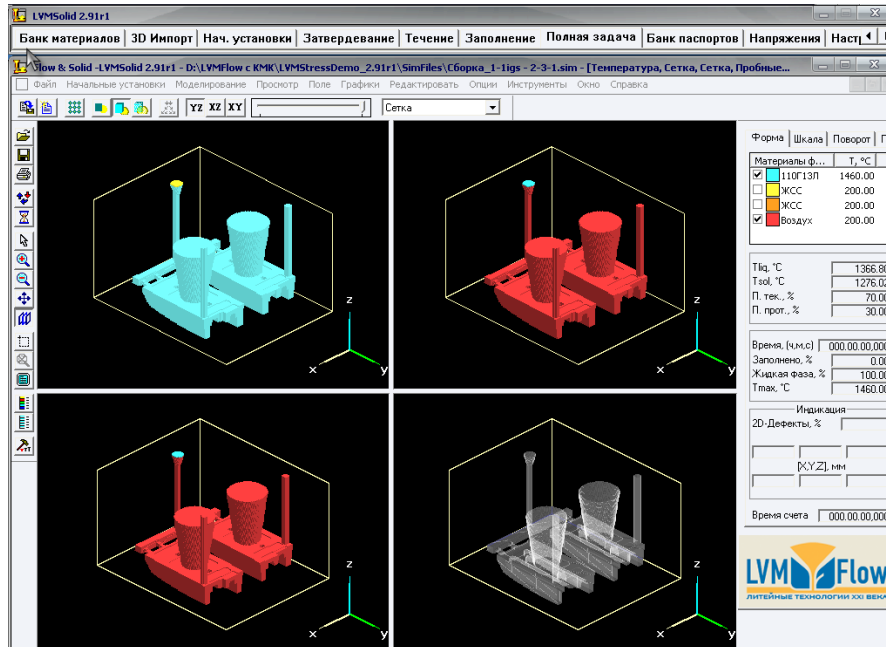


Рис. 3.6 - Моделирование

Праворуч угорі є вікно списку зі словом Сітка. При натисканні на нього з'являється список можливих полів для відображення під час моделювання. Якщо вибрати Колекція, то будуть висвітлені поля маски, температури, рідкої фази й дефектів одночасно.

Є можливість перегляду полів як у перетині, так й в 3-х мірному виді. Для цього використовуються кнопки панелі інструментів.

Зміна перетину можливо кнопкою миші безпосередньо на цікавлячем полі. Для цього натисніть на одній зі сторін боксу, що обмежує виливок, лівою кнопкою миші й перемістіть мишу доти, поки не буде висвітлений необхідний перетин. Далі клацніть правою кнопкою миші, щоб зупинити перетин у цьому положенні.

Завдання додаткових умов для моделювання

Натисніть на *Моделировать* в лінійці верхнього меню й потім виберіть критерії автостопа. У полі «макс. Температура» введіть 100. Це значить, що моделювання буде зупинено, коли максимальна температура виливка досягне 100°C.

Натисніть на Автозапись у паспорт. Уведіть крок автозапису кожні 1% затвердіння. Також виберіть зберігати Температуру в 2D і натисніть на кнопку ОК.

Моделирование

Почніть моделювання, нажавши на іконку «піскові годинники».

Моделювання затвердівання тепер починається. Час, також як і кількість затверділого металу висвітлюється на екрані праворуч. Моделювання зупиниться автоматично при досягненні критерію зупинки. Однак моделювання може бути також зупинене в будь-який час натисканням іконки «піскові годинники».

Різні температурні інтервали представлені кольоровими показниками на шкалі на екрані праворуч. Можна визначити ізолінії натисканням на Редагувати. Коли моделювання зупинене ви можете вибрати інший спосіб спостереження затвердіння. Натисніть на стрілку вниз поруч із маленьким вікном де написана Температура. Виберіть Рідину й спостерігайте, як малюнок показує кількість рідини.

## **ВИСНОВКИ**

У процесі виконання бакалаврської роботи було розроблено комплексне техніко-технологічне рішення сталеливарного цеху з річною продуктивністю 60 000 тонн виливків. У роботі здійснено глибокий аналіз виробничого процесу, визначено оптимальні конструктивні, технологічні та організаційні параметри, які забезпечують ефективне функціонування цеху в сучасних умовах металургійної промисловості.

На основі проведених розрахунків і обґрунтувань підібрано відповідне обладнання, розроблено технологічний процес лиття та розливання сталі, проектну компоновку цеху. Особлива увага приділялася енергоефективності, автоматизації основних операцій і дотриманню екологічних стандартів.

Таким чином, поставлену мету роботи досягнуто — розроблено сучасний, рентабельний і екологічно безпечний сталеливарний цех, здатний задовольнити потреби промисловості в литій продукції на високому рівні.